

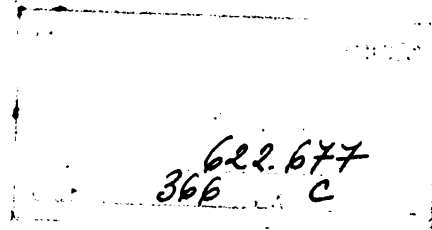
**UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA  
FACULTATEA DE MECANICĂ  
CATEDRA MAȘINI HIDRAULICE**

**CUC CARMEN**

**CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA ENERGETICĂ A  
SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE A APEI POTABILE**

**TEZĂ DE DOCTORAT**

**BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA**



**Conducător științific  
Profesor universitar dr. PREDA IOSIF**

**TIMIȘOARA, 1998**

## 1.INTRODUCERE. PROBLEMELE DISTRIBUȚIEI APEI POTABILE ÎNTR-UN OBIECTIV LOCAL. STUDIU DE CAZ PENTRU MUNICIPIUL TIMIȘOARA.

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

Rolul de primordială importanță a 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 sunt 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.

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...50 dm<sup>3</sup>/(om zi) în condițiile actuale acest consum a crescut de peste 6 ori, ajungând în țările puternic dezvoltate chiar la 650...700 dm<sup>3</sup>/(om 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 (figura 1.1), care includ totalitatea construcțiilor și instalațiilor de captare, tratare, transport, pompare, înmagazinare și distribuție a apei la consumatori.

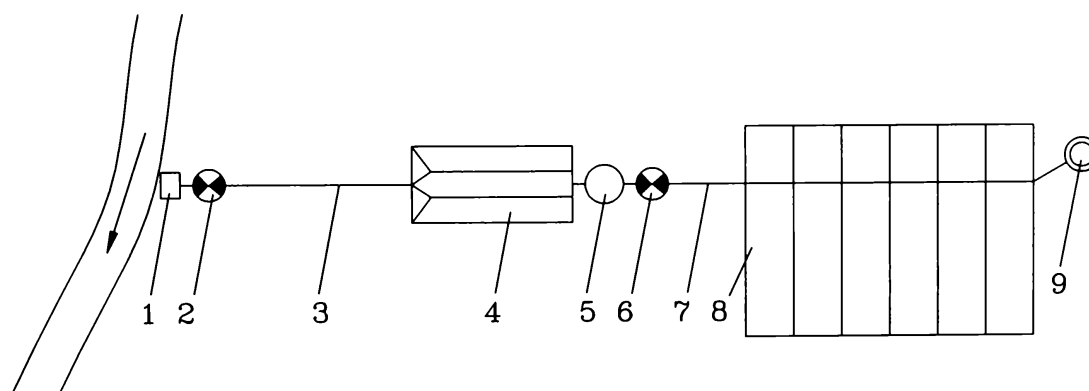


Fig.1.1 Schema de principiu a unui sistem centralizat de alimentare cu apă  
1-captare; 2-pompare treapta I; 3-aducțiune; 4-tratare; 5-rezervor de apă tratată; 6-pompare treapta II; 7-conductă principală de distribuție; 8-rețea de distribuție; 9-rezervor de compensare.

Nivelul de consum de apă înregistrat în prezent, 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.

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 de alimentare cu apă trebuie amplificat de la o etapă la alta cu scopul de a face față cerințelor mereu crescânde de apă.

Asigurarea acestor importante debite de apă necesită 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 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.

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

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. 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 decât 0,34 %. Se apreciază că, în exploatarea sistemelor centralizate de alimentare cu apă, cca. 90 % din consumul de energie este electrică, din care o pondere însemnată o deține distribuția apei în rețelele mari, echipate exclusiv cu stații exterioare de pompare, încărcând mult sistemul energetic național.

Procedeele uzuale 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 existând o strânsă interdependență.

În condițiile menționate, presiunile disponibile sunt foarte mari în punctele de consum periferice, în care de obicei sunt 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, a creat oscilații foarte mari ale necesarului orar de apă, astfel încât în lipsa funcției compensatoare de rețea stațiile de pompare exterioare necesitau puteri instalate mari. Pentru centrele populate mari, în care se furnizează apă caldă pe parcursul întregii zile (mai redus pe timp de noapte), această problemă a fost eliminată.

De asemenea, suprapunerea orelor de vârf, 7 - 9 dimineața și 17 - 21 seara, pentru necesarul de apă, căldură și energie electrică, conduce la creșteri foarte mari ale cheltuielilor de exploatare.

Având 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. Noua concepție impune procedee și măsuri atât pentru optimizarea funcțională a pompelor existente în sistemele de distribuție, cât și pentru optimizarea structurală a sistemelor de distribuție, totodată soluții de optimizare a condițiilor energetice ale distribuției apei calde în sistemele centralizate, precum și

folosirea unor modele de calcul performante pentru rezolvarea optimă a problemelor de analiză și de proiectare a rețelilor de distribuție a apei.

## 1.1 Prezentarea sistemului de alimentare cu apă potabilă a municipiului Timișoara

În 1552 este atestat documentar primul turn de apă care alimenta castelul Huniade, nucleul viitoarei cetăți Timișoara.

Alimentarea cu apă centralizată a municipiului Timișoara începe în anul 1732; sursa de apă era canalul Bega și, după limpezire ajungea printr-un sistem de distribuție ramificat la cele șase cișmele, curgerea fiind asigurată dintr-un castel de apă. Acest sistem se dezvoltă succesiv în anii 1739, 1774, când se realizează o fântână săpată în malul canalului Bega, iar pentru pomparea ei s-a folosit, ca și până atunci, roata hidraulică acționată de curgerea apei din Bega, continuând apoi cu extinderea rețelei de distribuție. Acest sistem funcționează până la 14 mai 1849 când trupele asediatoare ale generalului Bem distrug instalațiile de alimentare cu apă ale cetății Timișoara. Urmează o perioadă de cca. 40 ani când apa se asigură din foraje neorganizate de tip rural. Profesorul Iosif Brand începe seria investigațiilor de asigurare a apei din foraje de medie și mare adâncime și din afara Timișoarei, investigații finalizate de ing. Stan Vidrighin.

Se poate spune că data de naștere a sistemului centralizat modern de alimentare cu apă pentru Timișoara este 1 iunie 1914 când intră în funcțiune Uzina de apă nr.1 asigurând un debit total de  $4600 \text{ m}^3$  /zi (pentru 46000 locuitori), având însă capacitatea instalată de  $5600 \text{ m}^3$  /zi. Apa a fost asigurată din 3 grupuri de fântâni, cu câte 6 sonde  $D_n$  150mm fiecare, aducțiunea având o lungime de cca.15,8 km. Tratarea apei cuprinde aerarea și filtrarea pe filtre de cocs, urmată de o limpezire finală în filtre rapide închise sub presiune (tip Bollman ). După tratare, pentru compensarea zilnică, apa ajungea în două rezervoare de înmagazinare din care o stație de pompare de treapta a-II-a o trimitea în rețeaua de distribuție în lungime de 87,4 km. În figura 1.2 este prezentată topologia rețelei de distribuție a apei potabile din anul 1956, pentru care, un grup de specialiști din cadrul Universității "Politehnica" Timișoara, prof.dr.ing. Preda Iosif, au calculat repartitia debitelor ( $q$  în l/s) și a pierderilor de presiune ( $h_p$  în  $\text{mH}_2\text{O}$ ) în ziua de maxim consum și au analizat sistemul de distribuție a apei potabile.

Uzina de apă s-a dezvoltat în continuare până la capacitatea de  $10000 \text{ m}^3$ /zi (210 l/s) în anul 1957.

În anul 1916 s-a pus în funcțiune alimentarea cu apă industrială constând din captare de mal din Bega (amonte de uzina hidroelectrică ), aducțiune, decantare, stație de pompare, o distribuție de cca. 16 km. și un castel de echilibru cu rezervor de  $250 \text{ m}^3$  .

Creșterea necesarului de apă a determinat studierea altor posibilități de alimentare cu apă decât cel din sursă subterană.

Se menționează ca dată semnificativă, ziua de 16 DECEMBRIE 1959, cu  $1000 \text{ m}^3$  /zi când intră în funcțiune instalațiile de potabilizare a apei din Bega care, până în prezent, constituie principala sursă de apă pentru Timișoara.

Apa din canalul Bega este suficientă din punct de vedere cantitativ, dar cu probleme din punct de vedere al calității apei.

### 1.1.1 Sursele de apă

Necesarul de apă a crescut mereu, sistemul centralizat de alimentare cu apă s-a dezvoltat și el în mai multe etape, încât în prezent capacitățile instalațiilor existente sunt:

- |   |          |
|---|----------|
| - Uzina de apă nr.1 cu sursă din subteran     | 810 l/s  |
| - Uzina de apă nr.2 cu sursă din canalul Bega | 1380 l/s |

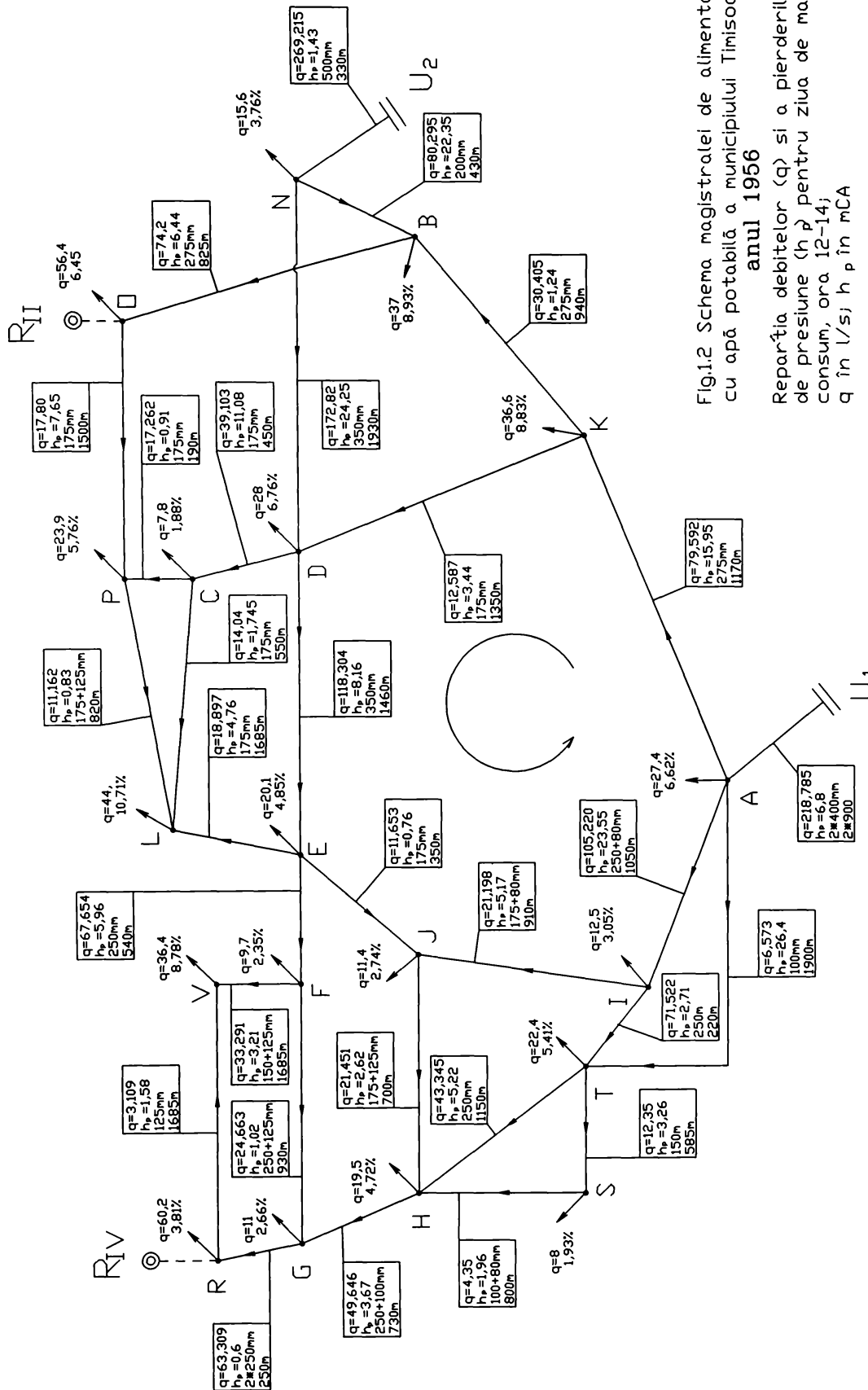


Fig.1.2 Schema magistralei de alimentare cu apă potabilă a municipiului Timișoara anul 1956

Repartiția debitelor ( $q$ ) și a pierderilor de presiune ( $h_p$ ) pentru ziua de maxim consum, ora 12-14;  $q$  în l/s;  $h_p$  în mCA

- Uzina de apă nr.4 cu sursă din canalul Bega 900 l/s
- Uzina de apă nr. 5 cu sursă din subteran 34 l/s
- Uzina de apă nr. 3 apă industrială 150 l/s
- Uzina de apă nr. 3 apă industrială în curs de finalizare 340 l/s

În tabelul nr.1.1 este prezentată dinamica dezvoltării sistemului de alimentare cu apă centralizat la stațiile de tratare.

Tabelul nr.1.1

**Dinamica asigurării apei**

Sursa	Uzina apă	Anul	Debit		Calitatea apei
			Instalat [m <sup>3</sup> /zi]	Cumulat pe surse	
Subterană	1	1914	4600	5600 <sup>x</sup>	potabilă
		1925	4200	9800	
		1938	1700	11500	
		1944	1000	12500	
		1948	800	13300	
		1949	1200	14500	
		1957	3500	18000	
		1980	-	16000	
		1992	26000	42000	
Suprafață Bega	2	1959	10000	10000	potabilă
		1965	26000	36000	
		1968	41500	77500	
		1976	41500	119000	
Suprafață Bega	4	1981	77800	196800	potabilă
Subterană	5	1993	1500	1500	potabilă
Suprafață Bega	3	1916	6000	6000	industrială
		1959	7000	13000 <sup>xx</sup>	

x Debit instalat ,

xx Sursa nu a cunoscut extinderi datorită calității apei

Principala deficiență resimțită în special de către populație constă în faptul că instalațiile în funcțiune nu acoperă nevoile de consum.

În timp ce unitățile industriale și-au rezolvat în mare această problemă prin realizarea unor gospodării de apă proprii constând în rezervoare, stații de pompare și chiar surse proprii, populația din zonele situate în partea diametral opusă a orașului față de surse, în special cea de la etajele superioare, nu este alimentată în mod corespunzător.

Această situație se agravează în perioadele viiturii pe Bega și în zilele cu temperaturi deosebit de ridicate.

Datorită faptului că uzinele de apă existente livrează apa în rețeaua de distribuție în puncte aflate la distanță, unele zone din oraș sunt alimentate cu apă amestecată de la ambele surse și altele numai din sursa de suprafață, care este de calitate și mai slabă. Cum Uzina de apă din subteran se află în apropierea platformei industriale din Calea Buziașului, o parte din debitul livrat de această uzină este consumată de industrie, în timp ce populația folosește în mare parte apa captată din râul Bega.

Dacă din punct de vedere cantitativ râul Bega asigură exploatarea Uzinei de apă de suprafață la debitul nominal și în unele perioade chiar peste acest debit, din punct de vedere a calității apei situația este necorespunzătoare.

În afară de indicatorul "temperatură" care variază între 2-3°C (s-a înregistrat și 1°C) iarna și 24-25°C vara, analizele efectuate în laboratoarele Uzinei de apă cât și cele realizate de ICPCA [175]

au evidențiat la o serie de indicatori, valori ce nu se încadrează în prevederile STAS 4706 pentru surse de apă de suprafață ce pot fi utilizate în vederea potabilizării.

Astfel s-au înregistrat depășiri la următorii indicatori:

- Amoniu 1÷18 zile/an
- Azotați 2÷15 zile/an (13÷16 mg/l)
- Fier total 365 zile/an (0,84÷16 mg/l)
- Substanțe organice 15÷42 zile/an (40÷227 mg/l KMnO<sub>4</sub>)
- Fenoli 2÷9 zile/an
- Bacili coli 159÷263 zile/an (109.000÷1.609.000)

Dacă se urmărește evoluția calității apei captate din râul Bega, pe baza analizelor efectuate începând cu anul 1955-1956, când s-au pus bazele proiectului Uzinei de apă de suprafață din Timișoara, se constată un proces continuu de înrăutățire a indicatorilor de calitate.

S-a ajuns astfel în situația că nici apa livrată de la Uzina de apă de suprafață nu se înscrie în limitele STAS 1342.

Se înregistrează depășiri la:

- Amoniu 3÷14 zile/an
- Fier total 8÷15 zile/an
- Substanțe organice 13÷48 zile
- Fenoli 1÷4 zile/an
- Insecticide 310 zile/an.

Calitatea necorespunzătoare a apei se datorează atât surselor de impurificare existente în bazinul râului Bega, dar și a celor din bazinul superior al râului Timiș (amonte de Lugoj) și care prin nodul hidrotehnic de la Coștei contribuie substanțial la majorarea debitului pe Bega.

Deși analizele bacteriologice ale apei distribuite spre consum nu au înregistrat depășiri a valorilor STAS 1342, nici din acest punct de vedere apa nu poate fi considerată ca fiind de calitate corespunzătoare. Această afirmație se bazează pe datele înregistrate la centrul de medicină preventivă al județului Timiș din care rezultă că în Lugoj unde există o delimitare a populației alimentate cu apă din subteran de cea care consumă apă captată din râul Timiș, cazurile de hepatită epidemică tip A se concentrează cu precădere în zonele unde populația consumă apa de suprafață, deși din dispoziția organelor sanitare, clorul rezidual este menținut la limita maximă admisă și chiar peste această limită. La Timișoara o asemenea delimitare nu există, deoarece raportul apă de suprafață, apă de adâncime este net în favoarea apei de suprafață, iar amestecul acesteia cu cea captată din subteran se face în imediata apropiere a sursei.

Principalele cauze care influențează nefavorabil calitatea apei captate din râul Bega:

- existența în amonte de captare atât pe râul Bega, cât și pe râul Timiș (amonte de Coștei) a unui număr important de localități cu o populație de mai multe sute de mii de locuitori, care într-o formă sau alta contribuie la impurificarea apelor de suprafață.

- o parte din aceste localități, precum și o serie de obiective industriale, agrozootehnice sau de altă natură sunt dotate cu instalații de canalizare, cu sau fără stații de epurare, care descarcă direct sau indirect ape impurificate în cele două râuri. Astfel canalizarea din Caransebeș, Nădrag, Oțelul Roșu, se descarcă în Timiș, iar de la Margina și Făget, în Bega.

- amonte de punctul de priză există mari suprafețe agricole din care o bună parte sunt cuprinse în sisteme de descărcare, care toate descarcă în cele două râuri, contribuind astfel la impurificarea cu îngrășăminte naturale sau chimice, erbicide, substanțe utilizate pentru combaterea dăunătorilor și altele.

În aceste condiții, deservirea cu apă a municipiului nu poate fi considerată decât ca deficitară și astfel se impune măsuri de corectare a neajunsurilor existente.

Dificila problemă a potabilizării a fost rezolvată ținându-se seama de caracteristicile fizico-chimice, bacteriologice și biologice ale sursei de apă și a fost abordată diferențiat funcție de acestea.

Pentru apele subterane, la Uzina nr.1, a fost rezolvată deferizarea și demanganizarea, aerarea fiind realizată prin pulverizarea apei urmată de o dublă filtrare în prefiltre de cox "manganizat" și filtre rapide cu nisip cuarțos.

În ceea ce privește etapa 1992 aerarea se face prin oxidatoare rotative, tratarea continuându-se printr-o dublă filtrare utilizând filtre rapide deschise cu material filtrant nisip cuarțos. Finalizarea tratării apei constă în clorinarea de siguranță.

Apa de suprafață (canalul Bega), îndestulătoare cantitativ, datorită proprietăților sale a impus un studiu atent, de complexitate și răspundere în ceea ce privește stabilirea profilului tehnologic. În esență acesta constă în limpezire, dezinfecție și îmbunătățire a caracteristicilor organoleptice. S-a ținut seama, de asemenea, de evoluția în timp a caracteristicilor influentului, fiecare etapă de dezvoltare abordând și aspectul calitativ al apei furnizate consumului. Limpezirea apei se face în două trepte, decantare și filtrare finală. Decantoarele sunt de tip orizontal-longitudinale, iar filtrele sunt rapide, închise, sub presiune pentru etapa I și deschise pentru celelalte etape de dezvoltare. Dezinfecția se realizează prin clorinare, adoptându-se procesul preclozării, urmat din 1986, în situații de viitură, de o clorinare suplimentară. Corectarea caracteristicilor organoleptice se face utilizând pulberea de cărbune activ.

De remarcat efectul pozitiv, pentru stațiile de tratare, ca de altfel pentru funcționarea întregului sistem de alimentare cu apă, al colaborării dintre beneficiar, proiectant, institute de cercetare specializate și unități de învățământ superior din Timișoara precum și faptul că în anii 1979-1980 a fost realizată o stație pilot modelată pe schema tehnologică a uzinei existente care a permis efectuarea de studii privind potabilizarea apei de orice calitate și încercări de noi adjuvanți de coagulare.

Studiile efectuate au adus date noi privind : folosirea silicei active în procesul coagulării; renunțarea la folosirea sulfatului feros și a clorurii ferice; utilizarea cu randament superior a dublei clorinări; folosirea polielectroliților (în speță a POLIFINULUI); îmbunătățirea procesului de filtrare; utilizarea de alte materiale filtrante în locul nisipului cuarțos; perspectiva utilizării ozonului; posibilitatea adaptării decantoarelor suspensionale; optimizarea funcționării stației de tratare și a rețelei de distribuție; etc.

### 1.1.2 Structura consumului de apă, rețeaua de alimentare cu apă potabilă

Structura consumului de apă, după tipul consumatorilor este: 38,9% la populație, 55,8% la agenții economici și 5,3% la instituții. După tipul debitelor (concentrate, uniform distribuite) avem următoarea structură: 24% debite uniform distribuite și 76% debite concentrate din care 30% consumatori industriali mari, 40% pentru punctele și centralele termice ce prepară apă caldă menajeră și 6 % pentru punctele și centralele termice ce prepară apă caldă menajeră și apa rece este trecută prin stația de hidrofor.

Schemele funcționale, de principiu, a asigurării apei sunt redată în figura 1.3 (pentru Uzinele 1, 2 și 4) și figura 1.4 (pentru Uzina nr.5)

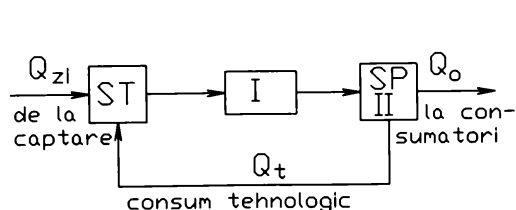


Fig.1.3 Schema funcțională pentru Uzinele de apă nr.1,2 și 4

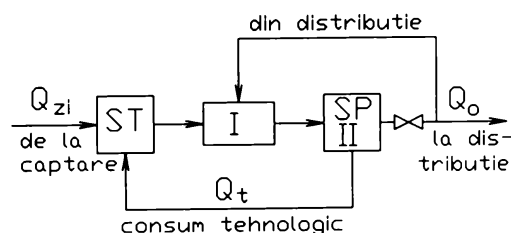


Fig.1.4 Schema funcțională pentru Uzina de apă nr. 5



Apa potabilă în municipiul Timișoara este asigurată, în prezent, de patru surse, două subterane (Uzinele de apă nr.1 și 5 ) și două de suprafață ( Uzinele de apă nr. 2 și 4 ) și ajunge la consumatorii prin sistemul de distribuție inelar prevăzut cu un inel median de 14,5 km cu diametre mari, de 1000 și 800 mm.

Este de remarcat particularitatea sistemului de a înmagazina apa în rezervoare de tip pasant la Uzinele 1, 2 și 4 și de tip tampon la Uzina nr.5. În schema din figura 1.5 este prezentat principiul funcțional de compensare orară al rezervoarelor de înmagazinare.

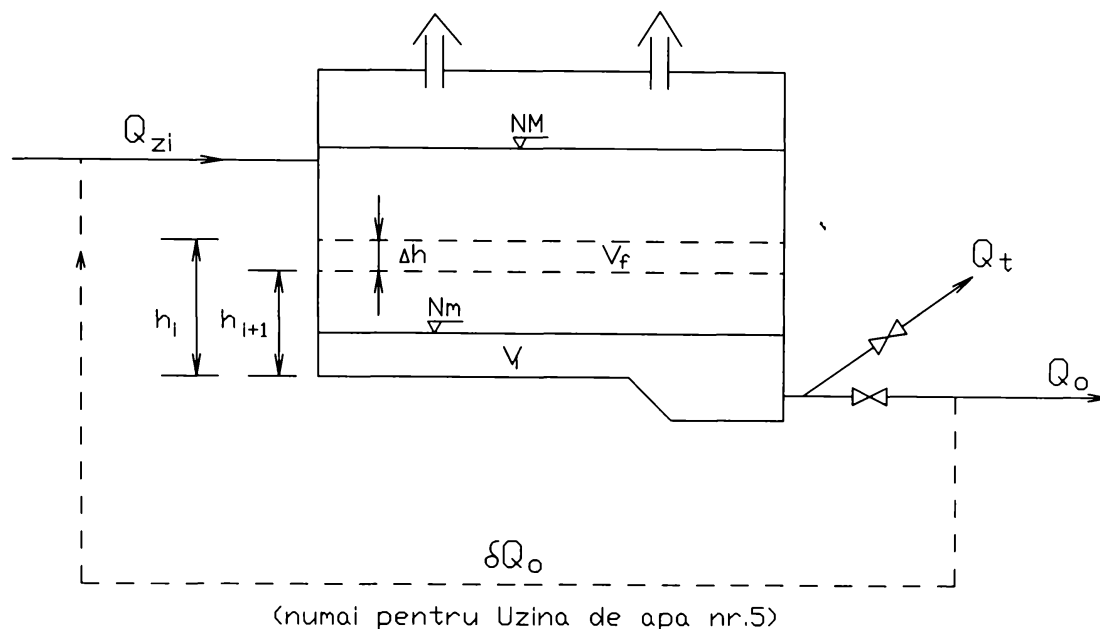


Fig. 1.5 Principiul funcțional de compensare orară al rezervoarelor de înmagazinare

Uzina de apă nr.5, deși ca și sursă de apă de subteran contribuie cu 34 l/s, are și rol de compensare, acumulând la minim consum și distribuind în rețea, la maxim consum, până la 250 l/s (stația de pompare treapta a-II-a are în dotare 2 pompe 14 NDS și 1 pompă 12 NDS).

Rețelele de distribuție, în funcție de perioada în care s-au realizat, au fost executate din tuburi din fontă, oțel, azbociment și beton armat (PREMO). Evoluția lungimii lor, în km, este prezentată în tabelul nr.1.2.

Tabelul nr.1.2.

#### Evoluția lungimii rețelelor în km

Anul Apă	1914	1925	1930	1935	1940	1945	1950	1955	1960
Potab.	87,4	88,7	108,7	122,2	135,4	141,6	144,3	151,1	158
Ind.	15,8	17,2	19,1	20,8	22,3	22,8	26,6	28,4	33,6

Continuare Tabelul nr.1.2

Anul Apă	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1991	1994	1997
Potab.	206,8	242,1	318,8	421,9	484,2	514,1	517,5	533,4	540,6
Ind.	33,5	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5

Extinderea rețelei de distribuție a urmat dezvoltarea municipiului, trebuind să asigure apă pentru noile cvartale de locuințe dar și pentru platformele industriale și, să țină seama că traseele întâlneau în cale canalul Bega și mai multe rețele de cale ferată și drumuri importante. Extinderea în sine constituie o problemă, care în 1973, a fost ajutată de prevederea unui "inel median" de diametru

mare cu rolul de îmbunătățire a regimului de debite și presiune. De asemenea, în calculele de dimensionare, s-a ținut seama de variația orară a consumului de apă industrială (preluată din rețeaua de apă potabilă) utilizând un coeficient  $k_{h\ ind}$  (coeficient de variație orară industrială) stabilit în baza unui studiu prealabil, precum și de adaptarea unor norme specifice de consum de apă, în concordanță cu situația de pe teren.

Au fost elaborate variante de rețele de distribuție în funcție de posibilele amplasări ale stațiilor de tratare pe vatra municipiului, precum și ținând seama de o posibilă separare majoră a rețelelor de apă potabilă pentru populație respectiv industrie.

S-a avut în vedere și concentrarea de debite cerută de instalațiile de preparare a apei calde de consum menajer. Pentru verificarea funcționării rețelei de distribuție s-au luat în considerare două categorii de incendiu, pentru clădirile de locuit, social-culturale și administrative și pentru mica și marea industrie.

Conductele de bransament asigură legătura între rețeaua de distribuție a municipiului și sistemele din interiorul clădirilor pentru transportul apei și sunt realizate pentru una sau mai multe clădiri când, pentru asigurarea presiunii sunt interpușe și stații de hidrofor. Există, însă, destul de multe situații în care la clădiri apa rece și cea caldă au legături diferite, la rețeaua publică respectiv instalația de preparare a apei calde menajere, când, de regulă, se ajunge la o funcționare necorespunzătoare a instalațiilor interioare, asigurând cele două categorii de apă la presiuni mult diferite în batiile amestecătoare generând senzația de disconfort în utilizarea apei de către consumatori.

Se mai întâlnesc cazuri când stațiile de hidrofor nu au, sau ocolesc, rezervorul tampon, astfel că pompele aspiră apa direct din rețea contribuind defavorabil asupra regimului de presiune al rețelei în zonă.

Urmare a faptului că cca. 50% din rețeaua de distribuție are o vechime de peste 50 de ani, deci prezintă un grad avansat de uzură, pierderile datorită defectelor sunt mari.

De asemenea, funcționarea instalațiilor interioare de apă rece și caldă este afectată de: regimul de furnizare al apei calde menajere (în special pentru clădirile proiectate înainte de 1984) care generează vârfuri de consum cărora instalațiile le fac față cu greu; modificarea defavorabilă, în timp, a coeficientului de rugozitate care contribuie la mărirea pierderilor de sarcină și deci, la lipsa apei la nivelurile superioare ale clădirilor; construirea clădirilor în anumite zone aglomerate fără modificarea corespunzătoare și a rețelei de distribuție; materialelor de calitate inferioară folosite la realizarea instalațiilor interioare; adoptarea unor diametre diferite de cele echivalente pentru coloane; absența unui program de verificare și întreținere a instalațiilor, care cuplat cu absența cvazitotală a apometrelor conduce la o risipă majoră de apă; ș.a.m.d.

### ***1.1.3 Stații de pompare***

Uzinele de apă de subteran (Uzina de apă nr.1 și Uzina de apă nr.5) sunt prevăzute cu stații de pompare treapta I la cele 41 de foraje, pentru Uzina nr.1, respectiv cele 6 foraje (34 l/s) la Uzina de apă nr.5, cu pompe submersibile și cu stații de pompare treapta a-II-a în incinta uzinelor, după rezervoarele de înmagazinare (figura 1.6).

Uzinele de apă de suprafață (Uzina de apă nr.2 și Uzina de apă nr.4) au stații de pompare treapta I după decantare, de la captare, tratare chimică, camere de reacție, decantoare curgerea apei fiind gravitațională, iar stațiile de pompare treapta a-II-a sunt după rezervoarele de înmagazinare, deci ambele sunt amplasate în incinta uzinelor de apă (figura 1.7).

Presiunea în rețeaua de distribuție este asigurată de stațiile de pompare de treapta II-a ale fiecărei uzine de apă, având pompele legate în paralel, numărul celor active variind în funcție de mărirea consumului, semnalat prin intermediul valorii presiunii în 10 puncte semnificative ale distribuției, puncte vizualizate pe harta municipiului Timișoara (planșa nr.1).

Dezvoltarea stațiilor de pompare de treapta II-a și a rezervei de înmagazinare au fost studiate și elaborate corelat având în vedere necesitatea și rolul lor în sistemul de alimentare cu apă. Dotările în acest sens pot fi urmărite în tabelul nr.1.3.

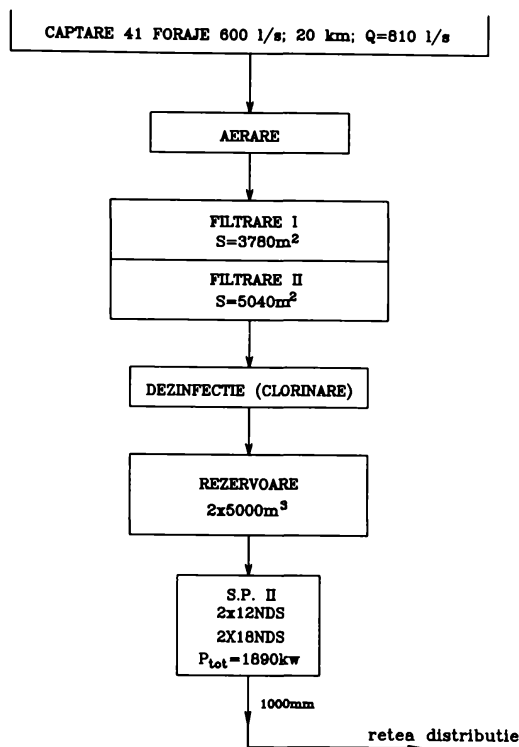


Fig. 1.6 Schema funcțională a Uzinei de apă nr.1

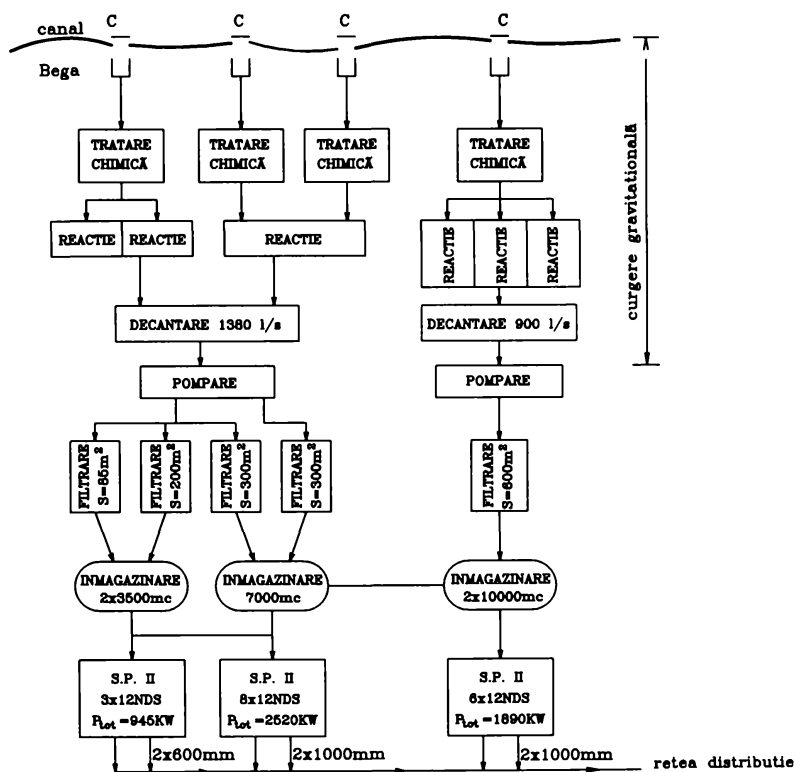


Fig. 1.7 Schema funcțională a Uzinei de apă nr.2+4

Tabelul nr.1.3

## Volumul de înmagazinare și SP II-apă potabilă

Anul	Volum	Locul de realizare	SP II, dotare	Obs.
1914	900 +2x500	Uzina 1- semiîngropat Pe rețea(castel de apă)	3xSiemens- Stukert idem	Până în 1972
1925	+2700	Uzina 1 semiîngropat	idem	Până în 1992
1970	-	-	2xSiemens- Stukert pt. (rebobinate f=50Hz) +1x12NDS	Până în 1992
1959	3500	Uzina 2 semiîngropat	2xCiocanul Timișoara	Până în 1965
1965	+3500	Uzina 2 semiîngropat	2x12 NDS 6	
1967	-	-	+1x12NDS 6	Cu electromotor special de 400kv
1976	+7000	Uzina 2 semiîngropat	8x12NDS	
1981	2x10000	Uzina 4 semiîngropat	6x12NDSa	Înmagazinarea este în legătură și cu Uzina 2
1992	2x5000	Uzina 5	2x14NDS 1x12NDS	inițial au fost 2x14NDS
1992	2x5000 (1x3000)	Uzina 1 extindere	2x12NDS 2x18NDS	

Se constată, încă, o rămânere în urmă față de necesar a volumului rezervei de apă înmagazinată, fapt care impune un uzinaj la debite variabile și o exploatare cu randamente, uneori, neeconomice a stațiilor de pompare uzinale, care asigură transportul apei decantate la filtre, situație accentuată și de continuarea sistemului defectuos din toate punctele de vedere a furnizării apei calde menajere cu intermitență.

În tabelul nr.1.4 sunt prezentate mărimile caracteristice pentru fiecare uzină de apă în parte și anume :

- debitul de apă captată în (l/s);
- numărul de pompe din S.P. treapta a-II-a;
- puterea instalată a acestor pompe în (KW);
- volumul de înmagazinare în (m<sup>3</sup>);
- tipul de apă obținută.

Tabelul nr.1.4

## Mărimi caracteristice pentru uzinele de apă

Uzina nr.1	Uzina nr.5	Uzina nr.2	Uzina nr.4	Uzina nr.3
Q <sub>capr</sub> =810 l/s	34	1380	900	150
4 pompe: 2x12 NDS 2x18 NDS	3 pompe: 2x14 NDS 1x12NDS	11 pompe: 3x12 NDS 8x12 NDS	6 pompe: 6x12 NDS	4 pompe
P <sub>i</sub> =1890 KW	1275	3465	1890	550
V <sub>inmag</sub> =10.000 (m <sup>3</sup> )	10.000	14.000	20.000	12.000
potabilă	potabilă	potabilă	potabilă	industrială

- Observație:*
- Uzina nr.2: 11 pompe 12 NDS cu turația de 1450 rotații/minut, diametrul rotorului pompei de 460 mm și puterea de 315 KW.
  - Uzina nr.4: 6 pompe 12NDS cu turația de 1450 rotații/minut, diametrul rotorului pompei de 460 mm și puterea de 315 KW.
  - Uzina nr.1: 2 pompe 12NDS cu turația de 1450 rotații/minut, diametrul rotorului la ambele pompe de 460 mm inițial, ulterior modificându-se la 440 mm respectiv 430 mm și puterea de 315 KW; 2 pompe 18NDS cu turația de 960 rotații/minut, diametrul rotorului pompei de 640 mm și puterea de 630 KW.
  - Uzina nr.5: 2 pompe 14NDS cu turația de 1450 rotații/minut, diametrul rotorului pompei de 540 mm și puterea de 480 KW.; 1 pompă 12NDS cu turația de 1450 rotații/minut, diametrul rotorului pompei de 460 mm și puterea de 315 KW.

Specific sistemului de alimentare cu apă potabilă din Timișoara îi este modul de funcționare al înmagazinării și stației de pompare de treapta a-II-a ale Uzinei de apă nr.5, care poate fi asemănat cu funcționarea unui castel de apă de pe vatra localității alimentat și dint-o sursă proprie, cu un debit foarte mic de numai 34 l/s. Acest sistem s-a dovedit benefic din punctul de vedere al asigurării debitului și presiunii, pentru o zonă a orașului opusă Uzinelor de apă nr.1, 2 și 4. De asemenea, la Uzinele de apă nr.2 și 4, construite practic în aceeași incintă, după cum s-a observat în figura 1.7, rezervoarele de 10.000m<sup>3</sup> comunică între ele și comunică, de asemenea, cu rezervoarele de 7.000m<sup>3</sup>, asigurând astfel o mai bună funcționare a stațiilor de pompare treapta a-II-a.

Mai este de remarcat un specific al sistemului de alimentare, insuficiența volumelor de înmagazinare. Cei 54.000m<sup>3</sup> ai rezervoarelor înmagazinează:

-volumele tehnologice de apă	9,8%;
-rezerva intangibilă de incendiu	4,1%;
-volumul fluctuant	86,1%.

Practic pentru volumul fluctuant rămân doar 46.494m<sup>3</sup>, ceea ce presupune eliminarea avariilor la captări, aducțiuni și în procesul tehnologic de potabilizare a apei.

De asemenea, se resimte influența/condiționarea consumatorilor asupra debitelor captate, în consecință asupra funcționării aducțiunilor și respectiv a stațiilor de potabilizare, în special pentru apa de suprafață care, din cauza lipsei capacităților de înmagazinare, trebuie să funcționeze cu debite variabile.

Tot consumatorii impun modul de funcționare a stațiilor de pompare de treapta a-II-a prin variația cantităților de apă solicitate (consum aleatoriu), respectiv simultaneitatea consumurilor, prin poziția lor relativă față de uzinele de apă, precum și prin solicitarea rețelei de distribuție.

Pentru a cunoaște perspectivele de alimentare cu apă a municipiului Timișoara, la comanda R.A. AQUATIM Timișoara, s-a realizat un studiu, de institutul de proiectări IPROTIM [182], pentru alimentarea cu apă a municipiului Timișoara, pentru etapa anului 2010.

Pentru anul 2010 cerința de apă a municipiului Timișoara, care se va asigura prin instalațiile centralizate ale municipiului, s-a estimat la 5300 l/s, din care:

-apă potabilă pentru populație	2500 l/s
-apă potabilă pentru agenți economici	1940 l/s
-apă industrială	860 l/s

Având în vedere capacitățile instalațiilor existente și în curs de finalizare, municipiul Timișoara are un deficit de apă cum urmează:

-Anul 1998	- 486 l/s
-Anul 2010	-1686 l/s

Pentru satisfacerea cerinței suplimentare de apă a municipiului Timișoara s-au avut în vedere următoarele surse, rezultate din studiile hidrogeologice și de gospodărirea apelor :

1. Sursa din subteran zona Albina-Sacoșu Turcesc pentru o capacitate de 300 l/s.
2. Sursa de subteran din zona Valea Ardelenilor pentru o capacitate de 350 l/s.
3. Sursa de suprafață din lacul de acumulare Poiana Mărului, zona Caransebeș, pentru o capacitate de 4200 l/s.

4. Sursa de subteran zona Fântânele-Zăbrani din Lunca Mureșului, județul Arad pentru o capacitate de 900 l/s.
5. Surse din subteran Valea Slatina, pentru o capacitate de 500 l/s.
6. Surse din subteran din zona Aradul Nou - Fohnac, pentru o capacitate de 700 l/s.
7. Sursa de subteran din zona Otelec - Toager, pentru o capacitate de 600 l/s.
8. Surse de subteran din zona Timișoara - Sânmihaiul Român -Diniaș, pentru o capacitate de 250 l/s.
9. Sursa de suprafață din canalul Bega, zona Ghiroda, amonte de cartierul Plopi, pentru o capacitate ce poate satisface cerința de apă din fiecare etapă, făcându-se combinații de surse.

S-au avut în vedere studiile de gospodărire a apelor, studiile hidrogeologice și studiile de tratabilitate a apei din diverse surse, întocmite pentru alimentarea cu apă a municipiului Timișoara.

În final se concretizează soluția de realizare a unei uzine de apă pentru sursa de suprafață din lacul de acumulare Poiana Mărului din zona orașului Caransebeș pentru un debit asigurat de 2150 l/s și a unei conducte de aducțiune în lungime de 120 km cu Dn 1600 mm și Dn 1500 mm.

Se menționează că Uzina de apă de la Caransebeș pentru ape din lacul de acumulare Poiana Mărului-Zervești asigură apa necesară și pentru municipiul Lugoj, respectiv pentru toate localitățile de pe traseul conductei de aducțiune, iar pentru municipiul Timișoara ar putea asigura cerința de apă potabilă pentru populație la nivelul anului 2025.

Această variantă privind sursele de apă prezintă următoarele avantaje:

-captarea și tratarea apei din lacurile de acumulare din zona Caransebeș se concentrează într-un singur punct, ceea ce permite o exploatare ușoară;

-amplasând stația de tratare la Caransebeș se poate asigura alimentarea cu apă a municipiului Timișoara, cât și a celorlalte localități de pe traseul aducțiunii (în special municipiul Lugoj, care are greutăți mari în alimentarea cu apă);

-datorită diferenței de nivel între Caransebeș și Timișoara, se poate asigura alimentarea cu apă fără pomparea apei, deci fără consum de energie electrică;

-varianta prezintă mari posibilități de dezvoltare în etape de largă perspectivă, putând asigura un debit de 4200 l/s;

-calitatea apei din lacurile de acumulare este mult superior celei din râul Bega;

Dezavantajul acestei surse este că se află la o distanță de 120 km de municipiul Timișoara, fiind necesar să se realizeze rezerve de apă acumulate în rezervoare pentru o eventuală defecțiune a conductei de aducțiune. Acest dezavantaj îl au și sursele subterane (din alte variante) cu aducțiuni lungi, necesitând aceleași rezerve de apă acumulate.

Într-o primă etapă s-ar putea realiza o conductă de aducțiune urmând ca într-o etapă de perspectivă să se realizeze cea de-a doua conductă de aducțiune și amplificarea stației de tratare de la Caransebeș la capacitatea sursei de 4200 l/s. Racordarea aducțiunii la sistemul de distribuție existent se poate realiza în așa fel ca apa captată și tratată la Caransebeș să se amestece cu cea captată și tratată din subteran, și astfel calitatea apei să fie identică pe toată vatra orașelor alimentate. În acest caz se va putea asigura populației din cele două municipii o apă de calitate mult mai bună față de cea pe care este nevoită să o consume în prezent și să creeze perspectiva satisfacerii integrale ale nevoilor de apă atât a populației, cât și a industriei.

Valoarea totală a investiției pentru sursa de la Poiana Mărului-Zervești, prețuri 1997, este după cum urmează:

1. Valoarea totală	1. 361. 708 milioane lei
din care:	(181,56 milioane dolari)
-construcții montaj	1. 112. 569 milioane lei
2. Capacități	
-captare și tratare	2. 150 l/s
-conducte de aducțiune	119,5 km
-din care - Dn 1600 mm	31,3 km

- Dn 1500 mm	88,2 km
3. Investiție specifică	631. 122 mii lei/l/s
4. Consum specific de energie electrică	0,068 KWh/mc
5. Suprafața de teren ocupată definitiv	34,58 Ha
6. Suprafața de teren ocupată temporar	406,22 Ha
7. Timpul de recuperare (din amortismente + beneficii)	30 ani
8. Timpul de recuperare (din amortismente + beneficii + economie de energie electrică)	24 ani
9. Prețul de cost al apei	1022 lei/m <sup>3</sup>

S-au mai realizat și alte studii ca de exemplu: dezvoltarea sistemului de distribuție și separarea rețelelor de apă, apa pentru nevoile gospodărești și igienico-sanitare asigurându-se cu precădere din surse subterane superioară calitativ celor de suprafață; optimizarea distribuției prin zonare și mărirea capacității de înmagazinare; introducerea polielectroliților ca floculatori în procesul de decantare; dezinfecția în trepte luând în considerare procedee moderne cum sunt ozonizarea și razele ultraviolete; sporirea randamentului procesului de filtrare prin îmbunătățiri aduse materialului filtrant; generalizarea contorizării consumurilor de apă; supravegherea computerizată a funcționării sistemului.

Toate acestea vor fi posibile de realizat numai în măsura în care se va dispune de materiale și instalații de înaltă performanță, precum și de fondurile necesare procurării acestora.

## 1.2 Analiza caracteristicilor actuale ale sistemului de alimentare cu apă potabilă în municipiul Timișoara

La orele de maxim consum se constată că nu este asigurată presiunea necesară la toate punctele de consum atât din cauza pierderilor mari de presiune din sistem, a consumului specific de apă mai mare decât cel prevăzut în stas [164] cât și datorită capacităților de înmagazinare insuficiente. Deoarece apa de suprafață (canalul Bega) are pondere mare ca sursă de apă potabilă, calitatea apei este greu de asigurat pe perioada ploilor, datorită creșterii mari a turbidității apei.

Funcționarea defectuoasă a sistemului de alimentare cu apă în municipiul Timișoara, impune analiza caracteristicilor sistemului pentru a găsi soluțiile optime pentru realizarea unui sistem de alimentare cu apă potabilă ce poate asigura permanent, calitativ și cantitativ apa potabilă la toți consumatorii municipiului.

Sursele pentru alimentarea cu apă a municipiului Timișoara sunt:

- Uzina nr.1 și Uzina nr.5 (surse subterane) asigură 13,2% din necesarul de apă potabilă;
- Uzina nr.2 și Uzina nr.4 (surse de suprafață) asigură 86,8% din necesarul de apă potabilă;
- Uzina nr.3 (sursă de suprafață) asigură apă industrială.

Aceste surse de apă, asigură necesarul de apă potabilă și industrială pentru municipiul Timișoara, adică o suprafață de 4985 ha, o populație de 327.830 locuitori și un număr de 965 străzi.

Debitul maxim pompat, în rețeaua de distribuție, de S.P. treapta a-II-a este de 4800 l/s iar debitul maxim captat de 3274 l/s. Numărul total de pompe din aceste stații este 28, cu o putere instalată de 9070 KW. Volumul total al rezervoarelor de apă este de 54.000 m<sup>3</sup>.

Lungimea rețelelor care deservesc, în prezent, cele 4 uzine de apă potabilă este de 540,6 km, din care 8,7km conducte cu diametrul de 1000mm, 16,8km conducte cu diametrul de 800mm; rețeaua este prevăzută cu un inel median de 14,5km.

### 1.2.1 Mărimi măsurate

Din multitudinea datelor de uzinaj, a potabilizării apei, au fost alese cele referitoare la furnizarea acestora către consumatori:

- debitele captate
- nivelul apei în rezervoare
- numărul pompelor de distribuție în funcțiune

toate înregistrate din oră în oră pe durata unui an și ținând seama de tipul și caracteristicile funcționale ale pompelor, pentru fiecare stație de pompare, precum și de suprafața rezervoarelor de înmagazinare.

Debitele captate s-au determinat, pentru uzinele ce captează apa de suprafață în funcție de nivelul apei din canalul Bega față de stăvilarele gurilor de captare, iar pentru uzinele ce captează apă subterană în funcție de numărul pompelor de foraj în funcțiune și debitul mediu al unui foraj (debitul mediu al unui foraj pentru Uzina nr.1 este  $Q_f^1=48 \text{ m}^3/\text{h}$ , iar pentru Uzina nr.5 este  $Q_f^5=14,4 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Pentru determinarea volumelor de compensare orară se fac citirile orare ale nivelului apei în rezervoarele de înmagazinare cunoscând suprafețele rezervoarelor de înmagazinare la fiecare uzină de apă (pentru Uzina nr.1  $A^1=666 \text{ m}^2$ , pentru Uzina nr.2  $A^2=3110 \text{ m}^2$ , pentru Uzina nr.4  $A^4=4444 \text{ m}^2$ , iar pentru Uzina nr.5  $A^5=2222 \text{ m}^2$ ) Volumul de compensare orară are semnul diferenței de nivel a apei în rezervoarele de înmagazinare (pozitiv, negativ sau zero).

Pentru determinarea debitelor tehnologice s-au verificat, din oră în oră, numărul pompelor de spălare aflate în funcțiune, știind că debitul unei pompe de spălare este de aproximativ  $Q_{\text{spălare}}=900 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Tot din oră în oră s-a verificat numărul pompelor aflate în funcțiune în stațiile de pompare de treapta a II-a, la toate cele patru uzine de apă. Cunoscând astfel numărul pompelor în funcțiune, în fiecare stație de pompare, debitul unei pompe și caracteristica internă pentru fiecare tip de pompă, s-au putut determina debitele orare de apă pompate în rețeaua de distribuție.

Pentru determinarea variației presiunii în rețeaua de distribuție s-au citit, din oră în oră, valorile presiunii în rețea în punctele:

- 1.Str. Diaconu Coressi
- 2.Str. Perlei
- 3.Str. Eugeniu de Savoya
- 4.Calea Aradului
- 5.Calea Bogdăneștilor- Blv. Cetății
- 6.Splaiul Nicolae Titulescu- Str. Nufăr
- 7.Str Bujorilor- Str. Emile Zola
- 8.Str. Polonă
- 9.Sediu (P-ța Libertății)
- 10.Str. Treboniu Laurean

S-a precizat, din oră în oră, amperajul pompelor din S.P. treapta a-II-a, pentru determinarea consumului mediu de energie electrică la uzinele de apă potabilă precum și presiunea la ieșirea din S.P. treapta a-II-a.

### 1.2.2 Prelucrarea datelor

Ecuția generală de bilanț a debitelor este:

$$\Sigma Q_{zi} = \Sigma Q_o + \Sigma Q_t \quad (1.1)$$

iar ecuația de bilanț a debitelor orare este de forma:

$$Q_{o,i} = Q_{zi,i} \pm \Delta V_i - Q_{t,i} \quad (1.2)$$

în care:

$\Sigma Q_{zi}$  este debitul zilnic

$\Sigma Q_o$  este debitul orar

$\Sigma Q_t$  este debitul tehnologic

$Q_{o,i}$  este debitul orar aferent orei i

$Q_{zi,i}$  este debitul zilnic corespunzător orei i

$\Delta V_i$  este volumul de apă consumat, respectiv înmagazinat, în rezervoarele de înmagazinare corespunzător orei i

622.674/1566



$Q_{t,i}$  este debitul tehnologic corespunzător orei  $i$ .

Deoarece capacitățile de înmagazinare sunt insuficiente uzinajul presupune lucru cu debite captate variabile la uzinele de apă de suprafață. Calculul debitelor de apă tratată se face cu relația:

$$Q_{zi,i}^n = a \times Q_{capt,i}^n \quad ; i=1-24 \text{ și } n=2,4 \quad (1.3)$$

în care :

$a=0,985$  este coeficient a consumului de apă pentru prepararea reactivilor

$Q_{capt,i}^n$  este debitul captat la Uzina nr.2 respectiv Uzina nr.4 în ora  $i$ .

Nici în cazul captărilor subterane constanța debitelor nu este asigurată. În această situație calculul debitelor de apă tratată se face cu relația:

$$Q_{zi,i}^m = b \times N_{fi}^m \times Q_f^m \quad ; i=1-24 \text{ și } m=1,5 \quad (1.4)$$

în care:

$b=0,994$  este coeficient a consumului de apă pentru prepararea reactivilor

$N_{fi}^m$  este numărul pompelor de foraj în funcțiune în ora  $i$

$Q_f^m$  este debitul mediu al unui foraj

Însumând debitele captate orare  $Q_{zi,i}^k$  ( $i=1-24$ ) pentru fiecare uzină de apă în parte obținem debitul captat zilnic pentru fiecare uzină de apă, care adunate ne dau debitul zilnic  $Q_{zi,l}$  pentru municipiul Timișoara, exprimate prin formulele :

$$\sum Q_{zi,i}^k = Q_{zi,l}^k \quad ; i=1-24 \quad (1.5)$$

$$\sum Q_{zi,l}^k = Q_{zi,l} \quad ; k=1,2,4,5 \quad (1.6)$$

sau relația (1.6) se mai poate scrie detaliat astfel :

$$Q_{zi,l}^1 + Q_{zi,l}^2 + Q_{zi,l}^4 + Q_{zi,l}^5 = Q_{zi,l} \quad ; l=1-365$$

Volumele de compensare orară  $\Delta V_i$  se stabilesc cu o relație de forma:

$$\Delta V_i^k = \frac{A^k \times \Delta h_i^k}{\Delta t} \quad ; k=1,2,4,5. \quad (1.7)$$

în care:

$\Delta V_i^k$  este volumul de compensare orară pentru uzina de apă nr."k" între orele  $i$  și  $i+1$  ( pentru  $i=24$ ,  $i+1=1$  din ziua următoare );

$A^k$  este suprafața rezervoarelor de înmagazinare de la uzina de apă nr."k";

$\Delta h_i^k = h_i^k - h_{i+1}^k$  ; pentru  $k=1,2,4,5$ ;  $i=1-24$  și reprezintă diferența între nivelul apei în rezervorul de înmagazinare la ora  $i$  și nivelul apei în rezervorul de înmagazinare la ora  $i+1$  pentru fiecare uzină de apă.

Diferența de nivel  $\Delta h_i^k$  poate fi pozitivă, negativă sau nulă, semn care este transmis și volumului de compensare orară  $\Delta V_i^k$ .

Pentru uzinele de apă 1,2 și 4 volumul de compensare se determină cu relațiile:

$$V_i^k = A^k \times \frac{\Delta h_i^k}{1} \quad ; k=1,2,4 \text{ iar } \Delta t=1 \text{ deoarece citirile se fac din oră în oră; } \quad (1.8)$$

$$\sum V_i^k = \Delta V_i^k \quad ; i=1-24 \quad (1.9)$$

Pentru Uzina de apă nr.5 volumul de compensare orară se determină cu relația:

$$\Delta V_i^5 = \Delta V_i^5 + \frac{Q_{zi,i}^5}{\Delta t} \quad (1.10)$$

deoarece în orele de minim consum rezervoarele de înmagazinare de la Uzina de apă nr.5 acumulează apă și din rețeaua de distribuție a municipiului Timișoara.

Însumând volumele de compensare pentru cele 4 uzine de apă obținem volumul de compensare pentru municipiul Timișoara :

$$\sum \Delta V_i^k = \Delta V_i \quad ; k=1,2,4,5 \quad (1.11)$$

sau detaliat

$$\Delta V^1_i + \Delta V^2_i + \Delta V^4_i + \Delta V^5_i = \Delta V_l \quad ; l=1-365$$

Pentru volumul de compensare  $\Delta V_l$  se obțin , ca pentru fiecare uzină de apă în parte valori pozitive , negative sau egale cu zero.

Debitul tehnologic se determină pentru fiecare uzină de apă în parte în funcție de numărul pompelor de spălare aflate în funcțiune în fiecare oră, debitul unei pompe de spălare și caracteristica internă a pompei:

$$\Sigma Q^k_{t,i} = Q^k_{tl} \quad ; k=1,2,4,5 \quad (1.12)$$

Însumând debitele tehnologice de la cele patru uzine de apă, obținem debitul tehnologic de calcul pentru întreg municipiul Timișoara:

$$\Sigma Q^k_{tl} = Q_{tl} \quad (1.13)$$

sau detaliat:

$$Q^1_{tl} + Q^2_{tl} + Q^4_{tl} + Q^5_{tl} = Q_{tl} \quad ; l=1-365$$

Debitele orare de apă pompată în rețeaua de distribuție au fost stabilite cu relația :

$$Q^k_{o,i} = \alpha_i(N^k_i) \times Q^1_{pk} \quad ; k=1,2 \text{ și } 4 \quad (1.14)$$

în care:

$\alpha_i(N^k_i)$  este coeficient de debit pentru funcționarea în paralel a  $N^k_i$  pompe;

$Q^1_{pk}$  este debitul nominal al unei pompe.

Relația ( 1.14 ) s-a folosit pentru stabilirea debitelor orare de consum la Uzinele de apă 1,2 și 4 iar la Uzina de apă nr.5 , care are și rol de compensare, s-a folosit relația:

$$Q^5_{o,i} = \alpha_i(N^5_i) \times Q^1_{p5} - \frac{\Delta V^5_i}{\Delta t} \quad (1.15)$$

### 1.2.3 Interpretarea rezultatelor

În graficul nr.1.1 se prezintă valorile coeficientului de variație zilnică pe parcursul unui an de zile, obținut cu relația:

$$k_{zi,l} = \frac{Q_{zi,l}}{\Sigma Q_{zi,l} / 365} \quad l=1-365 \quad (1.16)$$

Admițând o eroare de  $\pm 5.000$  unități (litri) pentru ecuația de bilanț a debitelor orare (1.2) , ceea ce ar corespunde unui decalaj funcțional de 27,78 minute, în graficul nr.1.2 sunt prezentate variațiile liniare ale volumelor de înmagazinare pentru o perioadă semnificativă din an , având ca referință capacitatea lor existentă.

Coeficientul de variație orară a fost determinat prin două procedee, cel a debitelor:

$$k_{o,g} = \frac{\max Q_{o,i,l}}{Q_{zi,l}} = A \quad (1.17)$$

și respectiv al procentelor de consum maxime, stabilite cu metoda diferențelor cumulate, adică:

$$k_{o,g} = \frac{c\%_{\max,l}}{a\%} = B \quad (1.18)$$

în care:

$c\%$  este coeficientul de consum , care la valori cumulate trebuie să aibe ultima valoare 100 pentru fiecare zi;

$c\%_{\max,l}$  este valoarea maximă a coeficientului de consum pentru fiecare zi;

$a\%$  este coeficient de alimentare care are valoarea de 4,1(6) deoarece alimentarea este uniformă; și în acest caz, la valori cumulate, acest coeficient de alimentare trebuie să aibe ultima valoare 100 pentru fiecare zi.

Rezultatele obținute sunt prezentate în graficul nr.1.3. Coeficientul global de variație orară a consumurilor de apă este prezentat, pentru zilele săptămânii în anexa nr.1.

Pentru a cunoaște perioada consumurilor maxime, s-a determinat frecvența orei de maxim consum (graficul nr.1.4) ținând seama de toate maximele de consum dintr-o zi pe perioada de un an luată în studiu. În anexa nr.1 este reprezentată frecvența orei de maxim consum pentru prima valoare maximă a consumurilor de apă.

Pentru perioada 11 octombrie 1996-26 aprilie 1997 s-au determinat: presiunea apei în rețea; presiunile de refulare a pompelor din stațiile de pompare treapta a-II-a de la Uzinele de apă nr.2+4 și Uzina de apă nr.1; consumul mediu de energie electrică la uzinele de apă potabilă. În graficul nr.1.5 sunt vizualizate valorile obținute. În anexa nr.1, sunt prezentate grafic variațiile distribuției apei și consumul mediu de energie electrică la uzinele de apă potabilă, pe zile specifice. Pentru întocmirea acestor grafice s-au utilizat parametrii de funcționare ai uzinelor de apă și valorile presiunilor în cele 10 puncte caracteristice ale rețelei de distribuție.

Parametrii de funcționare ai uzinelor de apă ce au surse de suprafață (Uzina nr.2 și Uzina nr.4) sunt:

- debitul captat, în (l/s);
- nivelul apei din canalul Bega (în cm față de un stăvilar);
- nivelul apei în rezervoarele de înmagazinare, în (m),
- presiunea la ieșirea din S.P. treapta a-II-a;
- numărul pompelor în funcțiune în S.P. treapta a-II-a;
- amperaj pompe S.P. treapta a-II-a;

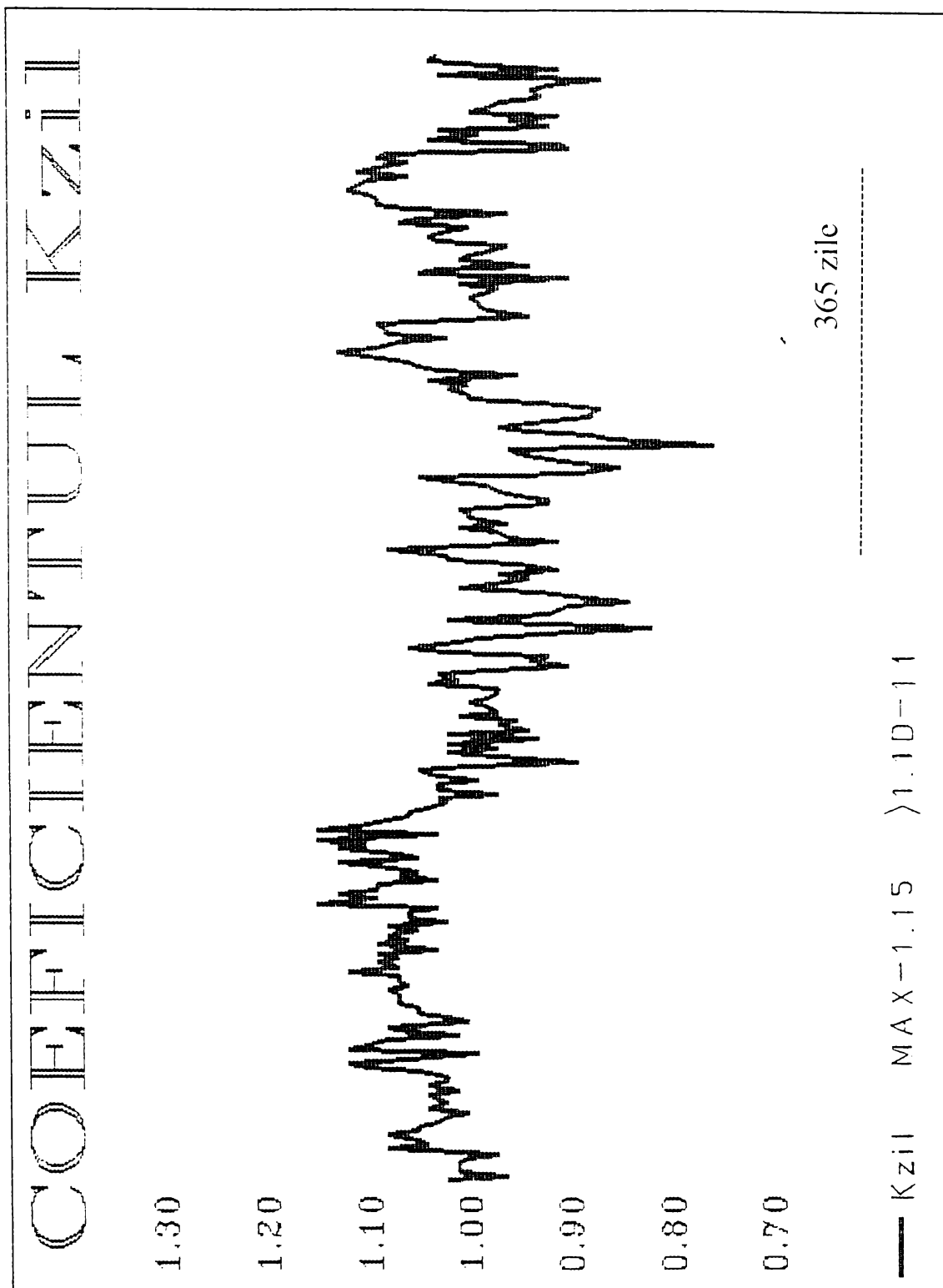
respectiv pentru uzinele de apă ce au surse de apă subterană (Uzina nr.1 și Uzina nr.5) sunt:

- numărul de foraje în funcțiune;
- nivelul apei în rezervoarele de înmagazinare, în (m);
- presiunea la ieșirea din S.P. treapta a-II-a;
- numărul pompelor în funcțiune în S.P. treapta a-II-a;
- amperaj pompe S.P. treapta a-II-a.

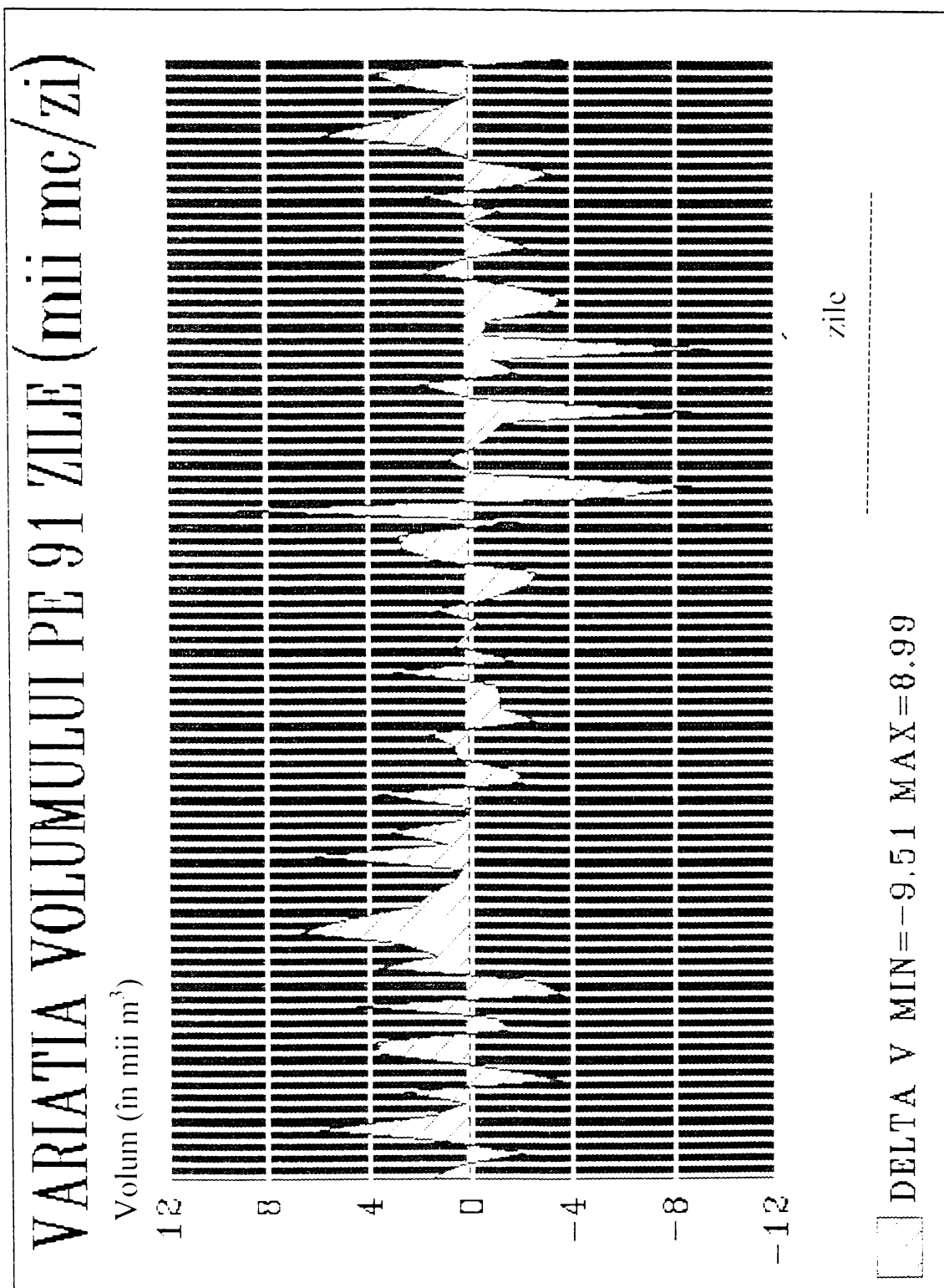
Toți acești parametri, precum și valorile presiunilor în cele 10 puncte caracteristice ale rețelei de distribuție, sunt precizați din oră în oră, pe întreaga perioadă considerată în prezentul studiu de caz, pentru municipiul Timișoara.

Din studiul întreprins s-au desprins următoarele:

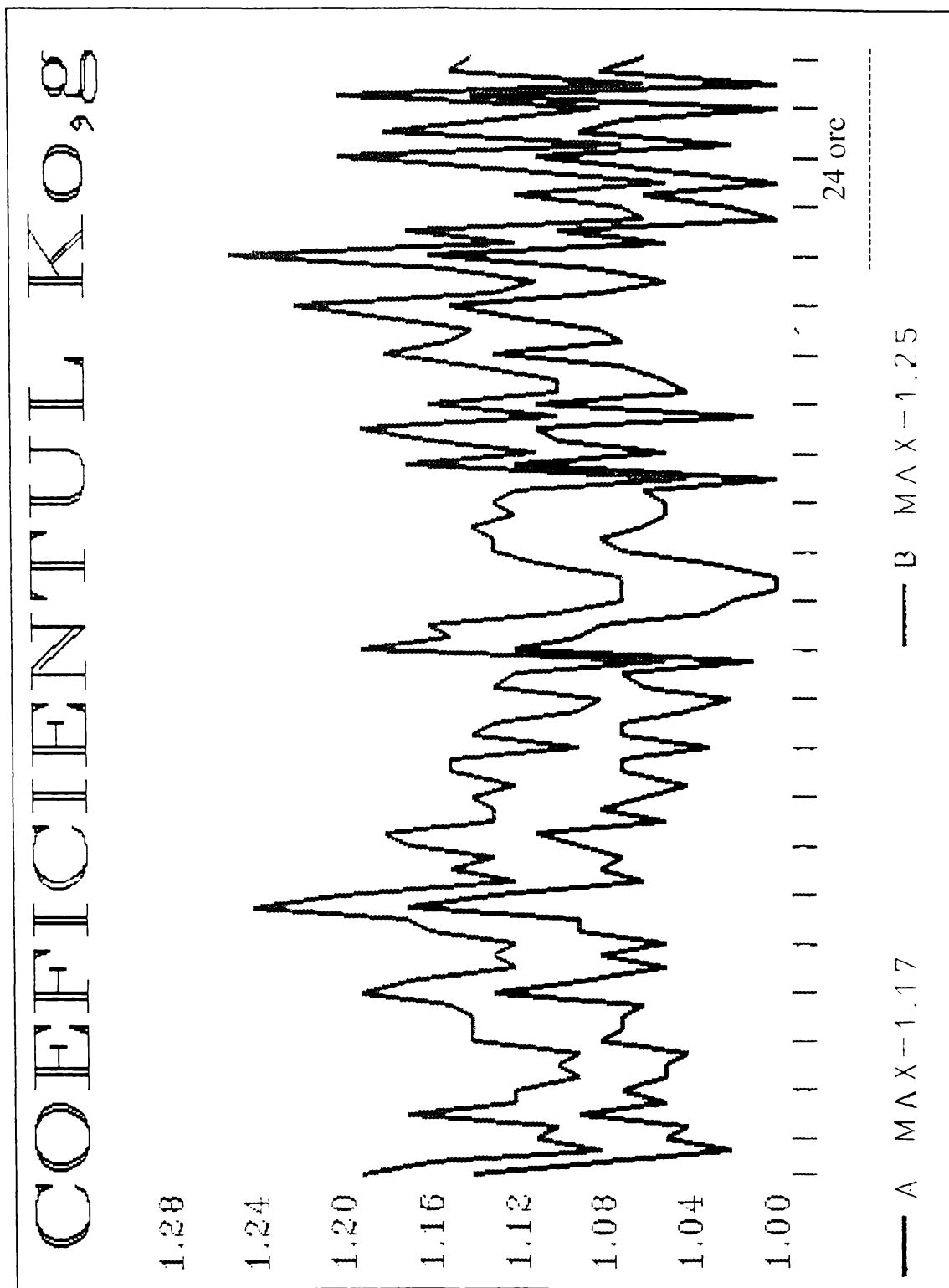
- necesitatea unificării și menținerii orelor de citire/înregistrare a măsurătorilor;
- coeficientul  $k_{zi,max}$ , (graficul nr.1.1), are valoarea mai mare decât cea standardizată [164];
- capacitățile de înmagazinare trebuie să fie mărite;
- oscilațiile capacităților de înmagazinare se transmit de la o zi la alta și sunt preluate atât datorită variației impuse debitelor captate cât și prin controlul funcționării stațiilor de pompare de treapta a doua;
- coeficientul de variație orară globală are valori mai mari de 1,1 independent de procedeul de calcul adoptat;
- diferența între cele două procedee de stabilire a coeficientului de variație orară  $k_{o,g}$  se explică prin neconcordanța totală a citirilor/înregistrărilor măsurătorilor cât și prin influența reciprocă a consumurilor și uzinajului de la o zi la alta;
- neuniformitatea consumurilor este mai mare sâmbăta, luna și marțea (sâmbăta se obține maximum) și mai mică miercuri, joi, vineri și duminică (joi și duminică minim);
- ora de maxim consum, medie pe an, este 9 (de la 8 la 9) când se iau în considerare primele valori maxime de consum dintr-o zi, respectiv 13 (de la 12 la 13) când sunt considerate toate valorile maxime de consum ale unei zile. Apreciem că acest maxim este "impus" și de funcționarea sistemului de alimentare cu apă;



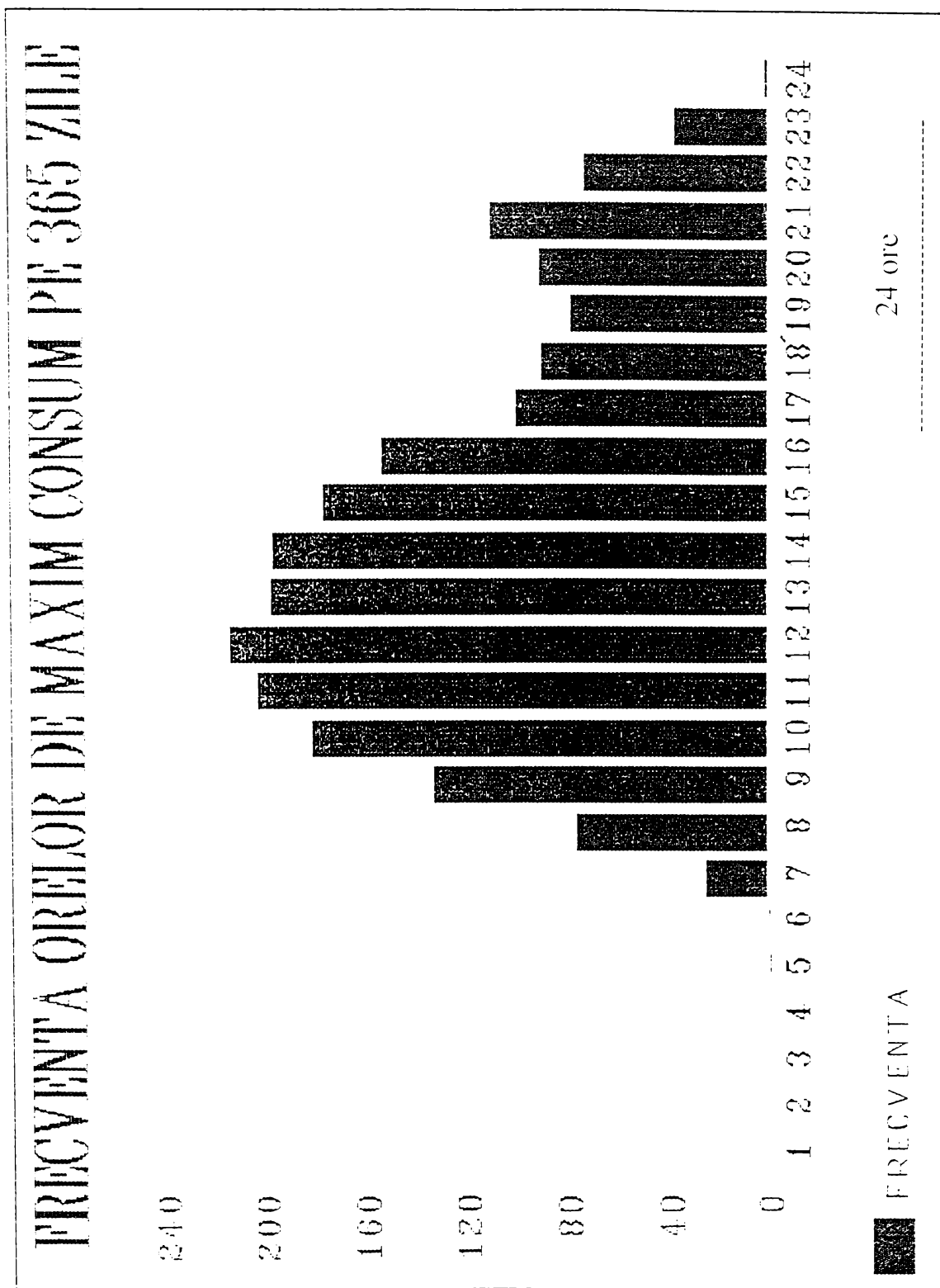
Graficul nr.1.1 Coeficientul de variație zilnică  $K_{zi}$  pe parcursul unui an



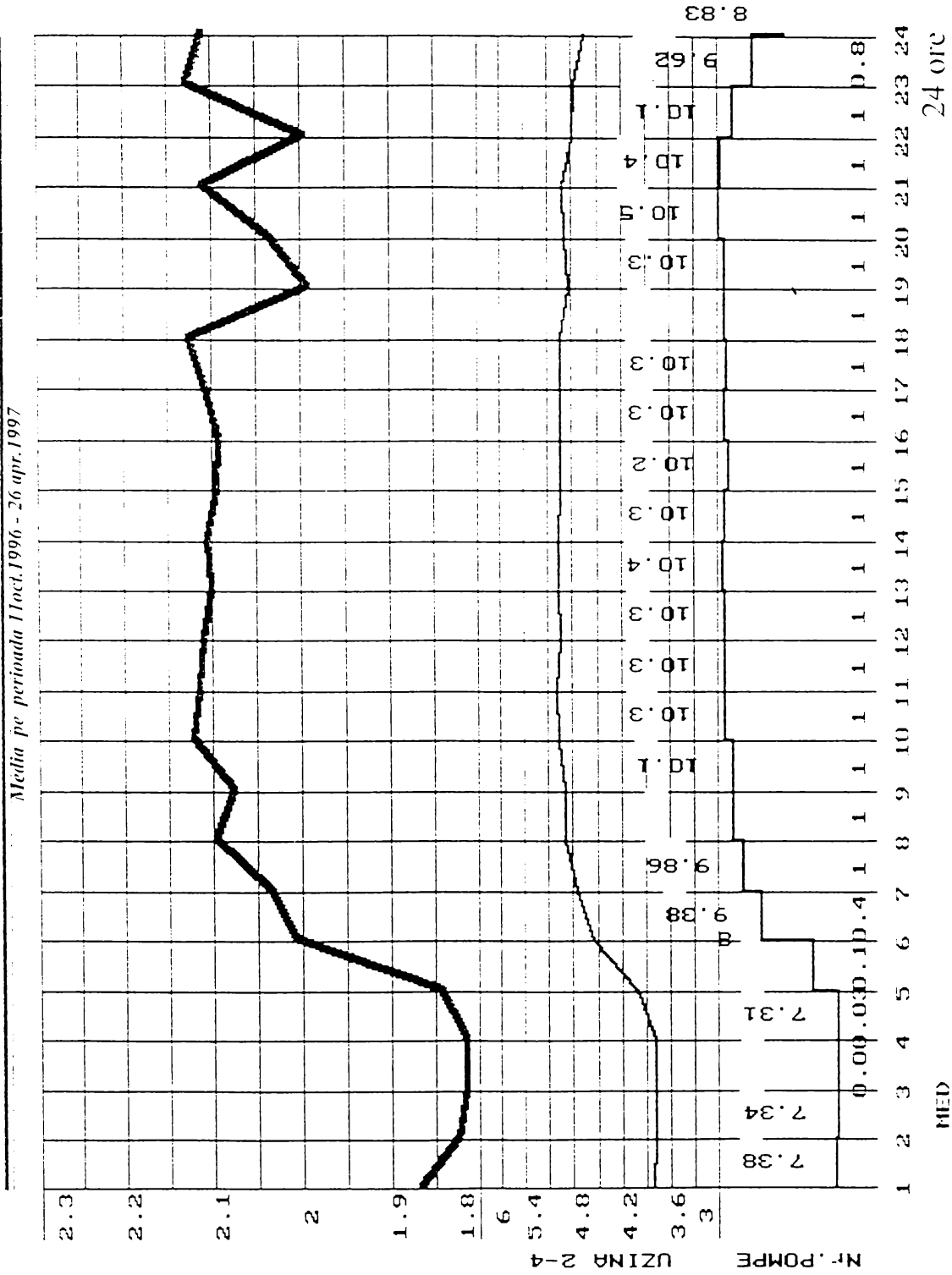
Grăful nr. 1.2 Variațiile liniare ale volumelor de înmagazinare pentru o perioadă semnificativă din an



Graficul nr.1.3 Coeficientul de variație orară  $K_0$ , determinat prin metoda debitelor(A) și prin metoda diferențelor cumulate(B)



Graficul nr.1.4 Frecvența orei de maxim consum pentru toate valorile maxime a consumurilor de apă dintr-o zi



104.35 MWh

Consum mediu energie electrică la uzinele de apă potabilă:

Graficul nr. 1.5 Presiunea apei în rețea, presiune rețelare pompe Uzinele de apă nr. 2+4 și Uzina de apă nr. 1. consumul mediu de energie electrică



-pentru perioada 11 octombrie 1996 - 26 aprilie 1997 a rezultat un consum mediu de energie electrică , la uzinele de apă potabilă, de 104,34 MWh ;

-alura curbei de variație a presiunii apei în rețeaua de distribuție este asemănătoare cu cea a presiunii de plecare de la Uzinele 2-4 care de fapt asigură partea cea mai mare de apă potabilă pentru municipiul Timișoara ;

-această formă a curbei de variație a presiunii apei în rețeaua de distribuție, de fapt variația distribuției apei, este mult influențată de modul de furnizare a apei calde menajere, care este diferit pe perioada de iarnă față de perioada de vară . Aceasta justifică alegerea perioadei de 11 octombrie 1996 - 26 aprilie 1997, când funcționează și instalațiile de încălzire și deci și consumul de apă caldă este restrâns ( în zilele geroase este chiar oprită furnizarea apei calde menajere ).

Neuniformitatea consumurilor este evidentă atât de la o zi la alta cât și de la o oră la alta și justifică eforturile în aflarea celor mai bune soluții tehnice și tehnologice de furnizare a apei în municipiul Timișoara.

Funcționarea automatizată și/sau computerizată a sistemului de alimentare cu apă va aduce, pe lângă economii de energie electrică și o optimizare a uzinajului.

#### ***1.2.4 Optimizarea monitorizării și a organizării măsurărilor în stațiile de pompare***

Scopul unei stații de pompare din alimentarea cu apă este asigurarea continuă a debitului variabil  $Q_{\text{statie}}$  și a înălțimii de pompare variabile  $H$ , solicitate de rețea, deci de către beneficiari.

Optimizarea exploatării stațiilor de pompare are, printre obiectivele importante și următoarele:

- micșorarea continuă a costului global al pompării, la nivelul întregii rețele de alimentare a unei localități, în condițiile satisfacerii continue a tuturor beneficiarilor;

- asigurarea funcționării cu fiabilitate maximă a tuturor echipamentelor, prin prevenirea continuă a deteriorării echipamentelor, adică prin depistarea precoce atât a uzurii globale a fiecărui echipament în parte, cât și prin depistarea precoce a oricărui început de avarie și manevre în consecință.

Micșorarea continuă a costului global al pompării, la nivelul întregii rețele de alimentare cu apă a unei localități, se realizează prin:

- realizarea continuă, de dorit de la un dispecer central , a distribuției optime a debitului total și a înălțimilor de pompare între stațiile de pompare ale rețelei, în așa fel încât să se minimizeze continuu puterea consumată pentru pompare, la nivelul întregii rețele; astfel se stabilesc, în fiecare moment, valorile variabile în timp ale debitului total  $Q_{\text{statie}}$  și a înălțimii de pompare  $H$ , pe care trebuie să le asigure fiecare stație de pompare în parte;

- creșterea continuă a randamentului global al fiecărei stații de pompare în parte, în condițiile realizării continue a valorilor repartizate  $Q_{\text{statie}}$  și  $H$ .

Creșterea continuă a randamentului global a unei stații impune automatizarea procesului de pompare. La rândul său, automatizarea se bazează pe utilizarea curbelor caracteristice sau a caracteristicilor funcționale ale echipamentelor (pompe, motoare, iar în cazul reglării turației și convertizoare de frecvență, eventual și transformatoare). Deoarece, în timpul funcționării, unele din aceste curbe caracteristice se modifică, mai ales din cauza uzurii echipamentelor, este necesară actualizarea curbelor, continuă sau periodică, prin măsurarea simultană directă, în stația de pompare, a parametrilor necesari. Nivelul calitativ maxim al acestor măsurări se asigură prin monitorizarea automată.

Asigurarea unei fiabilități ridicate se face atât prin achiziționarea numai a unor echipamente de calitate, cât și prin urmărirea continuă a unor parametri, pentru depistarea precoce a unor pericole de avarii și intervenția promptă, în scopul evitării acestor avarii. Urmărirea se poate face tot prin monitorizare automată. Dar monitorizând automat un număr relativ mare de parametri pentru fiecare electropompă, se ajunge la costuri relativ mari; de aceea este necesară și o **optimizare a monitorizării**.

Pentru a analiza funcționarea stațiilor de pompare treapta a-II-a de la Uzinele de apă nr.1, 2, 4 și 5 s-au trasat graficele presiunilor de refulare și a numărului de pompe în funcțiune pe trei perioade de timp:

- pe o perioadă de un an: 01.01.1996-31.12.1996;
- pe perioada de iarnă, când sistemul de termoficare funcționează: 15.10.1995-15.04.1996;
- pe perioadă de vară, când sistemul de termoficare nu funcționează: 15.04.1996-15.10.1996.

La trasarea graficelor, cu ajutorul unui program de calcul ce utilizează limbajul de programare FOX PRO PROFESSIONAL, s-au calculat presiunea de refulare a pompelor din stațiile de pompare treapta a-II-a și numărul pompelor în funcțiune pentru 24 de ore, ținând cont de toate valorile orare înregistrate pe cele trei perioade de timp (an, iarnă, vară), menționate mai sus. În anexa nr.1 sunt prezentate toate aceste grafice obținute. Pentru perioada de un an s-au obținut astfel:

- graficul 1.6 pentru Uzina de apă nr.1;
- graficul 1.7 pentru Uzina de apă nr.2;
- graficul 1.8 pentru Uzina de apă nr.4;
- graficul 1.9 pentru Uzina de apă nr.5.

Din prelucrarea acestor date, cu ajutorul unor programe complexe de calcul, s-au determinat debitele de calcul, energiile hidraulice, pierderile de energie în funcție de numărul de pompe și presiunea de refulare pompă și caracteristicile compuse pentru tipurile de pompe aflate în dotarea stațiilor de pompare, frecvențele de apariție a debitelor, a presiunilor și a randamentelor.

Rezultă că pe timp de iarnă consumul de apă este mai mare, fapt justificat de funcționarea rețelei de termoficare în sezonul rece și de întreruperea furnizării apei calde, în sezonul cald, datorită reparațiilor din punctele și centralele termice.

În capitolele 3 și 5 sunt prezentate detaliat valorile obținute, menționăm însă plaja de randamente:

- pentru Uzina de apă nr.1 randamente între 42,3 % și 65,5 %;
- pentru Uzina de apă nr.2 randamente între 53 % și 72 %;
- pentru Uzina de apă nr.4 randamente între 53 % și 72,2 %;
- pentru Uzina de apă nr.5 randamente între 31,4 % și 42,5 %.

Valorile minime sunt cu frecvență foarte mică de apariție, iar valorile maxime au frecvența cea mai mare de apariție. Aceste valori minime impun necesitatea analizării mai atente a modului de funcționare a stațiilor și stabilirea unor soluții de echipare corespunzătoare a stațiilor de pompare, de monitorizare a acestora, sau de modificare a diametrelor rotoarelor pompelor în vederea aplatizării caracteristicilor interne a pompelor (pentru a evita funcționarea stațiilor de pompare cu vanele închise pe refularea pompelor).

Până în prezent există răspândită concepția că este suficient, pentru a cunoaște un bilanț energetic real, să se măsoare doar 3 parametrii la o electropompă, anume:

- puterea  $P_{borne}$  la bornele motorului;
- debitul  $Q_p$  dat de pompă;
- înălțimea de pompare  $H$  măsurată la pompă.

Față de posibilitățile actuale realiste ale tehnicii, în prezent se impune ca necesară măsurarea, pe lângă  $P_{borne}$ ,  $Q_p$  și  $H$  a încă 2 parametrii, anume:

- cuplul sau momentul  $M$  la arborele electromotorului pompei
- turația efectivă  $n$ , care variază (este drept că în limite restrânse) odată cu variația lucrării  $s$  a motoarelor asincrone ( $s$  variază uzual între 1.5% și 4.5%).

Cunoscând turația efectivă și cuplul la arborele pompei, din produsul lor rezultă puterea la arbore  $P_{arb}$  și deci se poate, pe baza de măsurători, stabili exact randamentul global al tuturor echipamentelor electrice pe de o parte și randamentul pompei, pe de alta parte.

Ținând cont de complexitatea pierderilor în echipamentele electrice în cazul reglării turației, nici recepția corectă, nici urmărirea în exploatare a acestor echipamente nu se poate face fără a se măsura, separat de pompă, pierderile și randamentele, adică puterea la borne  $P_{borne}$ , cuplul la arbore  $M$  și turația  $n$ . În plus, turația  $n$  trebuie cunoscută și pentru a se putea aprecia corect caracteristicile

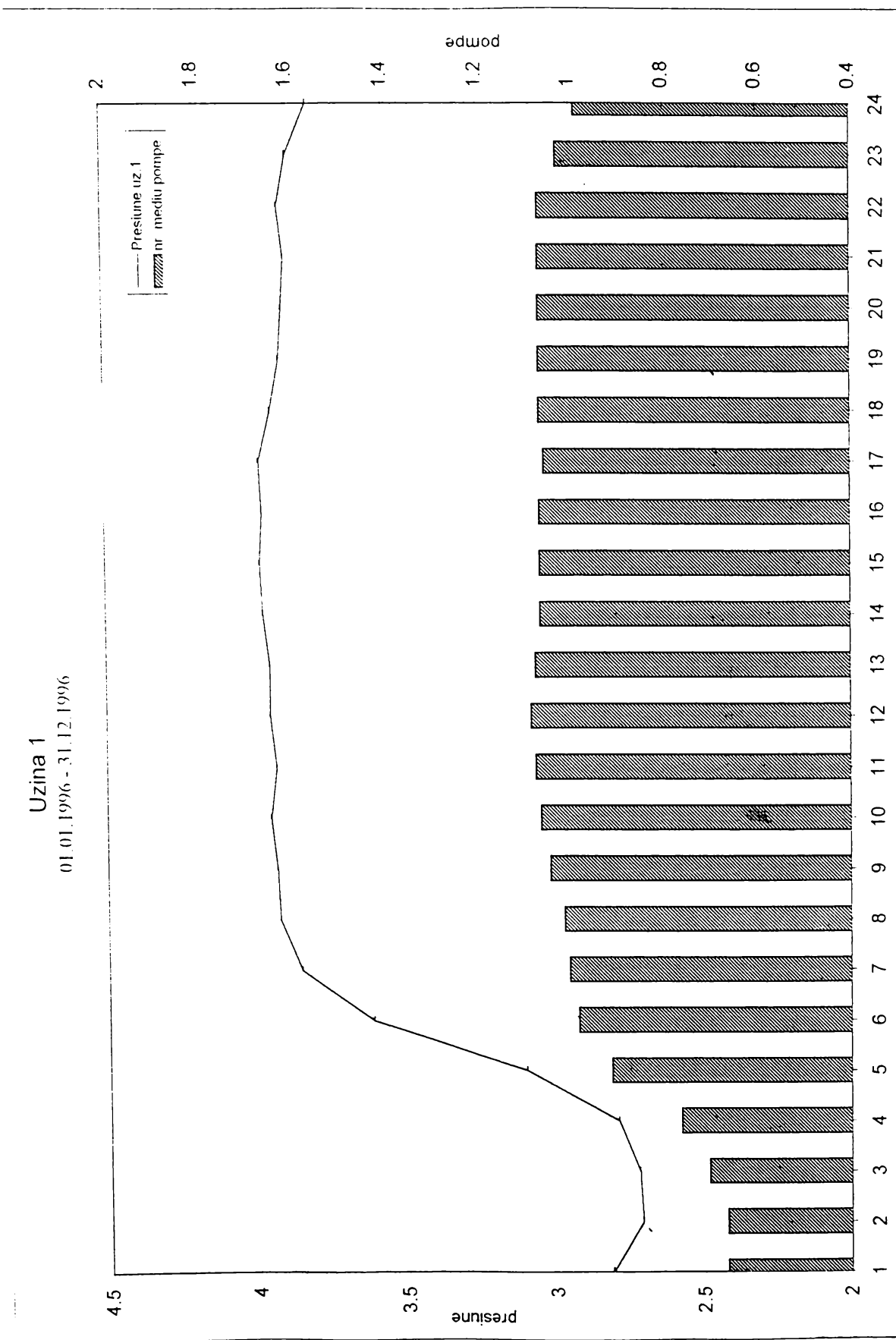
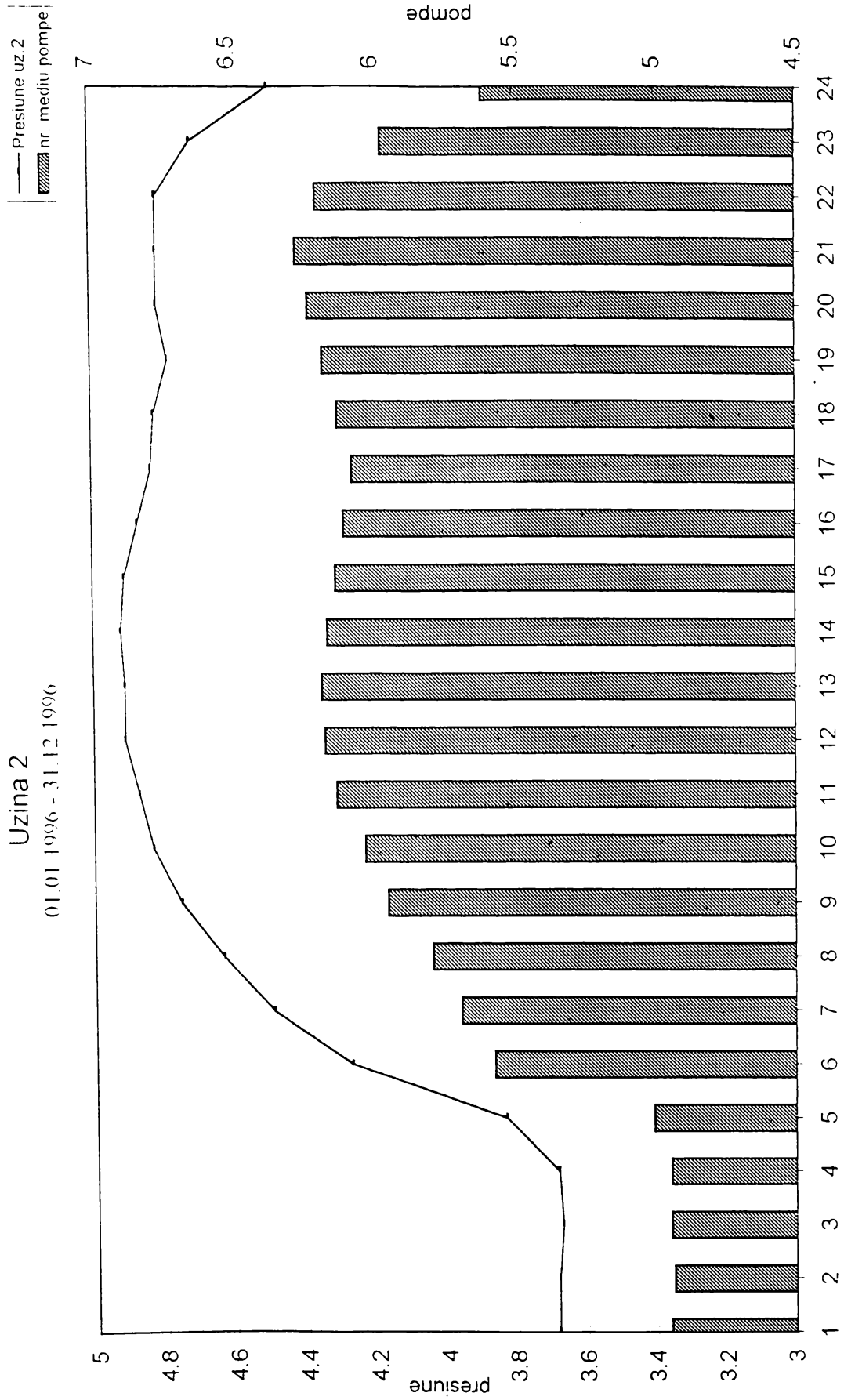


Fig. 1.6 Variația presiunii de refulare și a numărului pompelor în funcțiune din stația de pompare treapta a-II-a de la Uzina de apă nr. 1 pe perioada de un an



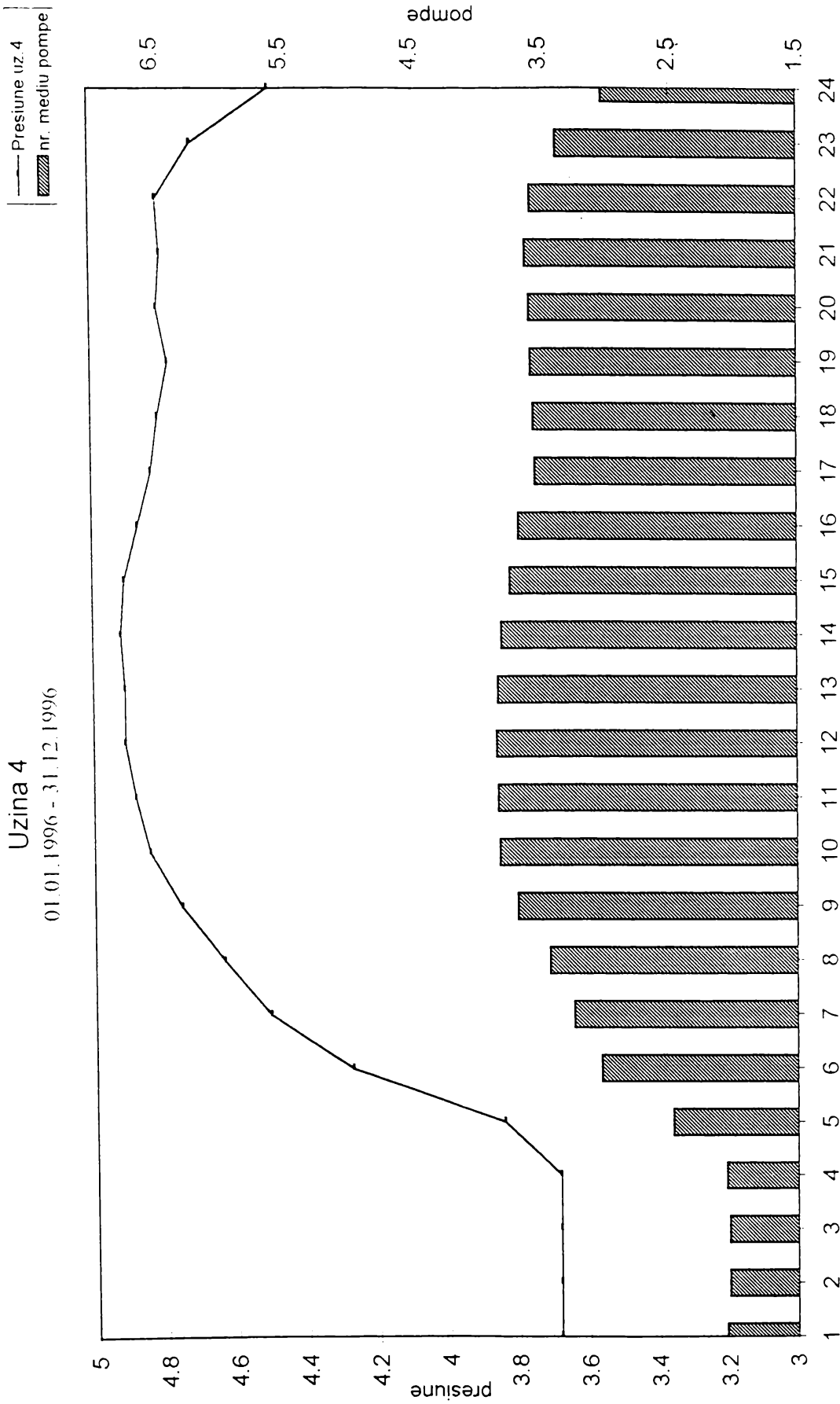


Fig. 1.8 Variația presiunii de refulare și a numărului pompelor în funcțiune din stația de pompare treapta a-II-a de la Uzina de apă nr.4 pe perioada de un an

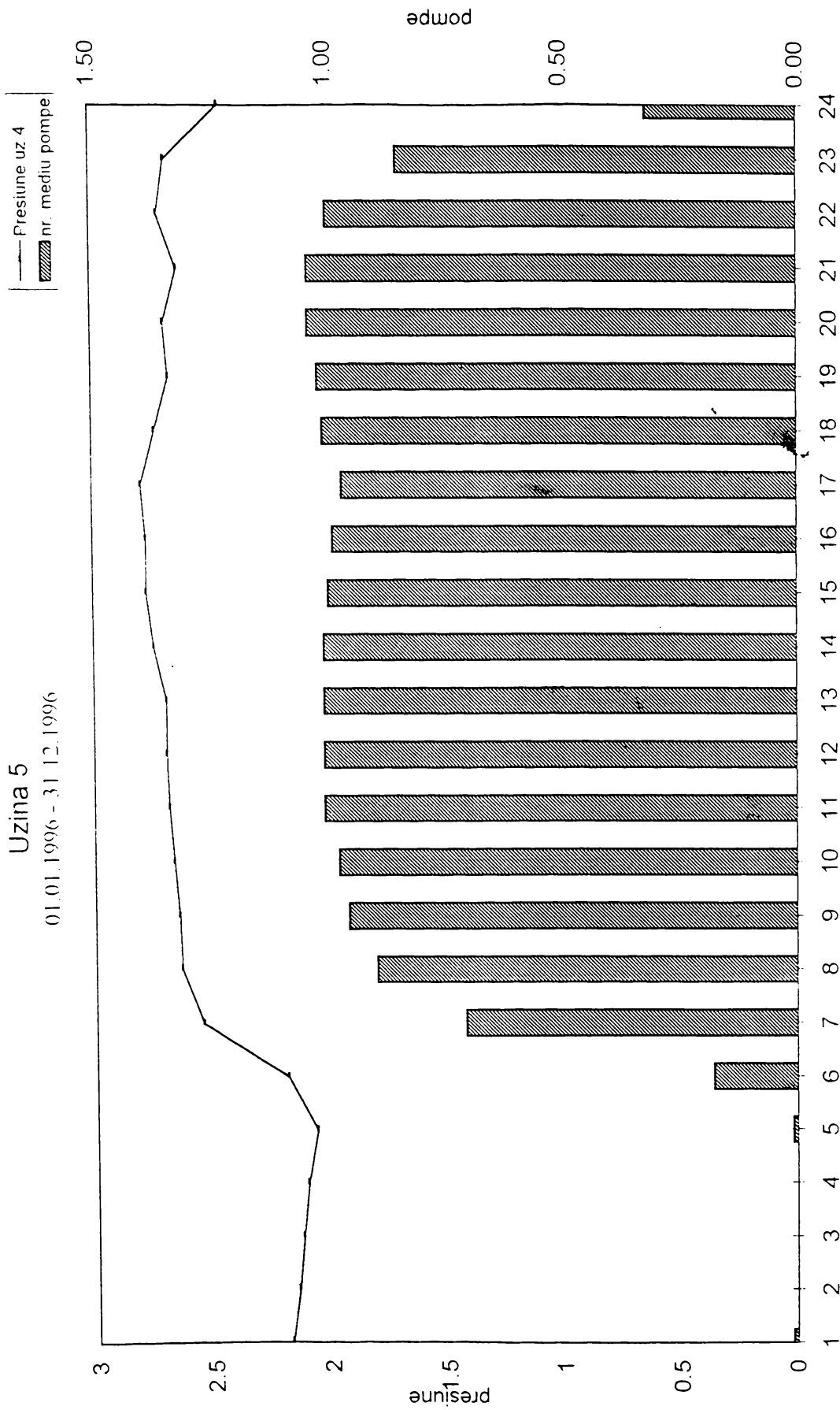


Fig. 1.9 Variația presiunii de refulare și a numărului pompelor în funcțiune din stația de pompare treapta a-II-a de la Uzina de apă nr.5 pe perioada de un an

$Q_p$  -H și  $\eta_p$  - $Q_p$  ale pompei. Aceasta deoarece debitul  $Q$  variază proporțional cu turația  $n$ , presiunea  $H$  variază proporțional cu turația la pătrat, iar puterea variază proporțional cu turația la cub. În figura 1.8 se dă variația procentuală a acestor parametri ( $Q,H,P$ ) în funcție de variația procentuală a turației  $n$  și a alunecării  $s$  pentru domeniul uzual de variație a alunecării la motoarele asincrone.

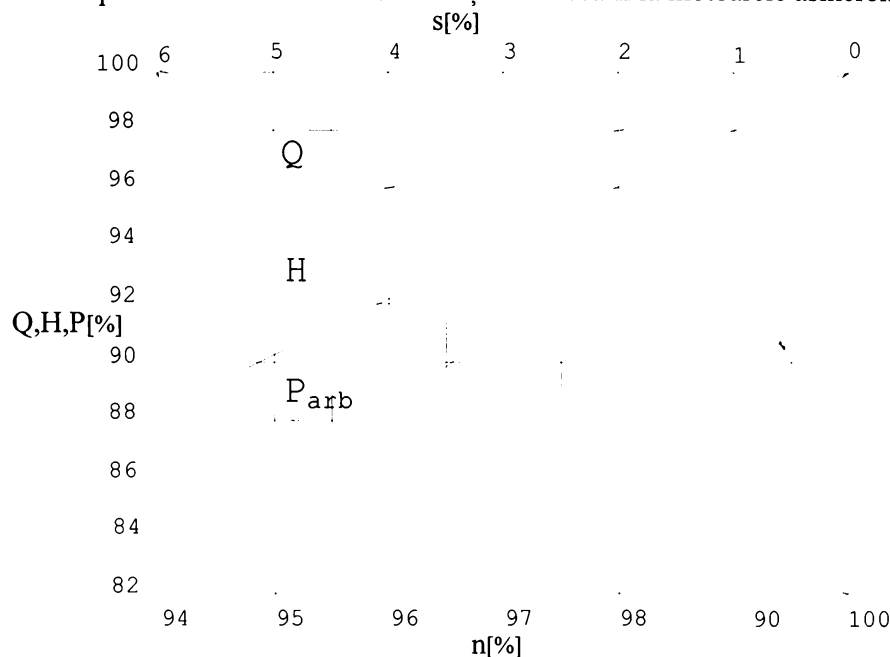


Figura 1.8 Variația debitului  $Q$ , a înălțimii de pompare  $H$  și puterii  $P_{arb}$  a unei pompe în funcție de turația  $n$  și alunecarea  $s$  a unui motor asincron.

Se precizează următoarele notații, utilizate, prezentate și explicate detaliat în capitolul 5, pentru caracteristicile funcționale, ce intervin în procesul de optimizare:

- curba de variație a presiunii în funcție de debit (caracteristica internă a pompei)  
 $Q-H$ ;
- curba de variație a randamentului pompei în funcție de debit  
 $\eta_p = f_1(Q)$ ;
- curba de putere la arbore în funcție de debit  
 $P_{arb} = f_2(Q)$ ;
- curba de cavitație pentru pompă  
 $NPSH = f_3(Q)$ ;
- curba de variație a randamentului motorului în funcție de puterea la borne  
 $\eta_m = f_4(P_{borne})$ ;
- curba de variație a randamentului motorului în funcție de puterea la arbore  
 $\eta_m = f_5(P_{arb})$ ;
- curba de variație a alunecării în funcție de puterea la borne  
 $s = f_6(P_{borne})$ ;
- curba de variație a alunecării în funcție de puterea la arbore  
 $s = f_7(P_{arb})$ .

Urmărirea optimă a tuturor parametrilor se realizează prin monitorizare. Dar monitorizarea tuturor parametrilor este exagerat de costisitoare. De aceea, trebuie analizată temeinic soluția de urmărire a parametrilor, pentru a obține maximum de funcționalitate cu un preț minim.

Pentru o stație de pompare trebuie monitorizați continuu parametrii globali ai stației: puterea stației  $P_{stație}$ ; debitul  $Q_{stație}$  și înălțimea de pompare  $H_{stație}$  și pentru relațiile cu RENEL și, respectiv, cu beneficiarii. În plus, pentru fiecare electropompă, trebuie monitorizate continuu valorile  $H$  și ale puterii la borne  $P_{borne}$ . Cu ajutorul acestor parametri se poate stabili pentru fiecare

electropompă, dacă uzura a determinat modificări sensibile ale curbelor caracteristice. Când se semnaleză asemenea modificări, pentru electropompa respectivă trebuie actualizate curbele caracteristice.

Dacă se consideră nemodificate în timp curbele caracteristice ale motorului  $\eta_m = f_5(P_{arb})$  și  $s = f_7(P_{arb})$ , atunci se actualizează curbele pompei:  $\eta_p = f_1(Q)$  și curba Q-H. Pentru această actualizare, pe lângă valorile H și  $P_{borne}$ , se mai monitorizează și debitul pompei  $Q_p$ . Debitul  $Q_p$  se poate măsura cu aparatura care se mută de la o pompă la alta, chiar din stații diferite, actualizarea făcându-se, în orice moment, pentru câte o singură pompă.

Dacă pompa este cu turație reglabilă, trebuie monitorizată continuu și valoarea turației efective  $n$ , pe lângă  $P_{borne}$  și H.

Dacă pentru o electropompă se dorește actualizarea și a curbelor echipamentelor electrice,  $\eta_m = f_5(P_{arb})$  și  $s = f_7(P_{arb})$ , trebuie monitorizați la acea electropompă și parametrii: cuplul la arbore M și turația efectivă  $n$ .

Deci, pentru o electropompă se monitorizează continuu valorile  $P_{borne}$  și H; în plus, numai la actualizări, se monitorizează  $Q_p$ , eventual M și  $n$ .

Temperaturile și vibrațiile în lagăre se pot urmări prin mijloace semiautomate, pentru simplificarea și ieftinirea monitorizării.

În concluzie deci, pentru optimizarea energetică a exploatarei unei stații de pompare ajunge determinarea exclusiv a celor 5 parametrii, menționați anterior, pentru fiecare pompă în parte (debitul  $Q_p$ , înălțimea de pompare H, cuplul la arbore M, turația efectivă  $n$  și puterea la borne  $P_{borne}$ ). Dacă furnizorul de motoare garantează că cele două grafice  $s = f_7(P_{arb})$  și  $\eta_m = f_5(P_{arb})$  rămân neschimbate pe toată durata de viață a pompelor, rezultă că este suficient să se monitorizeze doar 3 parametrii ( $Q_p$ , H și  $P_{arb}$ ); în caz contrar este necesară măsurarea periodică și a parametrilor M și  $n$  pentru verificarea celor două grafice.

Din studiul efectuat pe baza măsurătorilor din sistemul de alimentare cu apă potabilă în totalitatea lui, atât în rețeaua de distribuție a apei, cât și în uzinele de apă, rezultă o funcționare necorespunzătoare a sistemului în anumite perioade.

Calitatea apei de suprafață (canalul Bega), ce are pondere de 86,8% din necesarul de apă potabilă, impune reabilitarea tehnologiei de tratare la Uzinele de apă nr. 2+4 prin îmbunătățirea instalațiilor de reactivi, utilizarea de coagulanți și adjuvanți noi, dezinfecție prin ozonizare, dotarea laboratoarelor cu aparate de înaltă performanță, mutarea prizelor de apă în amonte de Ghiroda și realizarea unui rezervor tampon pentru acoperirea unui consum pe 2-3 zile, eliminându-se prin aceasta efectele nefavorabile ce apar în zilele de viitură.

Depistarea ineficiențelor sistemului de alimentare cu apă potabilă, argumentează menținerea orelor de citire și înregistrare a măsurătorilor, precizate în paragraful 1.2.

Conform STAS 1343/1-1991, coeficientul de neuniformitate zilnică  $K_{zi}$  are valoarea 1,10 pentru climă continentală temperată, deci și pentru municipiul Timișoara, față de 1,17 cât s-a obținut prin măsurători, deci în realitate, acest coeficient este mai aproape de coeficientul de neuniformitate zilnică pentru climă continentală excesivă. De asemenea, coeficientul de neuniformitate orară  $K_o$ , pentru municipiul Timișoara, are valoarea 1,15 conform tabelului nr.2 din [164], față de 1,25 obținut prin măsurători. Aceasta duce la un calcul incorect al necesarului de apă ( $N$ ), a cerinței de apă ( $Q_s$ ) și deci și a debitelor de calcul (debitul zilnic mediu  $Q_{zi\ med}$ , debitul zilnic maxim  $Q_{zi\ max}$ , debitul orar maxim  $Q_{orar\ max}$ ), determinate conform [163], [164], [165], [166]. Deoarece debitul zilnic mediu este utilizat pentru calcule economice, debitul zilnic maxim pentru dimensionare de la capta-re până la înmagazinare, iar debitul orar maxim pentru dimensionarea rețelei de distribuție a apei potabile și a colectoarelor de ape uzate menajere și meteorice, înseamnă că utilizând coeficienții teoretici din [164], se subdimensionează întreg sistemul de alimentare cu apă potabilă, precum și rețeaua de canalizare.

Variațiile liniare ale volumelor de înmagazinare, prezentate în graficul 1.2, pe baza măsurătorilor efectuate pentru ecuația de bilanț a debitelor orare, duc la necesitatea măririi capacităților de înmagazinare din uzinele de apă. Oscilațiile capacităților de înmagazinare, ce se transmit de la o zi



la alta, se pot regla prin variația debitelor captate și prin controlul funcționării stațiilor de pompare treapta a-II-a.

Prin determinarea frecvenței orei de maxim consum, pe baza măsurătorilor efectuate pentru studiul de caz ales (graficul 1.4), se pot anticipa atât perioadele de maxim consum precum și valoarea acestor consumuri maxime.

Curba de variație a presiunii apei în rețeaua de distribuție (graficul 1.5 și anexa 1), obținută prin măsurarea valorilor presiunii în cele 10 puncte, precizate în paragraful 1.2.1, și prin măsurarea presiunilor de refulare din stațiile de pompare treapta a-II-a, arată că pierderile de presiune în rețea sunt foarte mari, ceea ce înseamnă că rețeaua existentă prezintă un grad avansat de uzură (50% din rețeaua de distribuție are o vechime de peste 50ani), deci se impune înlocuirea conductelor existente cu conducte noi, cu rugozitate absolută mică și care să nu favorizeze depunerile pe pereții conductelor ca și în cazul oțelului.

Prin estimarea consumului energetic la uzinele de apă potabilă (s-a obținut un consum mediu de 104,34MWh), se pot determina perioadele de amortizare a diverselor soluții propuse pentru optimizarea energetică a sistemului de alimentare cu apă.

Din măsurătorile efectuate în stațiile de pompare treapta a-II-a de la cele 4 uzine de apă potabilă (presiunile de refulare a pompelor, numărul pompelor în funcțiune, debitele de refulare a pompelor), s-au determinat randamentele acestor stații de pompare și se constată valorile mici obținute pentru randamente, mai ales la Uzina de apă nr.5 și Uzina de apă nr.1. Aceste valori foarte scăzute pentru randamente, deși au frecvență mică de apariție, arată că aceste stații de pompare funcționează defectuos, deci se impune monitorizarea acestora, stabilirea soluțiilor necesare pentru remedierea acestei situații, fie prin modificarea rotoarelor pompelor existente, fie prin alegerea altor pompe noi.

Soluțiile propuse pentru înlăturarea neajunsurilor, depistate în urma măsurătorilor efectuate în întregul sistem de alimentare cu apă a municipiului Timișoara și a prelucrării acestor măsurători, sunt prezentate detaliat și argumentate prin calcule economice în capitolele 3, 4, 5 și 6.

### 1.3 Perspectivele modernizării sistemului de alimentare cu apă în municipiul Timișoara

Perspectiva asigurării apei de consum trebuie abordată din mai multe puncte de vedere: noi surse de apă; modernizarea sistemului de alimentare cu apă în ansamblul său; controlul permanent și eficient al funcționării sistemului; posibilitatea modificării structurii consumului de apă; noi sisteme de preparare a apei calde menajere.

Datorită dezvoltării orașului, a creșterii consumului specific de apă, sursele de apă au devenit insuficiente. Sursele de apă se pot extinde, de preferință cele de subteran, prin:

- realizarea frontului de captare pentru Uzina de apă nr.5 pentru un debit de 216 l/s (32 foraje), având în vedere că stația de tratare este realizată pentru capacitatea de 250 l/s (la o sursă existentă de 34 l/s);
- extinderea Uzinei de apă nr.1 cu 500 l/s din frontul de captare zona Albina-Sacoșu Turcesc și realizarea unor foraje la Uzina de apă nr.1 veche (Urseni) pentru a reface capacitatea de 210 l/s;
- extinderea Uzinei de apă industrială cu 300 l/s;
- realizarea unei uzine de apă pentru sursa de suprafață din lacul de acumulare Poiana Mărului din zona Caransebeș, pentru o capacitate de 4200 l/s și o conductă de aducțiune de 120km, precum și alte variante prezentate în paragraful 1.1.3.

La aceasta se adaugă și faptul că, din punct de vedere a calității apei, situația este necorespunzătoare [175], [177] și [182] la o serie de indicatori, la sursa de suprafață (Uzinele de apă 2 și 4) în anumite condiții. Soluția la care s-a recurs în 1959, prin alegerea principalei surse de apă pentru Timișoara, apa de suprafață din canalul Bega, s-a dovedit inadecvată.

Pentru studiul de caz, municipiul Timișoara, datorită aspectelor sale complexe, rezolvarea completă a deficiențelor sistemului de alimentare cu apă potabilă se poate realiza doar în etape.

Din punct de vedere al sursei de apă, renunțarea la sursa de apă de suprafață se poate face doar prin extinderea Uzinei de apă nr.1 (500 l/s din frontul de captare zona Albina-Sacoșu Turcesc, refacerea capacității de 210 l/s la Uzina de apă nr.1 veche Urseni), precum și a Uzinei de apă nr.5 cu 216 l/s (32 foraje), cumulat cu extinderea Uzinei de apă industrială cu 300 l/s, separând astfel marii consumatori industriali. Debitele concentrate reprezintă aproximativ 76 % din necesarul de apă repartizat astfel: 40 % puncte termice sau centrale termice care produc apă caldă menajeră, 6 % puncte termice sau centrale termice care produc apă caldă menajeră dar și apa rece trece prin stația de hidrofor, iar 30 % reprezintă marii consumatori industriali. Din această cauză, separarea consumatorilor industriali și alimentarea lor printr-o rețea proprie având ca sursă Uzina de apă nr.3 este o soluție ce nu poate fi neglijată. Extinderea Uzinei de apă nr.5 este benefică datorită poziționării acestei surse, în partea diametral opusă celorlalte surse, realizând astfel nu numai asigurarea necesarului de apă ca sursă ci și ridicarea presiunii apei în zonele actualmente deficitare, din N-E, N și N-V municipiului.

Rugozitatea absolută reală a conductelor rețelei de distribuție a apei (paragraful 3.4.3) este mai mare decât cea teoretică determinată cu relația lui Kamerstein, ceea ce înseamnă o rețea cu un grad mare de uzură și cu pierderi mari de presiune. De aceea este necesară înlocuirea întregii rețele de distribuție a apei potabile, realizată în mare parte din oțel, cu conducte din alte materiale mai bune, pentru reducerea pierderilor de apă din sistem și asigurarea presiunilor necesare la consumatori. O măsură eficientă ar fi înlocuirea integrală a magistralelor de alimentare cu apă potabilă cu conducte noi, din polietilenă de înaltă densitate PE (paragraful 3.4.4). Înlocuirea conductelor se poate face pe etape, începând cu conductele de diametru mare, 1000 mm și 800 mm, ce însumează 25,5 km.

Execuția unei magistrale de diametri 1000 mm și 800 mm, în partea de nord a municipiului, în lungime totală de 11,5 km, ar îmbunătăți funcționarea rețelei în această zonă deficitară, rezolvată parțial prin compensările asigurate de Uzina de apă nr.5, corelată cu extinderea la capacitatea maximă a acestei uzine.

Pentru a cunoaște cantitatea de apă captată, pompată în rețeaua de distribuție și consumată este necesară echiparea în totalitate a sistemului de alimentare cu apă cu contoare de înaltă calitate, fiabile, iar cele existente să fie înlocuite. De asemenea, este necesară realizarea unei stații de verificare și calibrare a contoarelor de apă. O contorizare corespunzătoare ar diminua semnificativ pierderile de apă din instalațiile sanitare interioare (paragraful 6.3), beneficiarul devenind mai receptibil la remedierea instalațiilor interioare ce de multe ori funcționează defectuos.

Pentru urmărirea eficientă a funcționării sistemului de alimentare cu apă, este necesară dispunerizarea distribuției apei, prin măsurarea și transmiterea prin radio sau faxmodem a presiunii apei din rețea precum și instalarea de aparate de măsurare a debitelor (traductoare de debit) pe conductele de intrare și ieșire a apei la uzinele de apă existente.

Cu frecvență mică de apariție, se obțin randamente globale mici ale stațiilor de pompare treapta a-II-a (paragraful 5.2.4). Această situație impune monitorizarea stațiilor de pompare și optimizarea acestei monitorizări, schimbarea unor echipamente la stațiile de pompare pentru îmbunătățirea fiabilității acestora și pentru a economisi energia electrică. Pentru a evita apariția cavității, pompele din stațiile de pompare treapta a-II-a funcționează și cu vanele pe refularea pompelor parțial închise, ceea ce s-ar putea evita prin aplatizarea caracteristicilor interne a pompelor, adică modificarea diametrului rotorului pompelor (paragraful 5.2.4). De menționat aici, cadrul legislativ actual ce nu încurajează economia de energie. În paragrafele 5.4 și 5.3 sunt date soluții pentru optimizarea exploatarei unei stații de pompare și optimizarea soluției de echipare a unei stații de pompare noi.

Realizarea unor instalații de automatizare la stațiile de pompare echipate și monitorizate corespunzător, funcție de debitele și presiunile necesare la consumatori, corelarea acestora cu mărimile măsurate în rețea, înlocuirea conductelor rețelei cu materiale noi (PE) și reducerea consumului de energie în instalațiile tehnico-sanitare din interiorul clădirilor de locuit, ar însemna obținerea unui sistem de alimentare cu apă ce funcționează corect pentru toți consumatorii din rețea.

## 2. PROBLEME FUNDAMENTALE ALE CALCULULUI HIDRAULIC 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.

### 2.1 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 vârfuri 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 acesteia.

Pentru o rețea inelară cu topologie simplă se poate stabili relația (2.1) 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 (2.1) se mai adaugă  $N_{RP}-1$  inele deschise (fictive), astfel încât numărul total de inele independente se determină cu relația (2.2):

$$M = T - N + 1 \quad (2.1) \quad M = T - N + N_{RP} \quad (2.2)$$

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

*Calculul hidraulic* al rețelelor de distribuție 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 utilizare.

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:

$$f_j = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N Q_{ij} + q_j = 0 \quad (j = 1, \dots, N - N_{RP}) \quad (2.3)$$

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:

$$\Delta h_m = \sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^T \varepsilon_{ij} h_{ij} - f_m = 0 \quad (m = 1, \dots, M) \quad (2.4)$$

în care:  $\Delta h_m$  este pierderea de presiune reziduală (divergența) din inelul  $m$ ;  $h_{ij}$  - pierderea longitudinală de presiune pe tronsonul  $ij$ ;  $\varepsilon_{ij}$  - 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  $ij \notin m$ ;  $f_m$  - înălțimea piezometrică introdusă de elemente potențiale în inelul  $m$ , dată de relațiile:

- inele închise simple:

$$f_m = 0 \quad (2.5)$$

- inele închise conținând pompe integrate pe artere:

$$f_m = \sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^T \varepsilon_{ij} H_{p,ij} \quad (2.6)$$

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

$$f_m = Z_I - Z_E \quad (2.7)$$

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

Consumul specific de energie pentru distribuția apei în rețea  $w_{sd}$ , în  $KWh/m^3$ , se obține raportând puterea hidraulică disipată pe artere la suma debitelor de consum din noduri:

$$w_{sd} = 0,00272 \frac{\sum_{ij=1}^T S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta+1}}{\sum_{\substack{j=1 \\ q < 0}}^N |q_j|} \quad (2.8)$$

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

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 însemnătate, implicând în ambele cazuri echilibrarea debitelor în rețelele de tip inelar.

Relațiile (2.3) și (2.4) constituie modelul matematic pe baza căruia s-au elaborat mai multe metode de echilibrare hidraulică a rețelelor inelare, conform [36], [38], [45], [57], [75], [90], [127], 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 (2.2), care pot avea ca necunoscute debitele sau pierderile de presiune 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, având drept scop determinarea debitelor reale în conducte și verificarea înălțimilor piezometrice în noduri, considerând ca date topologia rețelei, debitele concentrate în noduri și respectiv diametrele;

- proiectarea (sinteza) rețelei, presupunând atât dimensionarea rețelei, care este necesar a se efectua după criteriile tehnice și economico-energetice bine fundamentate (proiectarea optimală), cât și verificarea hidraulică a acesteia.

## 2.2 Relația funcțională pierdere de presiune-debit în conductele rețelei. Repartiția debitelor în rețea.

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, dominante fiind cele longitudinale.

Potrivit prevederilor STAS-ului 1163, calculul pierderii de presiune în conductele rețelelor exterioare de alimentare cu apă, în ipoteza consumului la noduri, se efectuează cu relația Darcy-Weisbach [27]:

$$h_{ij} = \frac{8}{\pi^2 g} \lambda_{ij} \frac{L_{ij}}{D_{ij}^5} Q_{ij}^2 \quad (2.9)$$

în care:  $L_{ij}$ ,  $D_{ij}$ ,  $Q_{ij}$ ,  $\lambda_{ij}$  sunt 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  $\lambda$ , cu valabilitate extinsă asupra întregului regim turbulent, se recomandă relația Colebrook-White [27]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left( \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 D} \right) \quad (2.10)$$

unde:  $Re$  este numărul Reynolds;  $D$  - diametrul conductei;  $k$  - rugozitatea absolută a peretelui conductelor.

Variația rugozității absolute funcție de numărul anilor de exploatare se poate exprima cu relația obținută pe baza determinărilor lui Kamerstein:

$$k = k_0 + \omega t \quad (2.11)$$

în care:  $k_0$  este valoarea inițială a rugozității absolute;  $\omega$  - viteza de creștere a rugozității conductelor, având valorile conform [131].

În lipsa unor date certe rezultate din încercări în condiții reale, se pot efectua calculele cu valorile rugozității absolute date de relația (2.11).

În scopul realizării unei economii la timpul afectat calculatorului, se recomandă pentru calculul coeficientului  $\lambda$  în domeniul turbulenței tranzitorii (când criteriul Moody  $Re \sqrt{\lambda} < k/D$  are valori între 14 și 200) expresia explicită [11], [27],[157]:

$$\sqrt{\lambda} = \frac{A + \sqrt{A^2 + 16 \sqrt{\lambda_p} Re k / D}}{2 Re k / D} \quad (2.12)$$

în care:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_p}} = -2 \lg \frac{k}{D} + 1,138 \quad (2.13) \quad A = Re \frac{k}{D} \sqrt{\lambda_p} + 8 \sqrt{\lambda_p} - 4 \quad (2.14)$$

unde  $\lambda_p$  este coeficientul de rezistență hidraulică corespunzător regimului turbulent pătratic de curgere a apei.

Relația (2.9) 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 [27], [157], relația Colebrook-White poate fi aproximată pe intervale mari de debit cu o variație liniară pentru diverse

valori ale raportului  $k/D$ . Pornind de la această observație, coeficientul de rezistență  $\lambda_{ij}$  se exprimă sub forma:

$$\lambda_{ij} = \lambda_* \cdot Q_{ij}^{-\mu} \quad (2.15)$$

în care  $\lambda_*$  și  $\mu$  sunt constante pentru intervalul de variație a debitelor tranzitate în conductele rețelei și  $k/D_{ij}$  constant, [27], [131], [157].

Alegând 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  $\lambda_1$  și  $\lambda_2$  corespunzători cu relația explicită (2.12).

Logaritmând relația (2.15) scrisă pentru cele două debite se obține un sistem de două ecuații cu necunoscutele  $\lambda_*$  și  $\mu$ , a cărui rezolvare conduce la expresiile:

$$\mu = \frac{\lg \lambda_2 - \lg \lambda_1}{\lg Q_1 - \lg Q_2} = \frac{\lg \lambda_2 - \lg \lambda_1}{\lg Re_1 - \lg Re_2} \quad (2.16)$$

$$\lambda_* = \lambda_1 Q_1^\mu = \lambda_1 \left( \frac{\pi}{4} \nu D_{ij} \right)^\mu Re_1^\mu \quad (2.17)$$

în care  $\nu$  este vâscozitatea cinematică a apei.

Introducând în relația (2.9) expresia (2.15) a coeficientului  $\lambda_{ij}$ , se exprimă pierderea de presiune prin relația de forma generală:

$$h_{ij} = \frac{8\lambda_* \cdot L_{ij}}{\pi^2 g D_{ij}^r} Q_{ij}^\beta = S_{ij} Q_{ij}^\beta = S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} \quad (2.18)$$

unde:

$$S_{ij} = K \frac{L_{ij}}{D_{ij}^r} \quad (2.19) \quad K = \frac{8\lambda_*}{\pi^2 g} \quad (2.20) \quad \beta = 2 - \mu \quad (2.21)$$

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 (2.18) 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.

Admițând viteza medie a apei de 0,5...1,5 m/s, s-au determinat valorile parametrilor  $\lambda_*$  și  $\beta$  conform [131] din diagramele de variație a acestor parametri ( $\lambda_*$  și  $\beta$ ), pentru conducte din beton armat precomprimat, fontă, oțel și PVC și temperaturi ale apei de 10 °C (sursă subterană) și 20 °C (sursă de suprafață), precum și variația acestor parametri funcție de viteza de creștere a rugozității  $\omega$  și durata de exploatare a conductelor.

Repartizarea debitelor în rețeaua de distribuție trebuie stabilită astfel încât să ne dea o imagine cât mai apropiată de realitate asupra consumului de apă din întreaga rețea, având în vedere și momentele caracteristice în funcționarea acesteia (consum maxim, consum mi-nim). Se deosebesc:

- debite concentrate (consumatori importanți); în această categorie intră consumatorii industriali, punctele și centralele termice, etc.;
- debite uniform distribuite, constituind debitele din bransamentele consumatorilor eșalonați în lungul unei linii de distribuție.

În cazul debitelor uniform distribuite se admite în mod convențional că apa se consumă în mod uniform în lungul liniei, sau chiar pe toată lungimea rețelei. În consecință debitul care

alimentează o linie este proporțional cu lungimea acesteia. Debitul specific repartizat pe unitatea de lungime a liniei sau rețelei se determină cu relația :

$$q_{sp} = \frac{Q_{ud}}{\Sigma L} \tag{2.22}$$

unde  $Q_{ud}$  reprezintă debitul uniform distribuit total, iar  $\Sigma L$  lungimea totală a liniilor ( nu se referă și la porțiunile de legătură sau trecere). Debitul specific depinde și de densitatea consumatorilor, încât dacă aceasta variază, pe diferite zone ale obiectivului deservit, se va ține cont de acest fapt.

Consumatorii importanți vor fi separați de cei comuni prin aceea că se va considera în punctele respective de consum debitele concentrate corespunzătoare.

Dacă se consideră o porțiune de conductă de lungime  $L$  cu debit uniform distribuit ca în figura 2.1, debitele la intrare, respectiv ieșire se determină cu relația:

$$Q_i = Q_{ud} + Q_{tr} \tag{2.23} \qquad Q_f = Q_{tr} \tag{2.24}$$

unde  $Q_{ud}$  reprezintă debitul uniform distribuit, deci pe unitatea de lungime se consumă debitul specific  $q_{sp}$  , iar  $Q_{tr}$  este debitul de tranzit, adică debitul ce circulă pe conducta AB, dar nu se consumă pe lungimea acestuia.

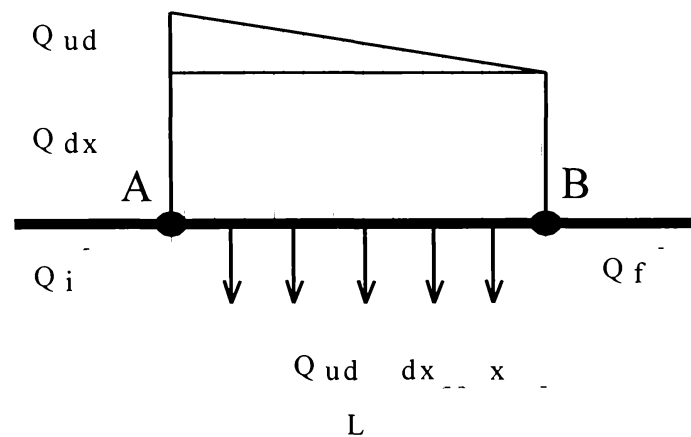


Fig. 2.1 Schema de calcul pentru conducte cu debit uniform distribuit

Dacă se consideră un element de conductă infinit mic  $dx$  la distanța  $x$  de B, căruia îi corespunde o pierdere de sarcină  $dh_{AB}$  și ținând seama de relația (2.18) se obține prin integrare :

$$h_{AB} = \int S_{oAB} dx \left( Q_{tr} + Q_{ud} \frac{x}{L} \right)^2 = S_{oAB} L (Q_{tr} + 0,55 Q_{ud})^2 \tag{2.25}$$

deci debitul de calcul este dat de relația:

$$Q = Q_{tr} + 0,55 Q_{ud} \tag{2.26}$$

Practic, pentru simplificarea calculului se admite pentru debitul de calcul următoarea expresie:

$$Q = Q_{tr} + 0,5 Q_{ud} = \frac{Q_i + Q_f}{2} \tag{2.27}$$

În acest mod debitele uniform distribuite ale fiecărei linii pot fi transformate în debite concentrate la începutul, respectiv capătul acesteia.

### 2.3 Utilizarea calculatoarelor electronice în calculul rețelelor de distribuție

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. Abordarea analizei și dimensionării rețelelor de alimentare cu apă potabilă a centrelor populate, prin elaborarea unor programe de calcul implementate pe microcalculatoare compatibile IBM-PC, permite alegerea soluției optime în timp scurt. Astfel programele de calcul elaborate de specialiștii în domeniu, în diverse limbaje de programare și utilizând toate metodele teoretice [38], [39], [71], [183], [130], pot duce la obținerea unor rezultate spectaculoase atât pentru rețeaua propriu-zisă cât și pentru stațiile de pompare, deci o optimizare energetică a sistemelor de distribuție a apei în totalitatea lor.

Pe parcursul lucrării se descrie un pachet de 7 programe ordinatoare elaborate în limbaj **VISUAL FOX PRO 3.0 PROFESSIONAL** și implementate pe microcalculatoare IBM - PC, pentru analiza și proiectarea rețelelor de distribuție a apei, care se constituie într-un instrument de lucru eficace în activitatea de cercetare, proiectare și didactică din domeniul alimentărilor cu apă. Limbajul de programare ales este compatibil cu utilitarele MATHCAD PLUS 6.0 și AUTOCAD 14, în care se realizează partea grafică (topologia rețelei, înfășurătoarea înălțimilor piezometrice din nodurile rețelei, etc.).

Transmiterea informațiilor cu privire la caracteristicile geometrice ale sistemului de distribuție necesită o transformare a rețelei inelare într-o rețea virtual ramificată și un mod specific de numerotare a nodurilor și tronsoanelor acesteia, 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 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, urmând să fie corectate folosind proceduri de echilibrare sau de optimizare. 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.

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, fie se înscriu valorile obținute în fișierele de rezultate. Introducerea datelor de la tastatură este recomandată în cazul în care nu sunt 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.

Din cele 7 programe de calcul, 5 programe se utilizează pentru analiza rețelei, considerând ca date topologia rețelei (lungimea tronsoanelor, cotele terenului), diametrele conductelor și debitele concentrate în noduri și determinând debitele reale în conducte și înălțimile piezometrice. Celelalte 2 programe de calcul se utilizează pentru dimensionarea rețelelor, având ca date de intrare topologia rețelei și debitele concentrate în noduri, iar ca rezultate se obțin diametrele conductelor și debitele în



conducte, urmate de o verificare hidraulică a sistemului. Dar toate cele 7 programe de calcul, indiferent de metoda de calcul folosită, au la bază rezolvarea a două grupe mari de ecuații și anume, ecuațiile de continuitate a debitelor în noduri și ecuațiile de conservare a energiei pe inele.

Programul FOXPRO AC1 este un program de analiză a rețelei de alimentare cu apă, utilizând o metodă standard, metoda ciclurilor Cross-Lobacev.

Programul FOXPRO AC2 este tot un program de analiză a rețelei cu metoda ciclurilor cu diferența că, în acest caz, corecția calculată la fiecare ciclu se aplică imediat și nu la încheierea iterației, ca la metoda standard de mai sus. Acest lucru mărește viteza de convergență.

Programul FOXPRO AC3 este un program de analiză cu metoda ciclurilor, în care corecțiile de debit  $\Delta Q_m$  se obțin prin minimizarea funcției obiectiv (cap.3.2.4.1) ce conține pierderea de putere pe tronsoane și aportul de putere provenit din exteriorul sistemului (pompe integrate pe artere, rezervoare în noduri).

Programul FOXPRO AN1 este un program de analiză a rețelei de distribuție a apei ce utilizează metoda nodurilor, adică se determină corecțiile pentru înălțimile piezometrice din noduri până când reziduul debitelor în noduri  $f_j$ , devine cât mai mic și se utilizează algoritmul numeric Newton-Raphson. Această metodă se recomandă atunci când se cunosc înălțimile piezometrice nodale.

Programul FOXPRO AN2 este un program de analiză cu metoda nodurilor, în care corecțiile la înălțimile piezometrice se obțin prin determinarea minimumului pentru o funcție criterială folosind algoritmul gradientilor conjugați (cap.3.3.3.1).

Programul FOXPRO D1 este un program de dimensionare optimă a rețelelor inelare de distribuție a apei utilizând modelul de optimizare Moșnin, prin minimizarea unui criteriu de optimizare exprimat de o funcție obiectiv complexă multicriterială (cap.4.2.1).

Programul FOXPRO D2 este un program de dimensionarea optimă a rețelelor de distribuție noi și parțial extinse, 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. Pentru optimizare se găsește minimumul pentru energia înglobată sau costul de investiție al rețelei (cap.4.3.1).

Cu ajutorul programelor de analiză a rețelelor inelare de distribuție a apei potabile, s-a efectuat studiul de caz ales, pentru rețeaua de alimentare cu apă potabilă a municipiului Timișoara, analizând această rețea în diverse ipoteze de calcul, prezentate pe larg în capitolul 3. Pe harta vectorială a municipiului Timișoara, s-a trasat rețeaua de alimentare cu apă potabilă folosind utilitarul AUTOCAD 14. Rețeaua de distribuție a apei potabile în municipiul Timișoara este realizată din conducte oțel, fontă și pe mici porțiuni din azbociment, cu diametrele cuprinse între 80 mm și 1000 mm și este alcătuită din 114 inele independente, 293 tronsoane și 180 noduri. Debitel concentrat din nodurile rețelei reprezintă 76 % din debitul total distribuit de rețeaua de apă potabilă (consumatorii uniform distribuiți, brânșiți la conductele de serviciu, sunt luați în calcul prin debitele concentrate din noduri). Aceste debite concentrate au următoarea repartiție: consumatori industriali (30 %); puncte termice și centrale termice, pentru prepararea apei calde menajere (40 %); puncte termice și centrale termice, unde apa rece trece prin stația de hidrofor, deci acele puncte și centrale ce includ în valoarea debitului concentrat atât apa caldă menajeră cât și apa rece pentru zona respectivă (6 %).

Trasarea rețelei de distribuție a apei potabile în AUTOCAD 14, pe harta vectorizată a municipiului prezintă, pe lângă compatibilitatea cu limbajul de programare ales și marele avantaj că AUTOCAD (AutoDesk) este un mediu de programare specific GIS-urilor (Geographical Information Systems), adică sistemelor informatice geografice. Aceste sisteme informatice geografice, absolut necesare în domeniul evidenței tehnice a rețelelor edilitare (rețele de alimentare cu apă, rețele termice, rețele de distribuție a energiei electrice, rețele de gaze, în cadastrul general și de specialitate, în cartografie, în sisteme de asistare în luarea deciziilor), pot prelucra computerizat un

volum mare de baze de date ce se pot introduce prin transmisii cu faxmodemuri evitând astfel erorile de citire ce apar în cazul utilizatorilor manuali. De asemenea, aceste sisteme permit actualizarea rapidă și corectă a rețelelor luate în evidență.

Acest pachet de programe permite 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.

În tabelul 2.1 sunt prezentate centralizat, pentru cele 7 programe de calcul elaborate, datele de intrare, algoritmul de calcul pentru fiecare metodă de analiză și dimensionare cu precizarea necunoscutelor, precum și rezultatele obținute în urma derulării programelor de calcul.

### **Observații:**

1.Programul de calcul **FOXPRO AC1 (cap.3.2.2)** utilizează metoda Cross-Lobacev în formulare clasică în care necunoscutele sunt corecțiile debitelor tronsoanelor.

2.Programul de calcul **FOXPRO AC2 (cap.3.2.3)** utilizează tot metoda ciclurilor Cross-Lobacev cu deosebirea că la fiecare ciclu corecția se aplică imediat.

3.Programul de calcul **FOXPRO AC3 (cap.3.2.4)** utilizează metoda ciclurilor în formulare variațională cu observația că corecțiile debitelor  $\Delta Q_m$  se determină pe criteriul minimizării consumului de energie în rețea raportată la unitatea de timp. Primul termen din funcția obiectiv reprezintă pierderea de putere pe tronsoanele rețelei atunci când aceasta transportă debitele rezultate din condițiile de continuitate, iar funcționalele din al doilea și al treilea termen reprezintă aportul de putere provenit din exteriorul sistemului. Pentru a determina minimumul funcției obiectiv se utilizează algoritmul gradientilor conjugați. Prima iterație se determină cu procedeul Lobacev pentru o convergență rapidă.

4.Programul de calcul **FOXPRO AN1 (cap.3.3.2)** utilizează metoda nodurilor, folosind algoritmul numeric Newton-Raphson, în acest caz necunoscutele fiind înălțimile piezometrice și nu corecțiile debitelor de pe tronsoane. Se recomandă utilizarea programului la analiza stării de presiune într-o rețea de distribuție în care se cunosc înălțimile piezometrice inițiale.

5.Programul de calcul **FOXPRO AN2 (cap.3.3.3)** utilizează metoda nodurilor în formulare variațională, ce se reduce la determinarea minimumului funcției obiectiv, folosind algoritmul gradientilor conjugați.

6.Programul de calcul **FOXPRO D1 (cap.4.2)** este un program de dimensionare a rețelelor inelare de distribuție a apei potabile, folosind modelul de optimizare Moșnin. 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  $D_{ij}$ .

7.Programul de calcul **FOXPRO D2 (cap.4.3)** este un model perfecționat de dimensionarea optimală a rețelelor de distribuție noi și parțial extinse funcționând 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.



Tabelul 2.1

<p><b>3.Necunoscut</b>                      -debitele pe tronsoane, determinate în funcție de debitele de corecție:  <math display="block">\Delta Q_m = -\frac{\Delta h_m}{SR_m} = -\frac{\Delta h_m}{\beta \sum_{(m)} S_{ij}  Q_{ij} ^{\beta-1}}</math>                      -înălțimile piezometrice în noduri, determinate astfel încât reziduul debitelor în noduri să atingă precizia de calcul impusă:  <math display="block">f_j = \sum_{i=1}^N Q_{ij} + q_j \leq \varepsilon \quad (j=1, \dots, N - N_{RP})</math>                      -diametrele conductelor <math>D_{ij}</math>:  <math display="block">D_{ij} = E^{\frac{1}{\alpha+r}} (X_{ij} Q_p)^{\frac{1}{\alpha+r}} Q_{ij}^{\frac{\beta}{\alpha+r}}</math>  <math display="block">D_{\max(\min),ij} = E^{\frac{1}{\alpha+r}} Q_{\max(\min)}^{\frac{\beta}{\alpha+r}} Q_{ij}^{\frac{\beta}{\alpha+r}}</math>  <math display="block">D_{\max(\min),ij} = \sqrt{\frac{4Q_{ij}}{\pi V_{\min(\max),ij}}}</math></p>	da	da	da	nu	nu	da	da	da
<p><b>4.Rezultate</b>                      -diametrele optime ale conductelor;                      -debitele pe tronsoane;                      -înălțimile piezometrice în nodurile rețelei;                      -pierderile de presiune în rețea;                      -debitele în noduri;                      -consum specific de energie.</p>	nu da da da nu da	nu da da da nu da	nu da da da da da	nu da da da da da	nu da da da da da	da da da da nu da	da da da da nu da	da da da da nu da
<p><b>5.Metode de calcul hidraulic</b>                      -metoda ciclurilor Cross-Lobacev standard                      -metoda ciclurilor Cross-Lobacev în formă clasică perfecționată                      -metoda ciclurilor-formulare variațională                      -metoda nodurilor                      -metoda nodurilor-formulare variațională                      -modelul de optimizare Moșnin, bazat pe metoda ciclurilor                      -modelul de optimizare liniară</p>	da	da	da	da	da	da	da	da

### 3. ANALIZA REȚELELOR INELARE COMPLEXE DE DISTRIBUȚIE

#### 3.1 Generalități

Formularea unor modele matematice adecvate, care să permită determinarea circulației debitelor și distribuției presiunilor în rețele cu o structură complexă este esențială atât pentru rezolvarea corectă și eficientă a etapei de proiectare, cât 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 înălțimile piezometrice în noduri (*metoda nodurilor*) și cea care consideră debitele pe tronsoane (*metoda tronsoanelor*) drept necunoscute.

Atât în metoda ciclurilor cât 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. Procedeul Lobacev și Cross efectuează corecția fiecărui inel sau nod în parte, pe când procedeul Newton-Raphson efectuează corecția simultană la toate inelele sau nodurile.

În [38], [39], [45], [57], [75], [81], [83], [87], [88], [89], [90], [129], [130], [133], [147] se arată posibilitatea abordării diferite a acestei probleme, folosind pentru analiza ciclică și nodală și procedeul formulărilor variaționale, care prezintă avantajul aplicării unui algoritm de optimizare specializat pentru a minimiza direct o funcție criterială multivariabilă fără restricții.

#### 3.2 Metoda ciclurilor

Această metodă se folosește, îndeosebi, pentru analiza rețelelor care utilizează ca necunoscute debitele pe tronsoane. După cum s-a prezentat în paragraful 2.3, programele de calcul elaborate în limbaj *VISUAL FOX PRO 3.0 PROFESSIONAL*, ce utilizează metoda ciclurilor sunt: **FOXPRO AC1**, **FOXPRO AC2** și **FOXPRO AC3**.

##### 3.2.1 Principiile metodei

Sistemul neliniar compus din  $N-N_{RP}$  ecuații independente de tipul (2.3) și  $T$  ecuații de tipul (2.18) pentru determinarea celor  $T$  debite de tranzit în conducte și  $N-N_{RP}$  înălțimi piezometrice în nodurile rețelei, se reduce la sistemul de ecuații neliniare (2.4) cu dimensiunea  $M$  egală cu numărul inelelor independente, care se poate rezolva pe baza a două principii diferite, comportând 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 presiune), potrivit căruia sunt considerate ca pozitive debitele ce parcurg inelul în sens orar și ca negative debitele de sens invers;

- determinarea unei repartiții inițiale a debitelor de tranzit pe tronsoane  $Q_{ij}^{(0)}$  care să verifice condițiile (2.3) 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 presiune  $\Delta h_m$  în fiecare inel  $m$  și se efectuează redistribuirea pierderilor de presiune în conductele fiecărui inel, astfel încât în toate inelele să fie satisfăcută condiția (2.4) de conservare a energiei, după care se calculează debitele cu relația funcțională (2.18).

*Principiul egalizării presiunilor* este cel mai frecvent utilizat și constă în calculul divergenței de presiune  $\Delta h_m$  în fiecare inel  $m$  și introducerea unor corecții de debit astfel încât să fie satisfăcute condițiile (2.4) de conservare a energiei pe inele.

Astfel, asociind fiecărui inel  $m$  un debit de corecție  $\Delta Q_m$  și alegând o repartiție inițială de debite pe tronsoane  $Q_{ij}^{(0)}$ , care trebuie însă să respecte condițiile (2.3) se poate scrie:

$$Q_{ij} = Q_{ij}^{(0)} + \sum_{\substack{ij \in m \\ m=1}}^M \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \quad (ij = 1, \dots, T) \quad (3.1)$$

iar sistemul (2.3), (2.4), cu ecuația (2.4) explicitată ținând seama de (2.18), se reduce pentru inele simple ( $f_m = 0$ ) la sistemul:

$$\sum_{(m)} \varepsilon_{ij} S_{ij} (Q_{ij}^{(0)} + \sum_{\substack{ij \in m \\ m=1}}^M \varepsilon_{ij} \Delta Q_m) \left| Q_{ij}^{(0)} + \sum_{\substack{ij \in m \\ m=1}}^M \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \right|^{\beta-1} = 0 \quad (m = 1, \dots, M) \quad (3.2)$$

în care orientarea  $\varepsilon_{ij}$  a tronsonului  $ij$  este dată de relația:

$$\varepsilon_{ij} = \begin{cases} +1, & \text{dacă sens } ij \equiv \text{sens } m \\ 0, & \text{dacă } ij \notin m \\ -1, & \text{dacă sens } ij \neq \text{sens } m \end{cases} \quad (3.3)$$

### 3.2.2 Model de analiză ciclică în formulare clasică. Programul FOXPRO AC1

#### 3.2.2.1 Procedeu iterațiilor simple (Lobacev)

Acest procedeu a fost propus de Lobacev în anul 1934 și separat de Cross în anul 1936 [45], [90] și constă în principal în rezolvarea sistemului de ecuații de tipul (3.2) prin aproximații succesive, unde necunoscutele sunt 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:

$$\Delta h_m = \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} S_{ij} Q_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} \quad (3.4)$$

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

$$\Delta Q_m = -\frac{\Delta h_m}{SR_m} = -\frac{\Delta h_m}{\beta \sum_{(m)} S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1}} \quad (3.5)$$

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 (2.3), acestea se corectează folosind relația (3.1), până ce se obține o închidere cu eroare admisă.

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

Acest procedeu de calcul a fost implementat în cadrul programului ordinator FOXPRO AC1.

### 3.2.2.2 Programul FOXPRO AC1

#### **Domeniul de aplicabilitate:**

- rețele inelare, ramificate sau mixte alimentate gravitațional sau prin pompare de la una sau mai multe surse;

- sistemul poate conține pompe integrate de un singur tip pe artere;

- realizează stabilirea circulației debitelor și a distribuției presiunilor în rețele complexe atât în situația în care se determină înălțimile piezometrice în nodurile de alimentare cât și atunci când aceste înălțimi sunt cunoscute, utilizând pentru rezolvarea ecuațiilor de inel procedeul clasic Lobacev, adaptat în mod corespunzător;

- oferă posibilitatea de a calcula și valoarea criteriilor economice și energetice la dimensionarea după metoda clasică a vitezelor medii economice.

#### **Date de intrare:**

- date generale;

- parametrii economico-energetici (opțional);

- lungimile tronsoanelor pe zone de consum;

- debitele de alimentare pe zone de consum;

- caracteristicile nodurilor (debit concentrat, înălțimea 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 (punct de consum sau de alimentare);

- înălțimile piezometrice în punctele de alimentare, cărora atunci când sunt necunoscute li se atribuie inițial valoarea 0.

#### **Rezultate furnizate:**

- caracteristicile hidraulice după echilibrare ( $Q, S, h, V$ );

- înălțimile piezometrice nodale și presiunile disponibile în noduri;

- consumul specific de energie pentru distribuția apei;

- valoarea criteriilor economico-energetice (opțional).

### 3.2.3 Model de analiză ciclică în formulare clasică perfecționată.

#### **Programul FOXPRO AC2**

##### 3.2.3.1 Modelul matematic

În scopul determinării circulației debitelor și a distribuției presiunilor în rețelele inelare, s-a conceput un model de analiză bazat pe metoda ciclurilor, utilizând pentru rezolvarea ecuațiilor de inel o variantă îmbunătățită a procedeului clasic Lobacev, adaptat în mod corespunzător pentru rețele cu configurație complexă.

Se consideră în figura 3.1 schema unei rețele inelare, ce conține elemente potențiale interioare și exterioare (pompe integrate pe artere, rezervoare și pompe în noduri).

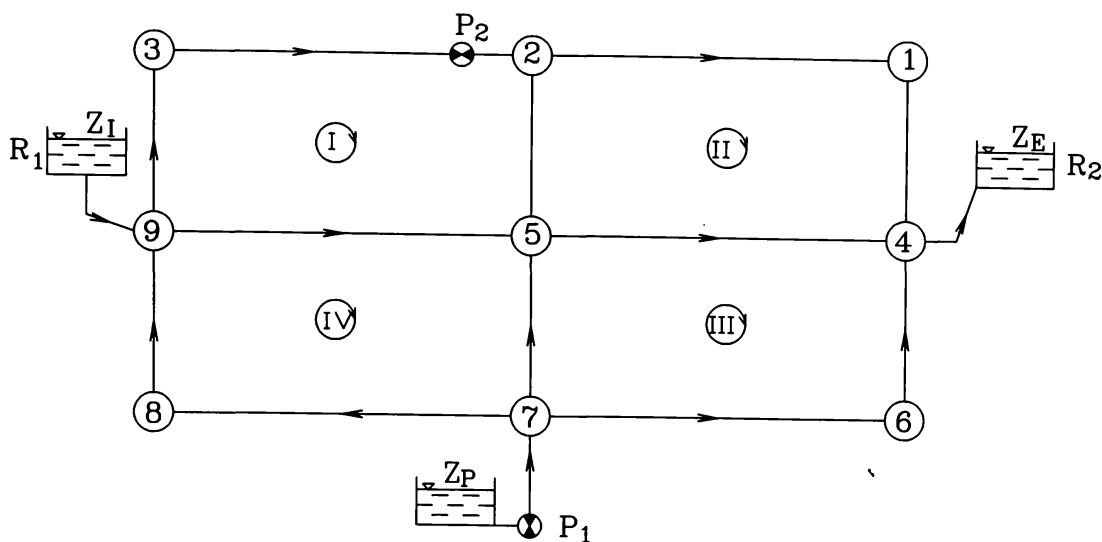


Fig. 3.1 Schema de principiu a unei rețele inelare complexe

Pentru a răspunde condițiilor tehnice create de acțiunea elementelor potențiale, în grafurile topologice ale rețelelor inelare se introduc tranziții suplimentare, iar algoritmul de echilibrare s-a 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 (2.2).

Fiecare inel deschis leagă un nod cu înălțimea piezometrică cunoscută (rezervor) sau cu o relație între debit și nivelul piezometric determinată (stație de pompare) cu un alt nod cu înălțimea piezometrică cunoscută sau cu o relație între debit și nivelul 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 3.2, de tipul inelului 9-3-2-5-9 ce aparține rețelei din figura 3.1, pentru care relația de calcul a divergenței în ipoteza regimului turbulent tranzitoriu va fi:

$$\Delta h = S_{12}Q_{12}^\beta + S_{23}Q_{23}^\beta - S_{34}Q_{34}^\beta - S_{14}Q_{14}^\beta - H_{p,23} \tag{3.6}$$

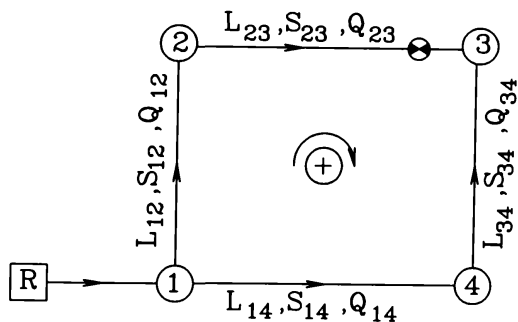


Fig.3.2 Calculul divergenței pe un inel închis

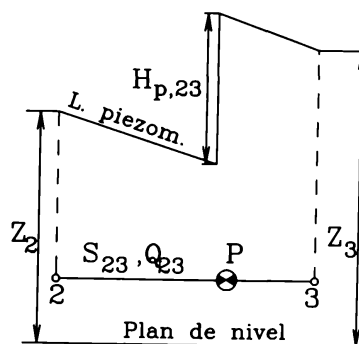


Fig. 3.3 Graficul piezometric în lungul unui tronson



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. 3.3) și conținând pompa intermediară P cu înălțimea de pompare  $H_{p,23}$ , rezultă că diferența  $Z_2 - Z_3$  a înălțimilor piezometrice în cele două noduri este:

$$h_{23} = Z_2 - Z_3 = S_{23} Q_{23}^\beta - H_{p,23} \quad (3.7)$$

Prin generalizare, pentru un inel oarecare m relația (3.6) devine:

$$\Delta h_m = \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} S_{ij} Q_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} - \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} H_{p,ij} \quad (3.8)$$

în care:  $\varepsilon_{ij}$  este orientarea tronsonului  $ij$ , dată de relația (3.3);  $H_{p,ij}$  - înălțimea de refulare a pompei integrate pe artera  $ij$ , la debitul  $Q_{ij}$ , aproximată prin interpolare parabolică pe caracteristica dată prin puncte, sub forma:

$$H_{p,ij} = A Q_{ij}^2 + B |Q_{ij}| + C \quad (3.9)$$

unde coeficienții A, B, C au fost determinați pentru mai multe tipuri de pompe.

Pentru determinarea corecției ciclice în inelul m considerat, se pune condiția anulării divergenței  $\Delta h_m^*$  prin corecția de debit  $\Delta Q_m$ , presupunând că  $\Delta h_m < 0$  și ținând seama de (3.9):

$$\Delta h_m^*(Q_{ij} + \varepsilon_{ij} \Delta Q_m) = S_{12} (Q_{12} + \Delta Q_m)^\beta + S_{23} (Q_{23} + \Delta Q_m)^\beta - S_{34} (Q_{34} - \Delta Q_m)^\beta - S_{14} (Q_{14} - \Delta Q_m)^\beta - A(Q_{23} + \Delta Q_m)^2 - B(Q_{23} + \Delta Q_m) - C = 0 \quad (3.10)$$

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

$$\Delta h_m^*(Q_{ij} + \varepsilon_{ij} \Delta Q_m) = \Delta h_m + \sum_{(m)} \frac{\partial \Delta h_m}{\partial Q_{ij}} (\varepsilon_{ij} \Delta Q_m) + \frac{1}{2} \sum_{(m)} \frac{\partial^2 \Delta h_m}{\partial Q_{ij}^2} (\varepsilon_{ij} \Delta Q_m)^2 + \dots = 0 \quad (3.11)$$

iar exemplificând pentru cazul considerat în figura 3.2:

$$\Delta h_m^*(Q_{ij} + \varepsilon_{ij} \Delta Q_m) = \Delta h + [\beta (S_{12} Q_{12} + S_{23} Q_{23} + S_{34} Q_{34} + S_{14} Q_{14}) - (2A Q_{23} + B)] \Delta Q_m + f(\Delta Q_m^2, \Delta Q_m^3, \dots) = 0 \quad (3.12)$$

Făcând notația:

$$SR_m = \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} \frac{\partial \Delta h_m}{\partial Q_{ij}} \quad (3.13)$$

și neglijând infiniții mici de grad superior lui 1, din (3.11) se obține formula cunoscută în aproximația liniară pentru calculul corecțiilor ciclice, după procedeul iterațiilor simple:

$$\Delta Q_m = - \frac{\Delta h_m}{SR_m} \quad (3.14)$$

care prin explicitarea rigidității  $SR_m$  a inelului m cu ajutorul relației (3.12), ținând seama de (3.8) și (3.9) primește forma generală:

$$\Delta Q_m = - \frac{\Delta h_m}{\beta \sum_{(m)} S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} - \sum_{(m)} (2A |Q_{ij}| + B)} \quad (3.15)$$

În cazul când nu există pompe integrate pe artere, deci este vorba de un inel simplu, în relațiile (3.8) și (3.15) se ia  $A=B=C=0$ , regăsindu-se relațiile particulare (3.4) și respectiv (3.5).

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

Inelele cu rezervoare sau pompe în noduri sunt cicluri deschise (închise fictiv, având la capete câte o pompă sau rezervor) care introduc condiții suplimentare pentru determinarea debitelor în aceste noduri.

În figura 3.4 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.

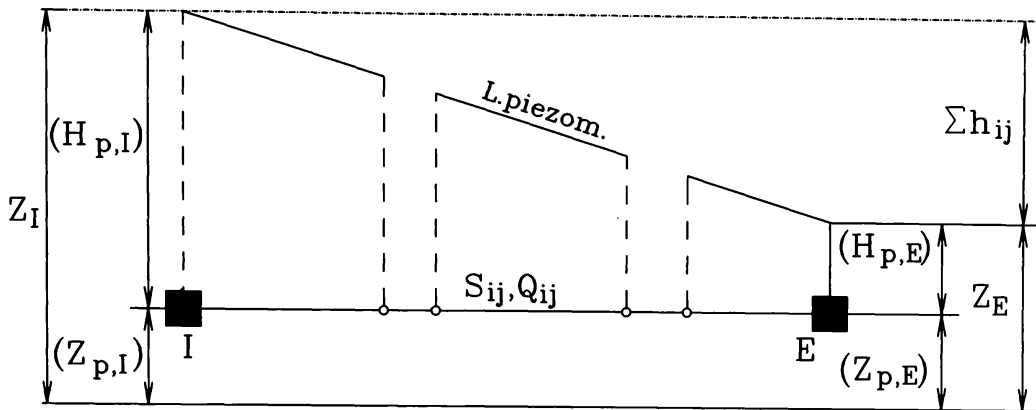


Fig. 3.4 Graficul piezometric în lungul unui inel deschis (fictiv)

Pentru un inel cu rezervoare în noduri, cum este inelul 9-5-4 din figura 3.1, neanchiderea pe inel este dată de relația:

$$\Delta h_m = Z_E + \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} S_{ij} Q_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} + \sum_{k=1,E} \varepsilon_k S_k q_k |q_k|^{\beta-1} - Z_I \quad (3.16)$$

în care:  $Z_I, Z_E$  sunt înălțimile 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;  $\varepsilon_k$  - orientarea egală cu (+1) sau (-1) după cum sensul de curgere a apei în brașament coincide sau nu cu convenția de semn la nod.

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

$$\Delta Q_m = \frac{\Delta h_m}{\beta \left( \sum_{(m)} S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} + \sum_{k=1,E} S_k |q_k|^{\beta-1} \right)} \quad (3.17)$$

Dacă în nodurile de intrare și ieșire din ciclul  $m$  se află pompe, atunci relația (3.16) rămâne valabilă cu observația ca:

$$Z_I = H_{p,I} + Z_{p,I} \quad (3.18) \quad Z_E = H_{p,E} + Z_{p,E} \quad (3.19)$$

iar corecția inelară de debit are expresia:

$$\Delta Q_m = - \frac{\Delta h_m}{\beta \left( \sum_{(m)} S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} + \sum_{k=1,E} S_k |q_k|^{\beta-1} + 2(A_E |q_E| - A_I |q_I|) + (B_E - B_I) \right)} \quad (3.20)$$

în care:  $H_{p,I}, H_{p,E}$  sunt înălțimile de refulare ale pompelor de la intrare și ieșire din ciclul  $m$ , exprimate în funcție de debitele  $q_k$  printr-o relație de formă (3.9);  $Z_{p,I}, Z_{p,E}$  - înălțimile apei în bazinele de aspirație ale pompelor.

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

În figura 3.1 un asemenea inel este 7-5-4 cu pompa în nodul inițial și rezervorul în nodul de ieșire.

Dacă se notează cu  $Z_I$  înălțimea apei în bazinul de aspirație al pompei, expresia divergenței  $\Delta h_m$  pe inelul  $m$  este:

$$\Delta h_m = \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} Q_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} + \sum_{k=1,E} \varepsilon_k S_k q_k |q_k|^{\beta-1} - H_{p,I} - Z_I \quad (3.21)$$

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

Exprimând înălțimea de pompare  $H_{p,I}$  printr-o relație de tipul (3.9) și procedând analog ca în cazul inelului închis, se determină relația de calcul a corecției de debit pe inelul  $m$ :

$$\Delta Q_m = - \frac{\Delta h_m}{\beta \left( \sum_{(m)} S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} + \sum_{k=I,E} S_k |q_k|^{\beta-1} \right) - (2 A_I |q_I| + B_I)} \quad (3.22)$$

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; înălțimile geodezice și debitele concentrate pentru fiecare nod de consum; înălțimea piezometrică în nodul obligat.

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

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

Ținând seama de relațiile (3.8), (3.16) și (3.21), divergențele pierderilor de presiune pe cele trei tipuri de inele se sistematizează și se pun sub o formă generală restrânsă:

$$\Delta h_m = Z_E + \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} (h_{ij} - H_{p,ij}) - Z_I \quad (3.23)$$

în care:  $Z_I, Z_E$  sunt înălțimile apei în rezervoare (bazine de aspirație) la intrarea și respectiv ieșirea din ciclul  $m$ ;  $\varepsilon_{ij}$  - orientarea tronsonului  $ij$ , inclusiv a bransamentului în nodul de intrare și ieșire;  $h_{ij}$  - pierderea de presiune 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 (3.1). Pentru calculul corecțiilor ciclice la iterația ( $k$ ) se utilizează formula dedusă în aproximația liniară:

$$\Delta Q_m^{(k)} = - \frac{\Delta h_m^{(k)}}{SR_m^{(k)}} \quad (3.24)$$

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

$$\Delta h_m^{(k)} = Z_E + \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} S_{ij} Q_{ij}^{(k)} |Q_{ij}^{(k)}|^{\beta-1} - \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} [A_{ij} (Q_{ij}^{(k)})^2 + B_{ij} |Q_{ij}^{(k)}| + C_{ij}] - Z_I \quad (3.25)$$

$$SR_m = \beta \sum_{(m)} S_{ij} |Q_{ij}^{(k)}|^{\beta-1} - \sum_{(m)} (2 A_{ij} |Q_{ij}^{(k)}| + B_{ij}) \quad (3.26)$$

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 ( $0,00005...0,000001 \text{ m}^3/\text{s}$ ) sau atunci numărul iterațiilor depășește o valoare maxim admisă.

Se determină rețeaua virtual ramificată, 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 (3.25), (3.26) 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 calculului.

După ce s-a determinat repartitia finală a debitelor, se calculează cu relația funcțională (2.18) pierderile de presiune pe tronsoane, iar apoi pornind de la un nod cu înălțimea piezometrică cunos-

cută se obțin înălțimile piezometrice  $Z_j$  în toate celelalte noduri ale rețelei, funcție de care rezultă presiunile disponibile  $H_j$  în noduri:

$$H_j = Z_j - ZT_j \quad (3.27)$$

în care  $ZT_j$  este înălțimea geodezică în nodul  $j$ .

Modelul de analiză descris a fost implementat în cadrul programului ordinator FOXPRO AC2.

### 3.2.3.2 Programul FOXPRO AC2

#### Domeniul de aplicabilitate:

- rețele inelare, ramificate sau mixte alimentate gravitațional sau prin pompare de la una sau mai multe surse;
- sistemul poate conține pompe integrate de un singur tip pe artere;
- realizează stabilirea circulației debitelor și a distribuției presiunilor în rețele complexe atât în situația în care se determină înălțimile piezometrice în nodurile de alimentare cât și atunci când aceste înălțimi sunt cunoscute, utilizând pentru rezolvarea ecuațiilor de inel o variantă îmbunătățită a procedurii clasic Lobacev, adaptat în mod corespunzător.

#### Date de intrare:

- date generale;
- lungimile tronsoanelor pe zone de consum;
- debitele de alimentare pe zone de consum;
- caracteristicile nodurilor (debit concentrat, înălțimea 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 (punct de consum sau de alimentare);
- înălțimile piezometrice în punctele de alimentare, cărora atunci când sunt necunoscute li se atribuie inițial valoarea 0.

#### Rezultate furnizate:

- caracteristicile hidraulice după echilibrare ( $Q$ ,  $S$ ,  $h$ ,  $V$ );
- înălțimile piezometrice nodale și presiunile disponibile în noduri;
- consumul specific de energie pentru distribuția apei;

### 3.2.4 Model de analiză ciclică în formulare variațională. Programul FOXPRO AC3

#### 3.2.4.1 Modelul matematic

S-a arătat în formularea clasică a analizei ciclice a rețelelor inelare că relațiile fundamentale de calcul sunt ecuația de continuitate (2.3), ecuația de conservare a energiei pe inele (2.4) și ecuația funcțională (2.18), 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 rețelelor 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:

$$F_e = \sum_{ij=1}^T \left[ \int_0^{Q_{ij}} (Z_i - Z_j) dQ_{ij} \right] - \sum_{ij=1}^T \left( \int_0^{Q_{ij}} H_{p,ij} dQ_{ij} \right) - \sum_{j=1}^{N_*} \left( \int_0^{q_j} Z_j^* dq_j \right) \rightarrow \min \quad (3.28)$$

supusă la restricțiile (2.3) de continuitate a debitelor în noduri și în care s-au folosit notațiile:  $Z_i, Z_j$  - înălțimile piezometrice în nodurile  $i$  și  $j$ ;  $H_{p,ij}$  - înălțimea de refulare a pompelor integrate pe artera  $ij$ ;  $N_*$  - numărul nodurilor de alimentare cu înălțimile piezometrice  $Z_j^*$ .

În relația (3.28), 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 și al treilea termen reprezintă aportul de putere provenit din exteriorul sistemului.

Introducând în funcția obiectiv (3.28) relația funcțională (2.18) scrisă sub forma:

$$h_{ij} = Z_i - Z_j = S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} \quad (3.29)$$

și ținând seama de relația (3.1) de corectare a debitelor în conducte, precum și de expresia (3.9) a înălțimii de pompare, se elimină toate restricțiile, iar determinarea debitelor în rețea se reduce la găsirea minimumului unei funcții de  $M$  variabile ( $\Delta Q_m$ ) fără restricții, care în urma efectuării integralelor devine:

$$F_e = F_{e1} - F_{e2} - F_{e3} \rightarrow \min \quad (3.30)$$

unde:

$$F_{e1} = \frac{1}{\beta + 1} \sum_{ij=1}^T S_{ij} \left| Q_{ij}^{(o)} + \sum_{\substack{ij \in m \\ m=1}}^M \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \right|^{\beta+1} \quad (3.31)$$

$$F_{e2} = \sum_{ij=1}^T \left( \frac{1}{3} A_{ij} \left| Q_{ij}^{(o)} + \sum_{\substack{ij \in m \\ m=1}}^M \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \right|^3 + \frac{1}{2} B_{ij} \left| Q_{ij}^{(o)} + \sum_{\substack{ij \in m \\ m=1}}^M \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \right|^2 + C_{ij} \left| Q_{ij}^{(o)} + \sum_{\substack{ij \in m \\ m=1}}^M \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \right| \right) \quad (3.32)$$

$$F_{e3} = \sum_{j=1}^{N_*} Z_j^* q_j \quad (3.33)$$

Se observă că punând pentru (3.30) condițiile de extremum  $\partial F_e / \partial \Delta Q_m = 0$  ( $m=1, \dots, M$ ), se obține în cazul unei rețele simple, sistemul de ecuații (3.2) 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 (3.30), cum este algoritmul gradientilor conjugați, care a fost implementat în cadrul programului ordinator FOXPRO AC3.

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 (3.1), în care se introduc corecțiile  $\Delta Q_m$  rezultate din minimizarea funcției criteriale, iar în final, după calcularea pierderilor de presiune cu relația (2.18), se determină înălțimile piezometrice  $Z_j$  și presiunile disponibile  $H_j$  în noduri cu ajutorul relației (3.27), pornind de la un nod cu înălțimea piezometrică cunoscută.

### 3.2.4.2 Programul FOXPRO AC3

#### Domeniul de aplicabilitate:

- rețele inelare, ramificate sau mixte alimentate gravitațional sau prin pompare de la una sau mai multe surse;
- sistemul poate conține pompe integrate de un singur tip pe artere;

- realizează stabilirea circulației debitelor și a distribuției presiunilor în rețele complexe atât în situația în care se determină înălțimile piezometrice în nodurile de alimentare cât și atunci când aceste înălțimi sunt cunoscute, prin minimizarea directă a conținutului energetic al rețelei cu ajutorul algoritmului specializat al gradientilor conjugați.

**Date de intrare:**

- date generale;
- lungimile tronsoanelor pe zone de consum;
- debitele de alimentare pe zone de consum;
- caracteristicile nodurilor (debit concentrat, înălțimea 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 (punct de consum sau de alimentare);
- înălțimile piezometrice în punctele de alimentare, cărora atunci când sunt necunoscute li se atribuie inițial valoarea 0.

**Rezultate furnizate:**

- caracteristicile hidraulice după echilibrare (Q, S, h, V);
- înălțimile piezometrice nodale și presiunile disponibile în noduri;
- consumul specific de energie pentru distribuția apei;

**3.3 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 înălțimilor piezometrice, adică a ecuațiilor nodale. După cum s-a prezentat în paragraful 2.3, programele de calcul elaborate în limbaj *VISUAL FOX PRO 3.0 PROFESSIONAL*, ce utilizează metoda nodurilor sunt: **FOXPRO AN1** și **FOXPRO AN2**.

**3.3.1 Principiul metodei**

Relația funcțională (2.18) între pierderea de presiune și debit se pune sub forma:

$$Q_{ij} = S_{ij}^{-\frac{1}{\beta}} h_{ij}^{\frac{1}{\beta}} = S_{ij}^{-\frac{1}{\beta}} (Z_i - Z_j + \Pi_{ij}) \left| Z_i - Z_j + \Pi_{ij} \right|^{\frac{1-\beta}{\beta}} \quad (3.34)$$

în care:  $Z_i$  și  $Z_j$  reprezintă înălțimile piezometrice în nodurile  $i$  și  $j$ ;  $\Pi_{ij}$  - presiunea activă cunoscută pe tronsonul  $ij$ .

Introducând (3.34) în (2.3), ecuația de continuitate a debitului devine:

$$f_j = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N S_{ij}^{-\frac{1}{\beta}} (Z_i - Z_j + \Pi_{ij}) \left| Z_i - Z_j + \Pi_{ij} \right|^{\frac{1-\beta}{\beta}} + q_j = 0 \quad (j = 1, \dots, N - N_*) \quad (3.35)$$

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

Relația (3.35) scrisă pentru toate nodurile  $N$  conduce la un sistem de  $N - N_*$  ecuații neliniare independente, prin rezolvarea căruia se determină înălțimile piezometrice în  $N - N_*$  noduri, în  $N_*$  din noduri înălțimea piezometrică fiind necesară a fi cunoscută (cel puțin  $N_* = 1$ ), iar apoi se calculează debitele care circula pe tronsoane, cunoscând configurația geometrică a rețelei și consumurile la noduri.

*Principiul metodei nodale* constă în considerarea unui set de înălțimi piezometrice inițiale în noduri ca și cunoscute, care se corectează succesiv până când reziduul debitelor în noduri  $f_j$  devine cât mai mic posibil, iar pentru a realiza acest obiectiv se pretează utilizarea algoritmului numeric

Newton-Raphson, cu unele precauții pentru evitarea punctelor singulare, având în vedere ușurința construcției și implementării într-un program ordinator a acestuia.

### 3.3.2 Model de analiză nodală în formulare clasică. Programul FOXPRO AN1

#### 3.3.2.1 Modelul matematic

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 înălțimea piezometrică (înălțimile 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 sunt în general înălțimi piezometrice.

Deși în metoda nodală numărul ecuațiilor este mai mare decât în metoda ciclurilor, densitatea elementelor nenule ale matricei ecuațiilor de nod este mai mică decât cea pentru ecuațiile pe inele, iar sistemul ecuațiilor nodale este mai ușor de formulat, furnizând o matrice rară a coeficienților.

Modelul de analiză nodală apelează la următoarele date de bază: topologia rețelei; lungimile, diametrele și rugozitatea conductelor; înălțimile geodezice și debitele concentrate pentru fiecare nod; presiunile active pe tronsoane; înălțimea 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 înălțimilor piezometrice  $Z^{(0)} = \{Z_1^{(0)} Z_2^{(0)} \dots Z_N^{(0)}\}$ , care se realizează din relația (3.35), admitând pentru relația (3.34) o formă liniară:

$$\sum_{\substack{i \neq j \\ i=1}}^N S_{ij}^{-1} (Z_j^{(0)} - Z_i^{(0)} - \Pi_{ij}) = q_j^p \quad (j = 1, \dots, N - N_*) \quad (3.36)$$

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 rezolvând sistemul liniar de forma explicită:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial Z_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial Z_N} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_N}{\partial Z_1} & \dots & \frac{\partial f_N}{\partial Z_N} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta Z_1 \\ \vdots \\ \delta Z_N \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -f_1 \\ \vdots \\ -f_N \end{Bmatrix} \quad (3.37)$$

unde derivatele parțiale se obțin din (3.35).

Deoarece obligatoriu trebuie impuse cel puțin  $N_* = 1$  înălțimi de referință, sistemul (3.35) se rezolvă pentru  $N - N_*$  necunoscute, unde  $N_*$  este numărul înălțimilor piezometrice cunoscute;

c) *modificarea vectorului Z al necunoscutelor* potrivit procesului iterativ:

$$Z^{(k+1)} = Z^{(k)} + \theta \Delta Z^{(k+1)} \quad (3.38)$$

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

$$|-f_j^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (j = 1, \dots, N - N_*), \quad (3.39)$$

sau a numărului maxim de iterații admis.

După determinarea înălțimilor piezometrice  $Z_j$ , se pot calcula ușor și debitele pe tronsoane cu ajutorul relației (3.34), precum și alți parametri hidraulici caracteristici rețelei (presiuni disponibile, viteze, etc.).

Deși ecuațiile de nod sunt mai ușor de generat, ele sunt însoțite de unele dificultăți de calcul cum ar fi apariția oscilațiilor în jurul soluției [57] și existența unor puncte singulare ( $Z_i + \Pi_{ij} \cong Z_j$ ) ale Jacobianului, generate de tronsoanele cu pierderi de presiune 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 (3.35), prin funcțiile:

$$f_j = \begin{cases} \sum_{i=1, i \neq j}^N S_{ij}^{-1} (Z_i - Z_j + \Pi_{ij}) |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}|^{x-1} + q_j = 0; & |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}| > \omega \\ \sum_{i=1, i \neq j}^N \omega^x S_{ij}^{-x} \frac{Z_i - Z_j + \Pi_{ij}}{\omega} [(x-1) \left(\frac{Z_i - Z_j + \Pi_{ij}}{\omega}\right)^2 + 3 - x] + q_j = 0; & |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}| \leq \omega \end{cases} \quad (3.40)$$

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

Derivatele parțiale se obțin din (3.40), după cum urmează:

$$\frac{\partial f_j}{\partial Z_i} = \frac{\partial f_i}{\partial Z_j} = \begin{cases} x S_{ij}^{-x} |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}|^{x-1}; & |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}| > \omega \\ \omega^x S_{ij}^{-x} \left[ \frac{3}{\omega} (x-1) \left(\frac{Z_i - Z_j + \Pi_{ij}}{\omega}\right)^2 + \frac{3-x}{\omega} \right]; & |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}| \leq \omega \end{cases} \quad (3.41)$$

$$\frac{\partial f_j}{\partial Z_j} = - \sum_{i=1, i \neq j}^N \frac{\partial f_j}{\partial Z_i} \quad (3.42)$$

Din examinarea relației (3.35) se observă că satisfacerea continuității debitelor în noduri se poate realiza admitând ca variabile nu numai înălțimile 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 încât utilizarea modelului poate fi extinsă la rezolvarea de noi probleme.

Dacă se notează necunoscutele înălțimi 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:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial Z_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial q_n} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_{w+1}}{\partial Z_1} & \dots & \frac{\partial f_{w+1}}{\partial q_n} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_N}{\partial Z_1} & \dots & \frac{\partial f_N}{\partial q_n} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta Z_1 \\ \vdots \\ \delta S_{ij} \\ \vdots \\ \delta q_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -f_1 \\ \vdots \\ -f_{w+1} \\ \vdots \\ -f_N \end{Bmatrix} \quad (3.43)$$

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



$$\frac{\partial f_j}{\partial S_{ij}} = \begin{cases} -xS_{ij}^{-(x+1)}(Z_i - Z_j + \Pi_{ij})|Z_i - Z_j + \Pi_{ij}|^{x-1}; & |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}| > \omega \\ -xw^{-x}S_{ij}^{-(x+1)} \frac{Z_i - Z_j + \Pi_{ij}}{\omega} [(x-1)\left(\frac{Z_i - Z_j + \Pi_{ij}}{\omega}\right)^2 + 3 - x]; & |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}| \leq \omega \end{cases} \quad (3.44)$$

$$\frac{\partial f_j}{\partial q_j} = 1 \quad (3.45)$$

Sistemul de ecuații (3.43) 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, înălțimea piezometrică în nodul respectiv sau la oricare nod adiacent, rezistență hidraulică a oricărui tronson care concură 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 aibă mai mult de o necunoscută la nodurile care îl definesc, ce poate fi înălțimea piezometrică sau debitul consumat în nod.

La aplicarea algoritmului Newton-Raphson pentru rezolvarea sistemului de ecuații neliniare (3.40) se ține seama de avantajele:

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

- mai mult, matricea inversă este o matrice pozitivă, proprietate ce conferă calități de stabilitate numerică în rezolvarea sistemului algebric liniar (3.43) la fiecare iterație a algoritmului Newton-Raphson.

Pe baza modelului de analiză nodală s-a elaborat programul ordinator FOXPRO AN1.

### 3.3.2.2 Programul FOXPRO AN1

#### Domeniul de aplicabilitate:

- rețele inelare alimentate gravitațional sau prin pompare de la una sau mai multe surse;  
 - sistemul poate conține pompe integrate pe artere cu presiunea activă cunoscută;  
 - realizează stabilirea circulației debitelor și a distribuției presiunilor sau identificarea rezistențelor hidraulice ale conductelor rețelor inelare complexe, atât în situația în care se determină înălțimile piezometrice în nodurile de alimentare cât și atunci când aceste înălțimi sunt cunoscute, utilizând pentru rezolvarea sistemului de ecuații nodale algoritmul numeric Newton-Raphson.

#### Date de intrare:

- date generale;  
 - lungimile conductelor pe zone de consum;  
 - debitele de alimentare pe zone de consum;  
 - caracteristicile nodurilor (debit concentrat, înălțimea geodezică);  
 - caracteristicile tronsoanelor (nod inițial, nod final, număr de pompe integrate, diametru);  
 - nodurile obligate și înălțimile piezometrice ale acestora sau înălțimile piezometrice nodale;  
 - tronsoanele obligate (când apar ca necunoscute rezistențele hidraulice);  
 - tronsoanele cu rezistențe hidraulice cunoscute (la identificarea rezistențelor necunoscute).

#### Rezultate furnizate:

- debitele în noduri;  
 - înălțimile piezometrice nodale și presiunile disponibile în noduri;  
 - caracteristicile hidraulice ale conductelor ( $Q, S, h, V$ );  
 - consumul specific de energie pentru distribuția apei în rețea.

### 3.3.3 Model de analiză nodală în formulare variațională. Programul FOXPRO AN2

#### 3.3.3.1 Modelul matematic

Folosind ecuațiile (2.4) de conservare a energiei pe inele ca restricții împreună cu funcția criterială:

$$F_e = \sum_{ij=1}^T \left( \int_0^{h_{ij}} Q_{ij} dh_{ij} \right) - \sum_{j=1}^N \left( \int_0^{Z_j} q_j dZ_j \right) \rightarrow \min \quad (3.46)$$

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 (3.46) a relației funcționale sub forma (3.34) 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:

$$F_e = \frac{\beta}{\beta+1} \sum_{ij=1}^T S_{ij}^{-\frac{1}{\beta}} |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}|^{\frac{\beta+1}{\beta}} - \sum_{j=1}^N q_j Z_j \rightarrow \min, \quad (3.47)$$

care se poate realiza folosind algoritmul gradientilor conjugați.

Se observă că punând condițiile de extremum  $\partial F_e / \partial Z_j = 0$  ( $j=1, \dots, N-N_*$ ) se obține sistemul de ecuații nodale (3.35).

Având determinate înălțimile piezometrice în noduri, se calculează presiunile disponibile și apoi debitele de tranzit în conducte cu relația (3.34), precum și alți parametri hidraulici ai rețelei.

Pe baza acestui model de calcul al regimului hidraulic în rețele inelare s-a elaborat programul ordinator FOXPRO AN2.

#### 3.3.3.2 Programul FOXPRO AN2

##### Domeniul de aplicabilitate:

- rețele inelare alimentate gravitațional sau prin pompare de la una sau mai multe surse;
- sistemul poate conține pompe integrate pe artere cu presiunea activă cunoscută;
- realizează stabilirea circulației debitelor și a distribuției presiunilor în rețele inelare complexe, atât în situația în care se determină înălțimile piezometrice în nodurile de alimentare cât și atunci când aceste înălțimi sunt cunoscute, prin minimizarea directă a funcției criteriale cu ajutorul algoritmului specializat al gradientilor conjugați.

##### Date de intrare:

- date generale;
- lungimile conductelor pe zone de consum;
- debitele de alimentare pe zone de consum;
- caracteristicile nodurilor (debit concentrat, înălțimea geodezică);
- caracteristicile tronsoanelor (nod inițial, nod final, presiune activă a stației de pompare integrate, diametru);
- nodurile obligate și înălțimile piezometrice ale acestora;
- aproximanta inițială a înălțimilor piezometrice nodale.

##### Rezultate furnizate:

- debitele în noduri;
- înălțimile piezometrice nodale și presiunile disponibile în noduri;
- caracteristicile hidraulice ale conductelor ( $Q, S, h, V$ );
- consumul specific de energie pentru distribuția apei în rețea.

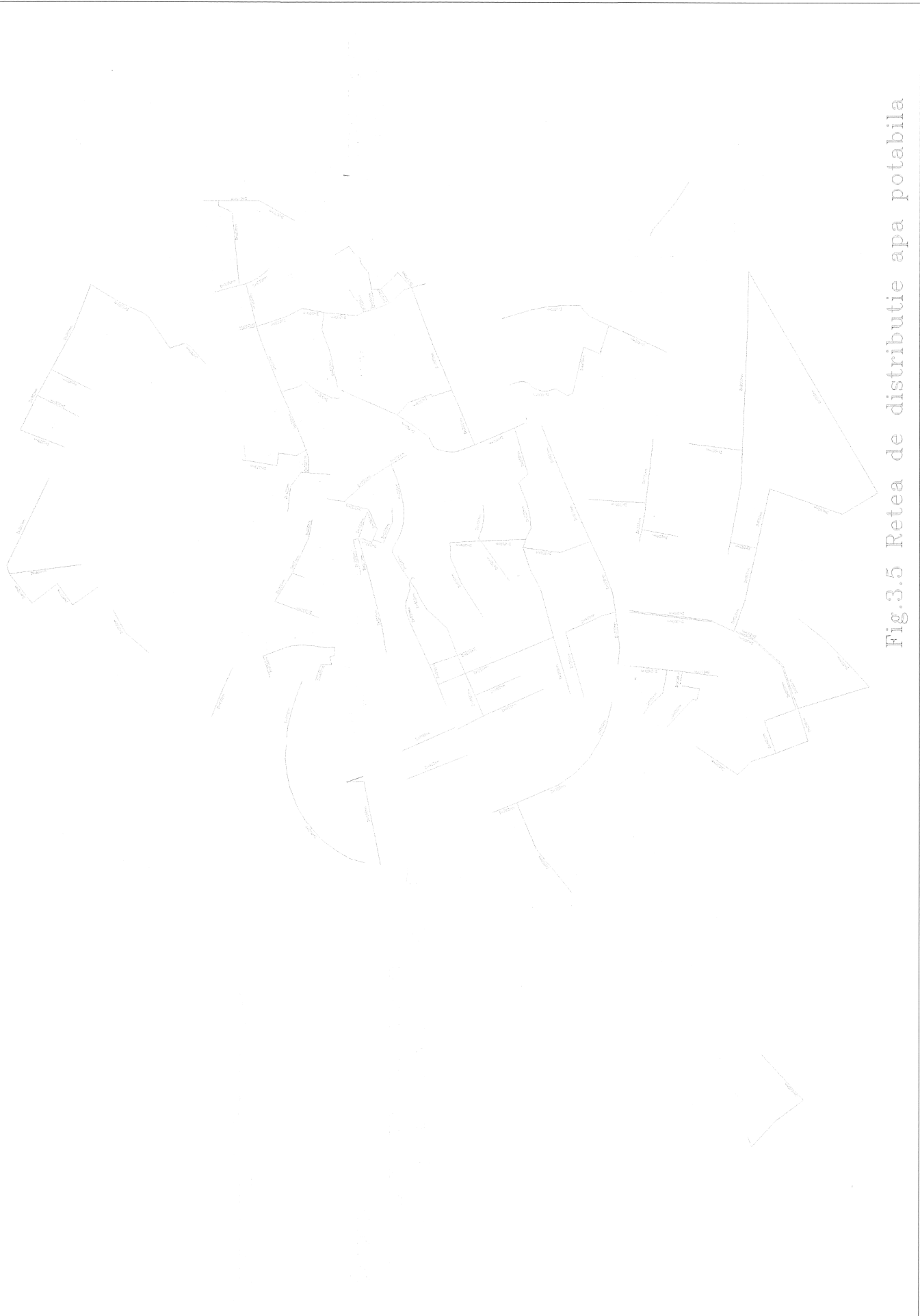


Fig.3.5 Retea de distributie apa potabila

### 3.4 Studiu de caz pentru rețeaua de alimentare cu apă a municipiului Timișoara

Sistemului centralizat modern de alimentare cu apă pentru Timișoara datează de la 1 iunie 1914 când a intrat în funcțiune Uzina de apă nr.1 ce asigura un debit total de  $4600 \text{ m}^3 / \text{zi}$  (pentru 46000 locuitori).

Topologia rețelei de distribuție a apei potabile s-a modificat în timp, datorită extinderii orașului, a creșterii continue a necesarului de apă potabilă. Astfel, în figura 3.5 este prezentă rețeaua actuală de distribuție a apei potabile în municipiului Timișoara, mult extinsă față de rețeaua de distribuție a apei potabile din anul 1956 prezentată în figura 1.2.

Pentru a putea analiza rețeaua de distribuție a apei în ipotezele complexe de calcul, s-a considerat rețeaua principală de alimentare cu apă potabilă alcătuită din 33 inele independente, 97 tronsoane și 65 noduri. De asemenea debitele uniforme distribuite ale fiecărei linii, sunt transformate în debite concentrate la începutul, respectiv capătul acestora conform relației (2.26). Debitul concentrat din nodurile rețelei reprezintă 76 % din debitul total distribuit de rețeaua de apă potabilă. Aceste debite concentrate au următoarea repartitie: consumatori industriali (30 %); puncte termice și centrale termice, pentru prepararea apei calde menajere (40 %); puncte termice și centrale termice, unde apa rece trece prin stația de hidrofor, deci acele puncte și centrale ce includ în valoarea debitului concentrat atât apa caldă menajeră cât și apa rece pentru zona respectivă (6 %).

Pentru aplicarea modelelor de analiză ciclică și nodală în formulare clasică, descrise anterior în paragrafele 3.2.2; 3.2.3 și 3.3.2, se consideră rețeaua de alimentare cu apă potabilă a municipiului Timișoara, pentru care **se cunosc**:

- topologia rețelei (lungimile și diametrele tronsoanelor, înălțimile geodezice);
- debitele de alimentare;
- debitele concentrate;
- înălțimile piezometrice la surse;
- rugozitatea conductelor;

și **se determină**:

- debitele de circulație prin conducte;
- presiunile disponibile în noduri.

Verificarea sistemului de distribuție a apei în municipiul Timișoara se efectuează în două situații:

- la **maxim consum**, când funcționează 3 surse de alimentare cu apă ( Uzina de apă nr 2+4, Uzina de apă nr.1 și Uzina de apă nr.5);

- la **minim consum**, când alimentarea sistemului se realizează de la 2 surse (Uzina de apă nr. 2+4 și Uzina de apă nr.1); în acest caz Uzina de apă nr.5 acumulează pentru compensare, capacitatea stațiilor de pompare treapta a-II-a fiind de 250 l/s, față de debitul captat de 34 l/s.

Conform rezultatelor obținute cu programele de calcul, atât la minim cât și la maxim consum sunt asigurate debitul și presiunea necesară în toate punctele de consum, dar în realitate există consumatori defavorizați.

Acest fapt se explică prin variația rugozității absolute a conductelor în timp mult diferită decât cea teoretică dată de relația lui Kammerstein (2.11).

De asemenea debitul orar maxim luat în calculul de verificare are valori mai mari decât debitul cu frecvența cea mai mare de apariție determinat prin măsurători.

Durata de peste 50 ani de exploatare a 270 km din cei 540,6 km nu permite funcționarea stațiilor de pompare treapta a-II-a la uzinele de apă la presiunile nominale de  $60 \text{ mH}_2\text{O}$ , pentru a se evita avariile în rețea. Astfel presiunile maxime de refulare la stațiile de pompare treapta a-II-a sunt aproximativ  $50 \text{ mH}_2\text{O}$  la Uzinele de apă nr.2+4,  $40 \text{ mH}_2\text{O}$  la Uzina de apă nr.1 și  $30 \text{ mH}_2\text{O}$  la Uzina de apă nr.5



Fig.3.5 Retea de distributie apa potabila

### 3.4.1 Analiza stării de presiune în rețea pentru maxim consum (3 surse) folosind programul FOXPRO AC2

Pentru analiza rețelei la maxim consum s-a folosit metoda ciclică în formulare clasică perfecționată (paragraful 3.2.3.1) utilizând programul de calcul FOXPRO AC2 (paragraful 3.2.3.2).

În acest caz debitul de alimentare total este de 6509 l/s, adică defalcat pe surse:

-Uzina de apă nr.2+4  $Q_{alim}=5009$  l/s;

-Uzina de apă nr.1  $Q_{alim}=1000$  l/s;

-Uzina de apă nr.5  $Q_{alim}= 500$  l/s.

Ținând seama de uzura conductelor în timp, rugozitatea absolută a conductelor ( $k$ ) s-a determinat cu relația (2.11), pentru o viteză de creștere a rugozității  $\omega = 0.070$  mm/an, rezultând  $k = 1,95$  mm. Pentru coeficientul preliminar de rezistență hidraulică  $\lambda_*$  și exponentul debitului  $\beta$ , în funcție de  $\omega$ , s-au obținut cu ajutorul diagramelor de variație, [131] valorile:  $\lambda_* = 0,025$  și  $\beta = 1,99$ .

Datele de intrare și rezultatele obținute pentru această situație de exploatare a rețelei de apă a municipiul Timișoara, sunt prezentate detaliat în anexa nr.2. Se observă că în punctul obligat 1 înălțimea piezometrică este de 113,85 m H<sub>2</sub>O, adică o presiune disponibilă de 26,85 m H<sub>2</sub>O mai mare decât presiunea necesară de 20 m H<sub>2</sub>O.

### 3.4.2 Analiza stării de presiune în rețea pentru minim consum (2 surse) folosind programul FOXPRO AN1

Pentru analiza rețelei la minim consum s-a folosit metoda de analiză nodală în formulare clasică (paragraful 3.3.2.1) utilizând programul de calcul FOXPRO AN1 (paragraful 3.3.2.2).

Spre deosebire de primul caz, Uzina de apă nr.5 nu funcționează ca sursă ci ca un debit de consum concentrat, acumulând pentru perioada de maxim consum. Debitul total de alimentare este de 6009 l/s, adică defalcat pe surse:

-Uzina nr.2+4  $Q_{alim} = 5009$  l/s;

-Uzina nr. 1  $Q_{alim} = 1000$  l/s .

Datele de intrare și rezultatele obținute referitoare la circulația debitelor și distribuția presiunilor în noduri sunt prezentate detaliat în anexa nr.3. Și în acest caz presiunea disponibilă în punctul obligat 1 este de 20,95 m H<sub>2</sub>O față de presiunea necesară de numai 20 m H<sub>2</sub>O.

### 3.4.3 Determinarea rugozității reale a conductelor pornind de la debitele cu frecvența cea mai mare de apariție și presiunile din cele 10 puncte de măsurare prevăzute pe rețeaua de alimentare cu apă potabilă.

După cum s-a specificat și în paragraful 3.4.1, s-a obținut pentru rugozitatea absolută a conductelor din rețeaua de alimentare cu apă potabilă valoarea  $k = 1,95$  mm. Dar această valoare teoretică nu coincide cu cea reală constată pe teren.

Pentru determinarea rugozității reale a conductelor s-a procedat astfel:

1. Pe baza celor 12 grafice (de la graficul 1.6 până la graficul 1.9 din paragraful 1.2.4 și anexa nr.1) ce redau presiunile de refulare în mH<sub>2</sub>O și numărul pompelor în funcțiune din stațiile de pompare treapta a-II-a, și cu ajutorul programelor de calcul ce sunt prezentate în capitolul 5, s-au determinat pentru toate uzinele de apă următoarele mărimi: debitele de calcul în l/s, volumele de apă pompate în mii m<sup>3</sup>, energiile hidraulice utile în Kwh și %, pierderile de energie din pompe în Kwh și %, pierderile de energie din motoare în Kwh și %, pierderile de energie din vane în Kwh și %, energia consumată pe oră în Kwh și %. Valorile obținute pentru fiecare uzină de apă, pentru perioada de un an sunt centralizate în tabele 3.1, 3.2, 3.3 și 3.4, iar pentru perioada de iarnă și vară în anexa nr.4.

UZINA DE APA NR.1 - medii anuale

Tabelul 3.1

Orele (h)	Număr pompe	Presiun ea (mH <sub>2</sub> O)	Debit pomp. (l/s)	Volu m pomp. mii mc	Energ. hidrau utilă		Pierd. energ. pomp e		Pierd. energ. in motor.		Pierd. in vane		Energ. mata (Kwh)	consu pe ora (%)
					(Kwh)	(%)	(Kwh)	(%)	(Kwh)	(%)	(Kwh)	(%)		
0-1	0.67	28.1	255	0.9	70.4	45.5	24.5	15.8	9.9	6.4	49.9	32.3	154.6	100.0
1-2	0.67	27.1	255	0.9	67.9	43.9	24.5	15.8	9.9	6.4	52.4	33.9	154.6	100.0
2-3	0.71	27.2	271	1.0	72.9	44.1	25.9	15.8	10.5	6.4	55.2	33.7	163.8	100.0
3-4	0.77	27.9	294	1.1	80.4	45.2	28.1	15.8	11.3	6.4	57.9	32.6	177.7	100.0
4-5	0.92	31.0	351	1.3	106.7	50.2	33.6	15.8	13.6	6.4	58.5	27.6	212.3	100.0
5-6	0.99	36.1	377	1.4	133.7	58.5	36.1	15.8	14.6	6.4	44.1	19.3	228.5	100.0
6-7	1.01	38.5	385	1.4	145.4	62.4	36.9	15.8	14.9	6.4	35.9	15.4	233.1	100.0
7-8	1.02	39.2	389	1.4	149.5	63.5	37.2	15.8	15.0	6.4	33.6	14.3	235.4	100.0
8-9	1.05	39.3	400	1.4	154.3	63.7	38.3	15.8	15.5	6.4	34.2	14.1	242.3	100.0
9-10	1.07	39.5	408	1.5	158.1	64.0	39.1	15.8	15.8	6.4	34.0	13.8	246.9	100.0
10-11	1.08	39.3	412	1.5	158.7	63.7	39.4	15.8	15.9	6.4	35.1	14.1	249.2	100.0
11-12	1.09	39.5	416	1.5	161.0	64.0	39.8	15.8	16.1	6.4	34.7	13.8	251.5	100.0
12-13	1.08	39.5	412	1.5	159.6	64.0	39.4	15.8	15.9	6.4	34.3	13.8	249.2	100.0
13-14	1.07	39.7	408	1.5	158.9	64.3	39.1	15.8	15.8	6.4	33.2	13.5	246.9	100.0
14-15	1.07	39.8	408	1.5	159.3	64.5	39.1	15.8	15.8	6.4	32.8	13.3	246.9	100.0
15-16	1.07	39.7	408	1.5	158.9	64.3	39.1	15.8	15.8	6.4	33.2	13.5	246.9	100.0
16-17	1.06	39.8	404	1.5	157.8	64.5	38.7	15.8	15.6	6.4	32.5	13.3	244.6	100.0
17-18	1.07	39.4	408	1.5	157.7	63.9	39.1	15.8	15.8	6.4	34.4	13.9	246.9	100.0
18-19	1.07	39.1	408	1.5	156.5	63.4	39.1	15.8	15.8	6.4	35.6	14.4	246.9	100.0
19-20	1.07	39.0	408	1.5	156.1	63.2	39.1	15.8	15.8	6.4	36.0	14.6	246.9	100.0
20-21	1.07	38.9	408	1.5	155.7	63.0	39.1	15.8	15.8	6.4	36.4	14.7	246.9	100.0
21-22	1.07	39.1	408	1.5	156.5	63.4	39.1	15.8	15.8	6.4	35.6	14.4	246.9	100.0
22-23	1.03	38.8	393	1.4	149.5	62.9	37.6	15.8	15.2	6.4	35.4	14.9	237.7	100.0
23-24	0.99	38.1	377	1.4	141.1	61.8	36.1	15.8	14.6	6.4	36.7	16.0	228.5	100.0

UZINA DE APA NR.2 - medii anuale

Tabelul 3.2

Orele (h)	Număr pompe	Presiun ea (mH <sub>2</sub> O)	Debit pomp. (l/s)	Volu m mii mc	Energ. hidrau lică utilă		Pierd. energ. pompe		Pierd. energ. în motor.		Pierd. energ. în vane		Energ. consu mata pe ora	
					(Kwh)	(%)	(Kwh)	(%)	(Kwh)	(%)	(Kwh)	(%)	(Kwh)	(%)
0-1	4.95	36.8	2018	7.3	728.6	53.2	205.3	15.0	78.2	5.7	256.4	26.0	1368.5	100.0
1-2	4.94	36.8	2014	7.3	727.2	53.2	204.9	15.0	78.0	5.7	355.7	26.0	1365.7	100.0
2-3	4.95	36.7	2018	7.3	726.6	53.1	205.3	15.0	78.2	5.7	358.4	26.2	1368.5	100.0
3-4	4.95	36.8	2018	7.3	728.6	53.2	205.3	15.0	78.2	5.7	356.4	26.0	1368.5	100.0
4-5	5.01	38.3	2043	7.4	767.5	55.4	207.8	15.0	79.1	5.7	330.7	23.9	1385.1	100.0
5-6	5.58	42.7	2275	8.2	953.0	61.8	231.5	15.0	88.1	5.7	270.1	17.5	1542.7	100.0
6-7	5.70	44.9	2324	8.4	1023.7	65.0	236.4	15.0	90.0	5.7	225.7	14.3	1575.9	100.0
7-8	5.80	46.3	2365	8.5	1074.1	67.0	240.6	15.0	91.6	5.7	197.2	12.3	1603.5	100.0
8-9	5.96	47.5	2430	8.7	1132.4	68.7	247.2	15.0	94.1	5.7	174.0	10.6	1647.7	100.0
9-10	6.04	48.3	2463	8.9	1166.9	69.9	250.5	15.0	95.4	5.7	157.0	9.4	1669.9	100.0
10-11	6.14	48.7	2504	9.0	1196.1	70.5	254.7	15.0	97.0	5.7	149.8	8.8	1697.5	100.0
11-12	6.18	49.1	2420	9.1	1213.7	71.0	256.3	15.0	97.6	5.7	140.9	8.2	1708.6	100.0
12-13	6.19	49.1	2524	9.1	1215.7	71.0	256.8	15.0	97.7	5.7	141.1	8.2	1711.3	100.0
13-14	6.17	49.2	2516	9.1	1214.2	71.2	255.9	15.0	97.4	5.7	138.2	8.1	1705.8	100.0
14-15	6.14	49.1	2504	9.0	1205.9	71.0	254.7	15.0	97.0	5.7	140.0	8.2	1697.5	100.0
15-16	6.11	48.7	2491	9.0	1190.2	70.5	253.4	15.0	96.5	5.7	149.1	8.8	1689.2	100.0
16-17	6.08	48.3	2479	8.9	1174.6	69.9	252.2	15.0	96.0	5.7	158.1	9.4	1680.9	100.0
17-18	6.13	48.2	2499	9.0	1181.8	69.7	254.3	15.0	96.8	5.7	161.8	9.5	1694.7	100.0
18-19	6.18	47.8	2520	9.1	1181.6	69.2	256.3	15.0	97.6	5.7	173.0	10.1	1708.6	100.0
19-20	6.23	48.1	2540	9.1	1198.6	69.6	258.4	15.0	98.4	5.7	167.0	9.7	1722.4	100.0
20-21	6.27	48.1	2557	9.2	1206.3	69.6	260.1	15.0	99.0	5.7	168.0	9.7	1733.4	100.0
21-22	6.20	48.1	2528	9.1	1192.9	69.6	257.2	15.0	97.9	5.7	166.2	9.7	1714.1	100.0
22-23	5.97	47.1	2434	8.8	1124.7	68.1	247.6	15.0	94.3	5.7	183.9	11.1	1650.5	100.0
23-24	5.61	44.9	2287	8.2	1007.5	65.0	232.7	15.0	88.6	5.7	222.2	14.3	1551.0	100.0



UZINA DE APA NR.4 - medii anuale

Tabelul 3.3

Orele (h)	Număr pompe	Presiun ea (mH <sub>2</sub> O)	Debit pomp. (l/s)	Volu m pomp. mii mc	Energ. hidrau utilă		Pierd. energ. în pompe		Pierd. energ. în motor.		Pierd. energ. în vane		Energ. mata pe ora	
					(Kwh)	(%)	(Kwh)	(%)	(Kwh)	(%)	(Kwh)	(%)	(Kwh)	(%)
0-1	2.07	36.8	844	3.0	304.7	53.2	85.9	15.0	32.7	5.7	149.0	26.0	572.3	100.0
1-2	2.05	36.8	836	3.0	301.8	53.2	85.0	15.0	32.4	5.7	147.6	26.0	566.8	100.0
2-3	2.05	36.8	836	3.0	301.8	53.2	85.0	15.0	32.4	5.7	147.6	26.0	566.8	100.0
3-4	2.07	36.8	844	3.0	304.7	53.2	85.9	15.0	32.7	5.7	149.0	26.0	572.3	100.0
4-5	2.49	38.4	1015	3.7	382.5	55.6	103.3	15.0	39.3	5.7	163.3	23.7	688.4	100.0
5-6	3.05	42.7	1244	4.5	520.9	61.8	126.5	15.0	48.2	5.7	147.6	17.5	843.2	100.0
6-7	3.26	45.0	1329	4.8	586.8	65.1	135.2	15.0	51.5	5.7	127.8	14.2	901.3	100.0
7-8	3.45	46.3	1407	5.1	638.9	67.0	143.1	15.0	54.5	5.7	117.3	12.3	953.8	100.0
8-9	3.70	47.5	1509	5.4	703.0	68.7	153.5	15.0	58.4	5.7	108.0	10.6	1022.9	100.0
9-10	3.84	48.4	1566	5.6	743.4	70.0	159.3	15.0	60.6	5.7	98.3	9.3	1061.6	100.0
10-11	3.85	48.8	1570	5.7	751.5	70.6	159.7	15.0	60.8	5.7	92.4	8.7	1064.4	100.0
11-12	3.86	49.1	1574	5.7	758.1	71.0	160.1	15.0	61.0	5.7	88.0	8.2	1067.2	100.0
12-13	3.85	49.1	1570	5.7	756.1	71.0	159.7	15.0	60.8	5.7	87.8	8.2	1064.4	100.0
13-14	3.82	49.2	1558	5.6	751.8	71.2	158.5	15.0	60.3	5.7	85.6	8.1	1056.1	100.0
14-15	3.75	49.1	1529	5.5	736.5	71.0	155.5	15.0	59.2	5.7	85.5	8.2	1036.7	100.0
15-16	3.68	48.7	1500	5.4	716.9	70.5	152.6	15.0	58.1	5.7	89.8	8.8	1017.4	100.0
16-17	3.55	48.3	1447	5.2	685.8	69.9	147.3	15.0	56.1	5.7	92.3	9.4	981.5	100.0
17-18	3.56	48.1	1452	5.2	684.9	69.6	147.7	15.0	56.2	5.7	95.4	9.7	984.2	100.0
18-19	3.58	47.8	1460	5.3	684.5	69.2	148.5	15.0	56.5	5.7	100.2	10.1	989.7	100.0
19-20	3.59	48.1	1464	5.3	690.7	69.6	148.9	15.0	56.7	5.7	96.2	9.7	992.5	100.0
20-21	3.62	48.0	1476	5.3	695.0	69.4	150.2	15.0	57.2	5.7	98.5	9.8	1000.8	100.0
21-22	3.58	48.1	1460	5.3	688.8	69.6	148.5	15.0	56.5	5.7	95.9	9.7	989.7	100.0
22-23	3.38	47.1	1378	5.0	636.8	68.1	140.2	15.0	53.4	5.7	104.1	11.1	934.5	100.0
23-24	3.02	44.9	1231	4.4	542.4	65.0	125.3	15.0	47.7	5.7	119.6	14.3	834.9	100.0

UZINA DE APA NR.5 - medii anuale

Tabelul 3.4

Orele (h)	Număr pompe	Presiun ea (mH <sub>2</sub> O)	Debit pomp. (l/s)	Volu m pomp. mii mc	Energ. hidraulică utilă		Pierd. energ. în pompe		Pierd. energ. în motor.		Pierd. energ. în vane		Energ. mata consumata pe ora	
					(Kwh)	(%)	(Kwh)	(%)	(Kwh)	(%)	(Kwh)	(%)	(Kwh)	(%)
0-1	0.01	21.7	4	0.0147	0.9	31.4	0.4	15.0	0.2	5.7	1.3	47.9	2.8	100.0
1-2	0.00	21.4	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2-3	0.00	21.2	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3-4	0.00	21.0	0	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4-5	0.01	20.6	4	0.0147	0.8	29.8	0.4	15.0	0.2	5.7	1.4	49.5	2.8	100.0
5-6	0.18	21.8	73	0.2642	15.7	31.5	7.5	15.0	2.8	5.7	23.8	47.7	49.8	100.0
6-7	0.71	25.4	289	1.0422	72.1	36.7	29.5	15.0	11.2	5.7	83.5	42.5	196.3	100.0
7-8	0.90	26.3	367	1.3211	94.7	38.1	37.3	15.0	14.2	5.7	102.6	41.2	248.8	100.0
8-9	0.96	26.4	391	1.4092	101.4	38.2	39.8	15.0	15.2	5.7	109.1	41.1	265.4	100.0
9-10	0.98	26.6	400	1.4385	104.3	38.5	40.6	15.0	15.5	5.7	110.5	40.8	270.9	100.0
10-11	1.01	26.8	412	1.4825	108.3	38.8	41.9	15.0	15.9	5.7	113.1	40.5	279.2	100.0
11-12	1.01	26.9	412	1.4825	108.7	38.9	41.9	15.0	15.9	5.7	112.7	40.4	279.2	100.0
12-13	1.01	26.9	412	1.4825	108.7	38.9	41.9	15.0	15.9	5.7	112.7	40.4	279.2	100.0
13-14	1.01	27.4	412	1.4825	110.7	39.6	41.9	15.0	15.9	5.7	110.7	39.6	279.2	100.0
14-15	1.00	27.7	408	1.4679	110.8	40.1	41.5	15.0	15.8	5.7	108.4	39.2	276.5	100.0
15-16	0.99	27.7	404	1.4532	109.7	40.1	41.1	15.0	15.6	5.7	107.3	39.2	273.7	100.0
16-17	0.97	27.9	396	1.4238	108.3	40.4	40.2	15.0	15.3	5.7	104.4	38.9	268.2	100.0
17-18	1.01	27.3	412	1.4825	110.3	39.5	41.9	15.0	15.9	5.7	111.1	39.8	279.2	100.0
18-19	1.02	26.7	416	1.4972	108.9	38.6	42.3	15.0	16.1	5.7	114.6	40.7	282.0	100.0
19-20	1.04	26.9	424	1.5266	111.9	38.9	43.1	15.0	16.4	5.7	116.1	40.4	287.5	100.0
20-21	1.04	26.3	424	1.5266	109.4	38.1	43.1	15.0	16.4	5.7	118.6	41.2	287.5	100.0
21-22	1.00	27.	408	1.4679	108.4	39.2	41.5	15.0	15.8	5.7	110.8	40.1	276.5	100.0
22-23	0.85	26.8	347	1.2477	91.1	38.8	35.3	15.0	13.4	5.7	95.2	40.5	235.0	100.0
23-24	0.32	24.5	130	0.4697	31.4	35.4	13.3	15.0	5.1	5.7	38.8	43.8	88.5	100.0

Tot în anexa nr.4 sunt prezentate grafic, variațiile puterii consumate, debitul pompat și randamentul global pentru stațiile de pompare treapta a-II-a. Graficele s-au întocmit pentru toate cele 4 uzine de apă potabilă, pentru cele trei perioade de calcul precizate mai sus.

2. Cu aceste mărimi, pentru fiecare uzină de apă în parte și pentru cele trei perioade de calcul s-au determinat frecvențele de apariție a presiunilor, frecvențele de apariție a debitelor și frecvențele de apariție a randamentelor. Valorile sunt centralizate:

- în tabelele 3.5 pentru Uzina de apă nr.1;
- în tabelele 3.6 pentru Uzina de apă nr.2;
- în tabelele 3.7 pentru Uzina de apă nr.4;
- în tabelele 3.8 pentru Uzina de apă nr.5;

Frecvențele de apariție a presiunilor de pe refularea pompelor și frecvențele de apariție a debitelor pompate în stațiile de pompare treapta a-II-a sunt reprezentate grafic în anexa nr.4, pentru uzinele de apă 1,2,4 și 5 în cele trei perioade de calcul, (an, iarnă și vară). În figurile 3.6; 3.7; 3.8 și 3.9 sunt reprezentate grafic frecvențele de apariție a presiunilor și debitelor din stațiile de pompare treapta a-II-a de la Uzinele de apă nr.1, 2, 4 și 5, pentru perioada de un an (01.01.1996-31.12.1996).

3. S-au determinat presiunile disponibile în nodurile rețelei, luând în calcul debitele de la surse egale cu debitele cu frecvența cea mai mare de apariție și utilizând modelul matematic de analiză ciclică în formulare clasică (programul de calcul FOXPRO AC2; anexa nr.5).

4. S-au comparat valorile presiunilor disponibile obținute cu programul de calcul cu valorile măsurate în cele 10 puncte de măsură din rețea, precizate în paragraful 1.2.1.

5. S-a modificat rugozitatea absolută a conductelor k, până când s-au egalizat valorile presiunilor disponibile, rezultate din rularea programului de verificare a rețelei de distribuție a apei, cu valorile măsurate în punctele de măsură de pe teren și centralizate la dispeceratul regiei R.A. AQUATIM.

6. S-a obținut rugozitatea absolută reală a conductelor:  $k = 21 \text{ mm}$ .(anexa nr.6)

**UZINA DE APA NR.1**

*Tabelele 3.5*

Frecvența de apariție a presiunilor- stația de pompare treapta a-II-a Uzina de apa nr.1

AN			IARNA			VARA		
f [ore]	H [mH <sub>2</sub> O]		f [ore]	H [mH <sub>2</sub> O]		f [ore]	H [mH <sub>2</sub> O]	
1460	27.10	28.10	736	29.70	30.70	552	26.10	27.10
365	31.00	32.00	184	31.50	32.50	184	27.50	28.50
365	36.10	37.10	184	34.40	35.40	184	31.90	32.90
2555	38.10	39.10	920	36.90	37.90	184	36.90	37.90
4015	39.20	40.20	2208	38.00	39.00	552	38.40	39.40
			184	39.10	40.10	2760	39.50	40.50

Frecvența de apariție a debitelor- stația de pompare treapta a-II-a Uzina de apa nr.1

AN			IARNA			VARA		
f [ore]	Q [l/s]		f [ore]	Q [l/s]		f [ore]	Q [l/s]	
1095	255.40	275.40	2576	366.00	386.00	368	213.50	233.50
365	293.60	313.60	1840	388.90	408.90	184	240.20	260.20
365	350.80	370.80				184	270.70	290.70
1825	377.50	397.50				368	354.60	374.60
5110	400.30	420.30				736	381.30	401.30
						2576	408.00	428.00

Frecvența de apariție a randamentelor- stația de pompare treapta a-II-a Uzina de apa nr.1

AN			IARNA			VARA		
f [ore]	η [%]		f [ore]	η [%]		f [ore]	η [%]	
730	43.90	44.90	552	48.10	49.10	368	42.30	43.30
730	45.20	46.20	184	49.60	50.60	184	43.40	44.40
365	50.20	51.20	184	51.10	52.10	184	44.60	45.60
365	58.50	59.50	184	55.80	56.80	184	51.70	52.70
730	61.80	62.80	368	59.80	60.80	184	59.80	60.80
3285	62.90	63.90	1104	61.10	62.10	184	62.20	63.20
2555	64.00	65.00	1656	62.20	63.20	1288	63.40	64.40
			184	63.40	64.40	1840	64.50	65.50

**UZINA DE APA NR.2**

Tabelele 3.6

Frecvența de apariție a presiunilor-stația de pompare treapta a-II-a Uzina de apa nr.2

AN			IARNA			VARA		
f [ore]	H [mH <sub>2</sub> O]		f [ore]	H [mH <sub>2</sub> O]		f [ore]	H [mH <sub>2</sub> O]	
1460	36.70	37.70	736	37.30	38.30	736	36.60	37.60
365	38.30	39.30	184	38.60	39.60	184	38.30	39.30
365	42.70	43.70	184	43.20	44.20	184	42.40	43.40
730	44.90	45.90	368	44.70	45.70	368	44.90	45.90
730	46.30	47.30	552	46.50	47.50	184	46.10	47.10
2920	47.50	48.50	2208	47.80	48.80	1288	47.50	48.50
2190	48.70	49.70	184	48.90	49.90	1472	48.70	49.70

Frecvența de apariție a debitelor-stația de pompare treapta a-II-a Uzina de apa nr.2

AN			IARNA			VARA		
f [ore]	Q [l/s]		f [ore]	Q [l/s]		f [ore]	Q [l/s]	
1460	2014.2	2034.2	736	2010.2	2030.2	736	2018.3	2038.3
365	2042.8	2062.8	184	2050.9	2070.9	184	2046.9	2066.9
730	2275.2	2295.2	368	2258.9	2278.9	184	2271.1	2291.1
365	2324.1	2344.1	184	2287.4	2307.4	184	2299.7	2319.7
365	2364.9	2384.9	184	2340.4	2360.4	184	2340.4	2360.4
730	2430.1	2450.1	368	2385.3	2405.3	184	2369.0	2389.0
730	2462.8	2482.8	368	2409.7	2429.7	184	2434.2	2454.2
1460	2491.3	2511.3	920	2434.2	2454.2	184	2454.6	2474.6
1825	2515.8	2535.8	368	2454.6	2474.6	184	2491.3	2511.3
730	2540.2	2560.2	368	2479.1	2499.1	920	2515.8	2535.8
			184	2515.8	2535.8	1104	2540.2	2560.2
			184	2544.3	2564.3	184	2560.6	2580.6

Frecvența de apariție a randamentelor-stația de pompare treapta a-II-a Uzina de apa nr.2

AN			IARNA			VARA		
f [ore]	$\eta$ [%]		f [ore]	$\eta$ [%]		f [ore]	$\eta$ [%]	
1460	53.10	54.10	736	54.00	55.00	736	53.00	54.00
365	55.40	56.40	184	55.80	56.80	184	55.40	56.40
365	61.80	62.80	184	62.50	63.50	184	61.30	62.30
730	65.00	66.00	368	64.70	65.70	368	65.00	66.00
365	67.00	68.00	368	67.30	68.30	184	66.70	67.70
730	68.10	69.10	1288	68.70	69.70	736	68.70	69.70
2555	69.20	70.20	1288	69.90	70.90	920	70.00	71.00
2190	70.50	71.50				1104	71.20	72.20

**UZINA DE APA NR.4**

Tabelele 3.7

Frecvența de apariție a presiunilor-stația de pompare treapta a-II-a Uzina de apa nr.4

AN			IARNA			VARA		
f [ore]	H [mH <sub>2</sub> O]		f [ore]	H [mH <sub>2</sub> O]		f [ore]	H [mH <sub>2</sub> O]	
1460	36.80	37.80	736	37.30	38.30	736	36.60	37.60
365	38.40	39.40	184	38.70	39.70	184	38.40	39.40
365	42.70	43.70	184	43.10	44.10	184	42.40	43.40
730	44.90	45.90	368	44.70	45.70	552	44.60	45.60
730	46.30	47.30	552	46.50	47.50	184	46.10	47.10
2920	47.50	48.50	2024	47.80	48.80	1104	47.50	48.50
2190	48.70	49.70	368	48.90	49.90	1472	48.70	49.70

Frecvența de apariție a debitelor-stația de pompare treapta a-II-a Uzina de apa nr.4

AN			IARNA			VARA		
f [ore]	Q [l/s]		f [ore]	Q [l/s]		f [ore]	Q [l/s]	
1460	835.9	855.9	736	848.1	868.1	736	831.80	851.8
365	1015.3	1035.3	184	990.8	1010.8	184	1019.4	1039.4
730	1231.4	1251.4	368	1247.7	1267.7	368	1235.5	1255.5
365	1329.2	1349.2	184	1349.6	1369.6	184	1308.8	1328.8
365	1378.2	1398.2	184	1394.5	1414.5	184	1398.6	1418.6
365	1406.7	1426.7	184	1423.0	1443.0	920	1423.0	1443.0
1825	1447.5	1467.5	368	1459.7	1479.7	184	1443.4	1463.4
365	1476.0	1496.0	920	1488.3	1508.3	184	1463.8	1483.8
730	1500.5	1520.5	552	1529.0	1549.0	368	1500.5	1520.5
365	1529.0	1549.0	736	1557.6	1577.6	184	1537.2	1557.2
1825	1557.6	1577.6				736	1565.7	1585.7
						184	1614.7	1634.7

Frecvența de apariție a randamentelor-stația de pompare treapta a-II-a Uzina de apa nr.4

AN			IARNA			VARA		
f [ore]	η [%]		f [ore]	η [%]		f [ore]	η [%]	
1460	53.20	54.20	736	54.00	55.00	736	53.00	54.00
365	55.60	56.60	184	56.00	57.00	184	55.60	56.60
365	61.80	62.80	184	62.40	63.40	184	61.30	62.30
730	65.00	66.00	368	64.70	65.70	552	64.50	65.50
365	67.00	68.00	368	67.30	68.30	184	66.70	67.70
730	68.10	69.10	1288	68.70	69.70	552	68.70	69.70
2555	69.20	70.20	1288	69.90	70.90	1104	70.00	71.00
2190	70.50	71.50				920	71.20	72.20

**UZINA DE APA NR.5**

tabelele 3.8

Frecvența de apariție a presiunilor-stația de pompare treapta a-II-a Uzina de apa nr.5

AN			IARNA			VARA		
f [ore]	H [mH <sub>2</sub> O]		f [ore]	H [mH <sub>2</sub> O]		f [ore]	H [mH <sub>2</sub> O]	
1460	20.60	21.60	920	21.70	22.70	920	20.70	21.70
730	21.70	22.70	184	22.80	23.80	184	21.90	22.90
730	24.50	25.50	184	24.20	25.20	368	24.90	25.90
4380	26.30	27.30	920	26.00	27.00	1840	26.20	27.20
1460	27.40	28.40	1840	27.20	28.20	1104	27.40	28.40
			368	28.40	29.40			

Frecvența de apariție a debitelor-stația de pompare treapta a-II-a Uzina de apa nr.5

AN			IARNA			VARA		
f [ore]	Q [l/s]		f [ore]	Q [l/s]		f [ore]	Q [l/s]	
1825	0.00	20.00	920	4.10	24.10	920	0.00	20.00
365	73.40	93.40	368	73.40	93.40	184	69.30	89.30
365	130.50	150.50	368	261.00	281.00	184	159.00	179.00
365	289.50	309.50	368	362.90	382.90	184	289.50	309.50
365	346.60	366.60	1104	391.40	411.40	184	367.00	387.00
365	367.00	387.00	1288	411.80	431.80	920	387.40	407.40
2190	391.40	411.40				1840	407.70	427.70
2920	411.80	431.80						

Frecvența de apariție a randamentelor-stația de pompare treapta a-II-a Uzina de apa nr. 5

AN			IARNA			VARA		
f [ore]	η [%]		f [ore]	η [%]		f [ore]	η [l/s]	
1095	0.00	1.00	736	31.40	32.40	552	0.00	1.00
365	29.80	30.80	368	32.70	33.70	184	29.90	30.90
730	31.40	32.40	184	35.00	36.00	368	31.30	32.30
365	35.40	36.40	736	37.60	38.60	368	36.00	37.00
365	36.70	37.70	1472	39.10	40.10	1288	37.90	38.90
3650	38.10	39.10	736	40.40	41.40	1472	39.10	40.10
1825	39.20	40.20	184	41.50	42.50	184	40.20	41.20
365	40.40	41.40						

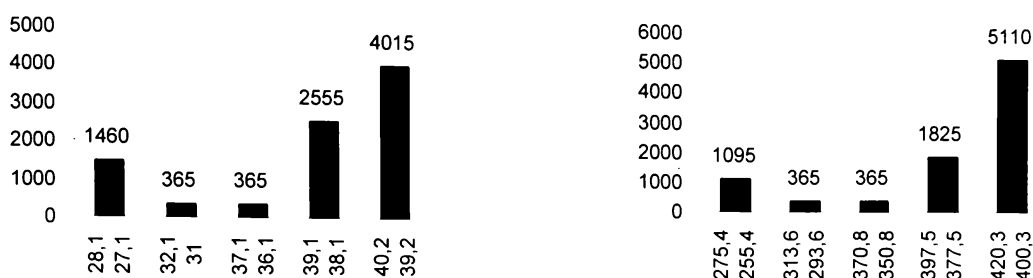


Fig. 3.6 Frecvența de apariție a presiunilor și debitelor din SP II de la Uzina de apă nr.1 pentru perioada de un an 01.01.1996-31.12.1996



Fig. 3.7 Frecvența de apariție a presiunilor și debitelor din SP II de la Uzina de apă nr.2 pentru perioada de un an 01.01.1996-31.12.1996

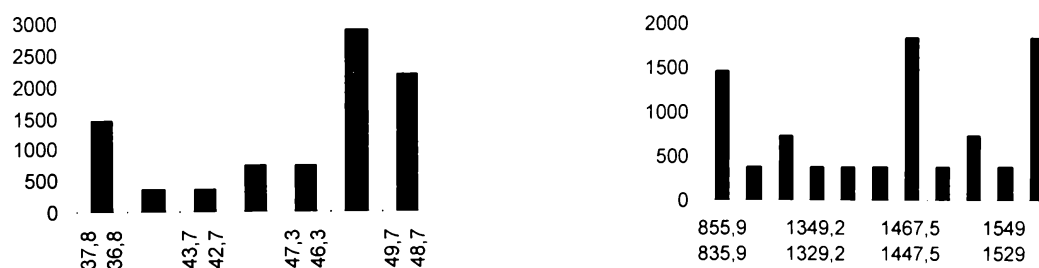


Fig. 3.8 Frecvența de apariție a presiunilor și debitelor din SP II de la Uzina de apă nr.4 pentru perioada de un an 01.01.1996-31.12.1996

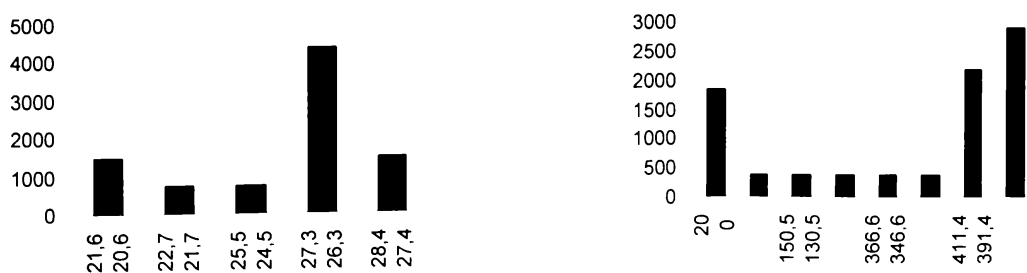


Fig. 3.9 Frecvența de apariție a presiunilor și debitelor din SP II de la Uzina de apă nr.5 pentru perioada de un an 01.01.1996-31.12.1996

Acest rezultat, ce depășește considerabil valoarea teoretică obținută cu relația lui Kamerstein  $k = k_0 + \omega t$ , arată gradul excesiv de îmbătrânire a conductelor, pe anumite porțiuni chiar colmatate, ceea ce impune ca o măsură stringentă, înlocuirea conductelor rețelei de distribuție a apei potabile din municipiul Timișoara.

### **3.4.4 Analiza sistemului de alimentare cu apă potabilă în cazul utilizării conductelor cu rugozitate mică (PE). Comparație consum energetic pentru cele 2 cazuri (cazul real și cazul utilizării polietilenei de înaltă densitate PE).**

Deoarece rezultatele obținute în paragraful precedent argumentează necesitatea înlocuirii conductelor rețelei de distribuție a apei, în totalitatea lor, s-a analizat funcționarea sistemului de alimentare cu apă potabilă, în cazul în care toate conductele existente sunt înlocuite cu conducte din polietilenă de înaltă densitate (PE) ce au rugozitatea absolută  $k = 0,007$  mm.

Conductele din polietilenă de înaltă densitate PE, sunt utilizate în țările puternic dezvoltate, dintre care amintim SUA, Japonia, Canada, Germania, Danemarca, Olanda, Franța, în următoarele domenii: sisteme de alimentare cu apă, sisteme de canalizare, sisteme de conducte de gaze, sisteme de conducte industriale-tehnologice, irigații, instalații interioare, tuburi de protecție.

Utilizarea răspândită a conductelor de polietilenă se bazează pe următoarele proprietăți avantajoase:

- greutate redusă și rezistență mare la coroziune;
- durata de viață minim 50 de ani (dar se pot utiliza chiar 100 de ani);
- flexibile, deci se pot ocoli ușor obstacolele (fundații, copaci, etc.);
- se pot îmbina pe stradă, pe tronsoane mari, și apoi montate în șanț;
- ușor de montat și necesită șanțuri înguste, deci și o execuție rapidă;
- rezistență mare la șoc;
- rezistență chimică mare atât în interiorul conductelor cât și în exteriorul lor;
- ușor de sudat și rezistență mare la tracțiune a sudurilor;
- comportament mai bun decât alte plastice la acțiunea ultravioletelor;
- rezistență bună la valori termice scăzute și ridicate;
- nu se crapă la înghețarea apei în conducte;
- comportare bună la schimbările meteorologice;
- pierderi de presiune foarte mici, datorită rugozității absolute,  $k$ , a conductelor de

numai 0,007 mm.

Momentan, la construcția sistemelor de apă, de gaze, de irigații sau conducte tehnologice, se folosesc polietilenele cu copolimeri de densitate medie și mare (densități între 0,935-0,965 g/cm<sup>3</sup>).

Conductele de polietilenă de densitate medie și mare se fabrică în culoare neagră. Culoarea neagră se datorează funinginei speciale adăugate în procent de 2-2,5%, care asigură durată lungă de viață a conductelor.

Conductele sunt executate pe un flux tehnologic prin metoda extrudării. Conductele cu diametrul până la 110 mm sunt produse în colaci, cu raza de îndoire de minimum 20 D (D fiind diametrul exterior al conductei). Conductele cu diametrele de peste 110 mm sunt livrate la executanți în lungimi de 6 sau 12 m.

Pentru a determina eficiența economică a soluției propuse, înlocuirea conductelor rețelei existente cu conducte din polietilenă PE, este necesară cunoașterea consumului energetic în stațiile de pompare treapta a-II-a și în rețeaua de distribuție.

Pe baza mărimilor măsurate în stațiile de pompare treapta a-II-a, conform tabelelor și graficelor din paragraful 3.4.3, s-au determinat energia consumată și volumul de apă potabilă pompat de cele 4 uzine de apă.



Tabelul 3.9

**Energia consumată și volumul de apă pompat de stațiile de pompare treapta a-II-a**

Nr. Uzina	Energia consumată în SP II [Kwh]			Volum apă pompat [m <sup>3</sup> /zi]		
	medii anuale	medii iarnă	medii vară	medii anuale	medii iarnă	medii vară
Uzina nr. 1	5485,3	5575,3	5519,9	32600	33200	32800
Uzina nr. 2	38561,5	38008,6	38821,4	204700	201800	206100
Uzina nr. 4	21763,4	21909,9	21744,1	115600	116300	115400
Uzina nr. 5	4708,2	4581,0	4760,7	25000	24300	25300
TOTAL	70520	70080	70850	377900	375600	379600

Conform graficelor din anexa nr.4, pentru Uzinele de apă nr.1, 2, 4 și 5, s-au obținut debitele, presiunile de refulare și randamentele cu frecvența cea mai mare de apariție (tabelul 3.10), pentru stațiile de pompare treapta a-II-a de la cele 4 uzine de apă potabilă.

S-a verificat rețeaua de distribuție a apei potabile, pentru municipiul Timișoara, cu programul de calcul FOXPRO AC2 (metoda ciclurilor) cu debitele la surse cu frecvența cea mai mare de apariție (mediile anuale), deci un debit total de 4801,55 l/s și rugozitatea absolută a conductelor din polietilenă de 0,007 mm. Rezultatele sunt prezentate în anexa nr.7.

Pentru aceleași debite la surse dar rugozitatea absolută a conductelor de 1,95 mm, obținută cu relația teoretică a lui Kamerstein, în anexa nr.5, sunt prezentate valorile obținute la verificarea sistemului de alimentare cu apă.

În anexa nr.6 sunt prezentate valorile obținute în cazul verificării sistemului de alimentare cu apă, pentru rugozitatea absolută reală de 21 mm (paragraful 3.4.3).

Pentru vizualizarea grafică a învelitorii înălțimilor piezometrice din rețeaua de distribuție, s-a utilizat MATHCAD 6.0.

În figurile 3.10; 3.11; 3.12 și 3.13 sunt reprezentate aceste suprafețe, în următoarele ipoteze de calcul:

- rețeaua de distribuție din anul 1956, pentru care prof. dr. ing. Preda Iosif, a calculat repartitia debitelor ( $q$  în l/s) și a pierderilor de presiune ( $h_p$  în mH<sub>2</sub>O) în ziua de maxim consum și a analizat sistemul de distribuție a apei potabile din acea perioadă. Datele respective au fost introduse și în programul de calcul cu metoda ciclurilor iar rezultatele sunt prezentate în anexa nr.1;
- rețeaua de distribuție existentă pentru debitele cu frecvența cea mai mare de apariție și rugozitatea absolută reală ( $k=21$ mm);
- rețeaua de distribuție existentă pentru debitele cu frecvența cea mai mare de apariție, dar considerând rugozitatea absolută teoretică a conductelor ( $k=1,95$ mm);
- rețeaua de distribuție existentă pentru debitele cu frecvența cea mai mare de apariție, dar în care toate conductele sunt înlocuite cu conducte noi din polietilenă de înaltă densitate ( $k=0,007$ mm) în două ipoteze: presiunea la surse de 5 bari (figura 3.13a) respectiv 10 bari (figura 3.13b).

La uzinele de apă potabilă se înregistrează un consum mediu de energie de 104,34 MWh, determinat în paragraful 1.2.3.

În cazul conductelor noi de polietilenă (A) s-a obținut un consum specific de energie pentru distribuția apei, de 0,02121 kWh/m<sup>3</sup>. Aceasta înseamnă un consum mediu de 8015,25 Kwh, adică 7,68% din consumul energetic total al sistemului de alimentare cu apă.

În cazul teoretic (B), rugozitatea este de 1,95 mm și s-a obținut un consum specific de energie pentru distribuția apei, de 0,02727 kWh/m<sup>3</sup>. Aceasta înseamnă un consum mediu de 10305,33 Kwh, adică 9,87% din consumul energetic total al sistemului de alimentare cu apă.

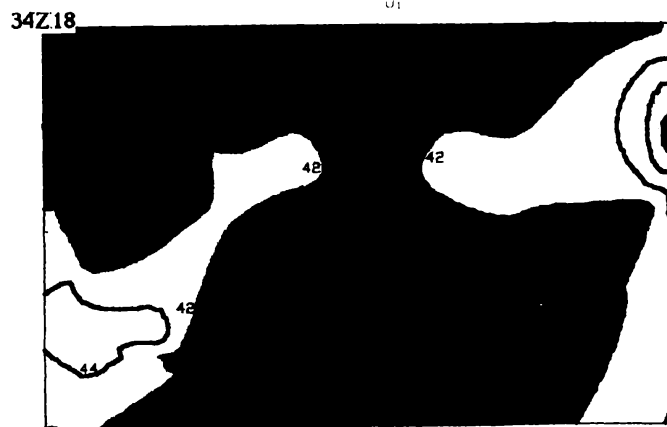
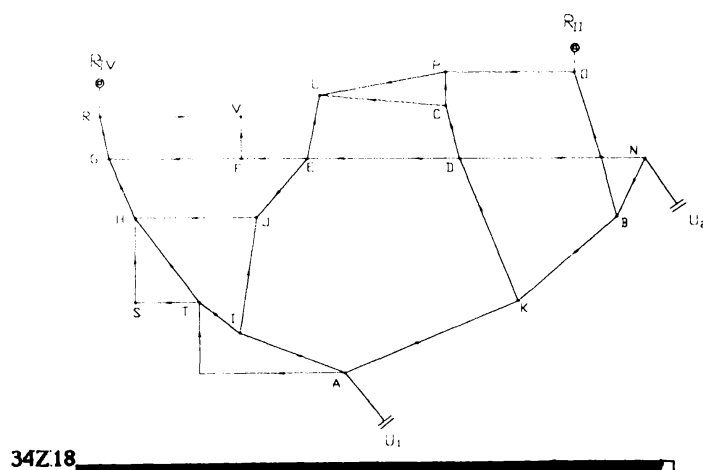
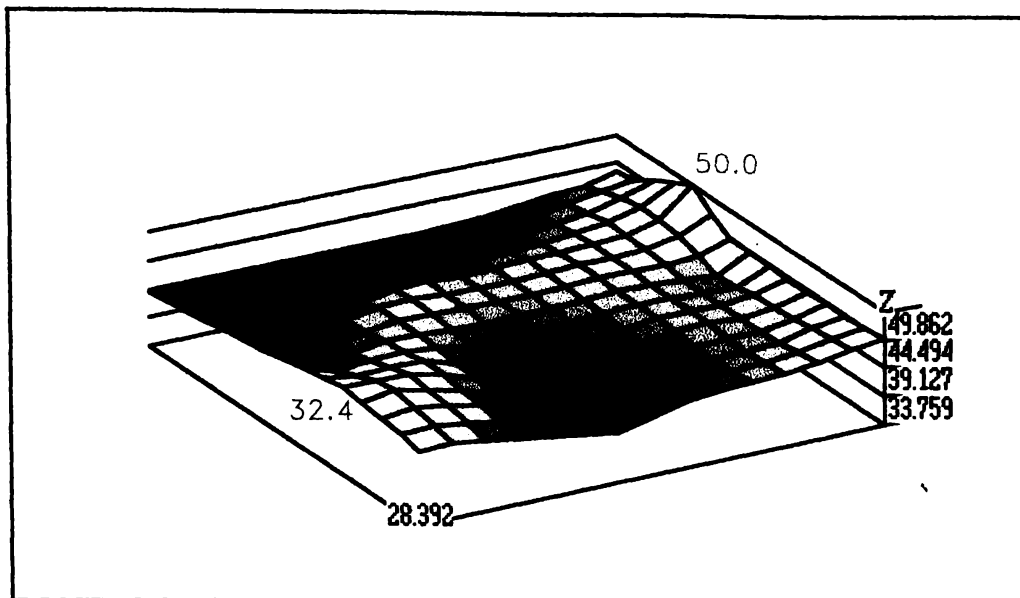
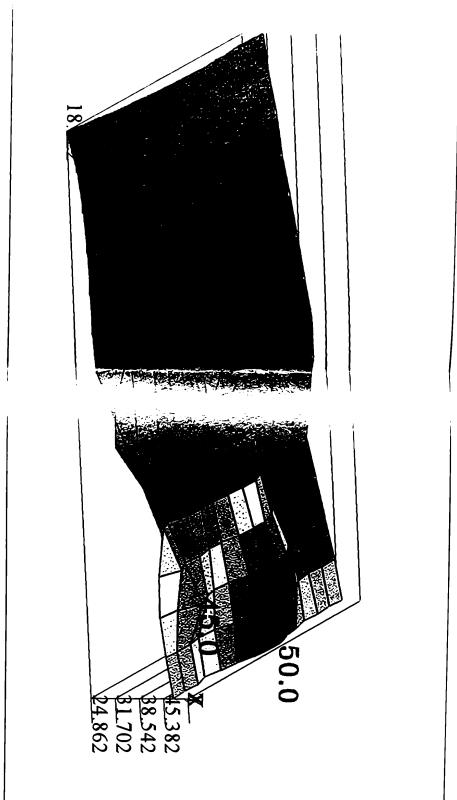
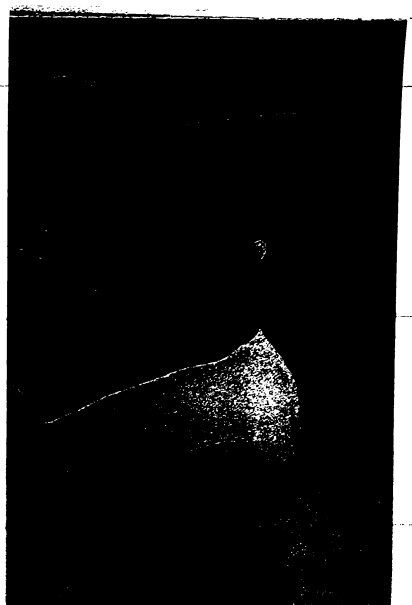
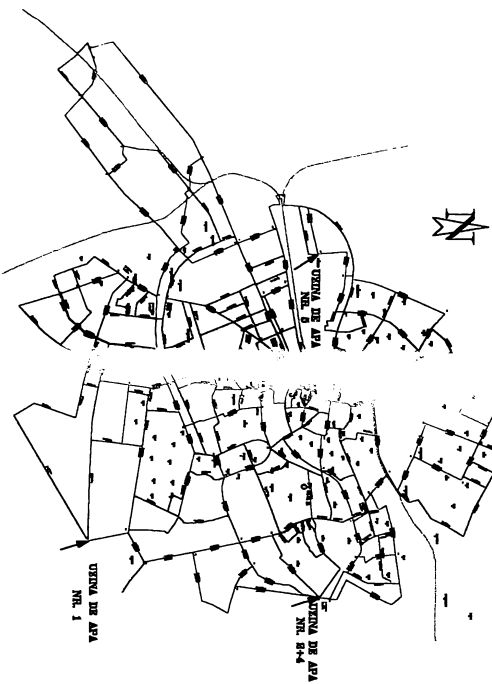


Fig. 3.10 Graficul piezometric (infasuratoare) si izobarele retelei de distributie din Municipiul TIMISOARA anul 1956



Infasuratoarea inaltilor piezometrice



Curbele izobare ale retelei de distributie

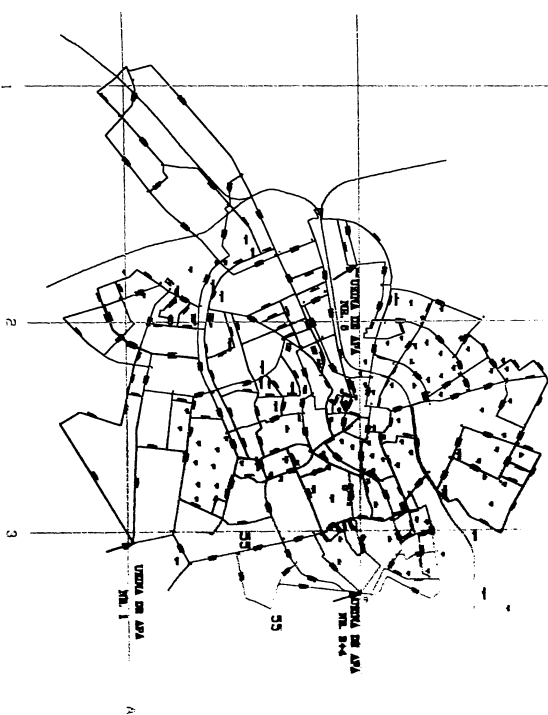
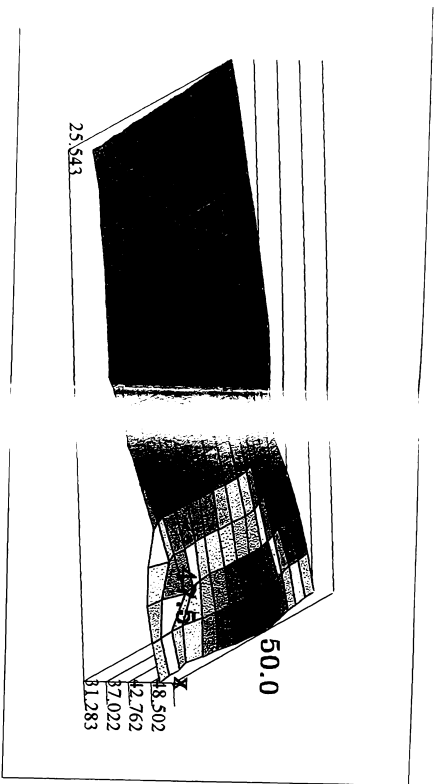


Fig. 3.11 Graficul piezometric (infasuratoarea) si izobarele retelei de distributie din Municipiul TIMISOARA cazul real, conducte din otel, fonta, azbociment; rugozitatea absoluta  $k=21$  mm



Infasuratoarea in rețea  
 și în piezometrice



Curbele izobare ale rețelei de distribuție

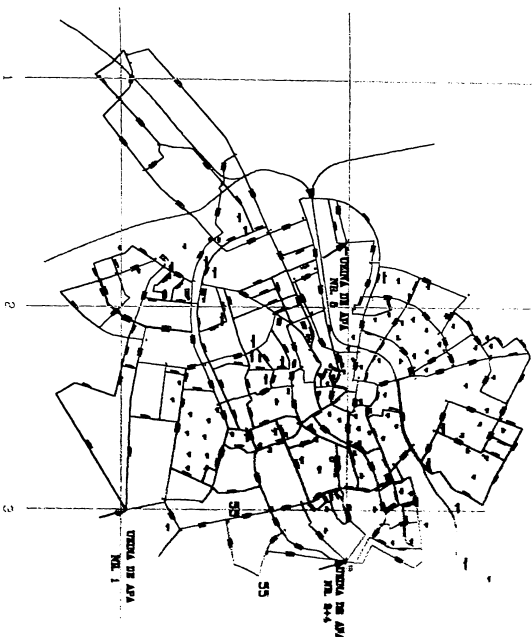
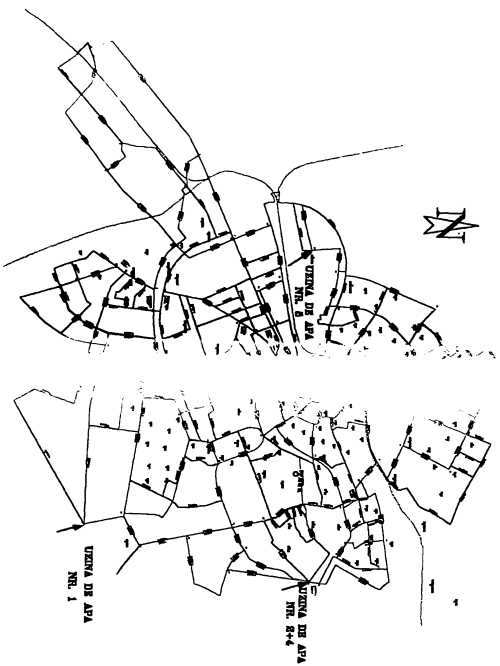
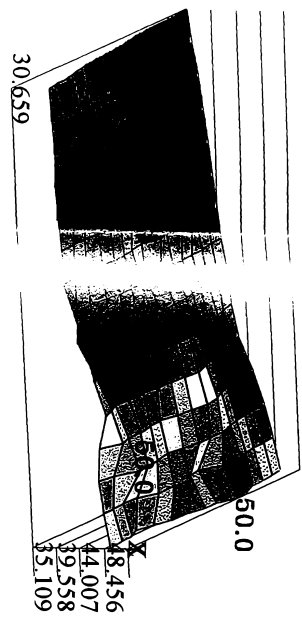
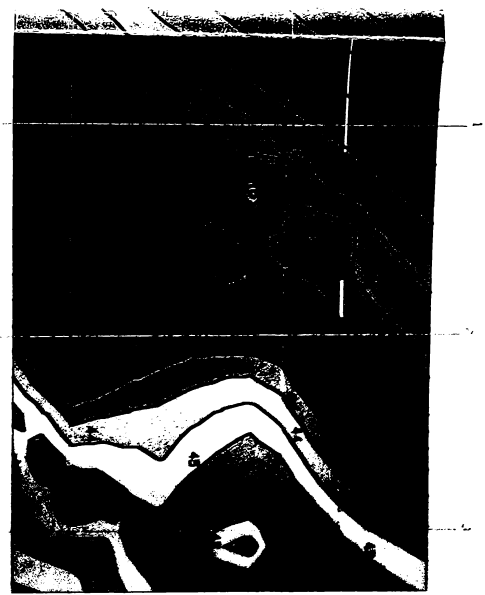
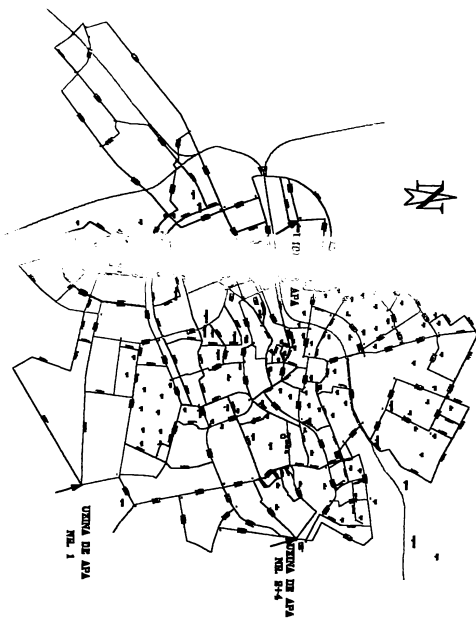


Fig. 3.12 Graficul piezometric (infasurătoare) și izobarele rețelei de distribuție din Municipiul TIMISOARA  
 cazul teoretic, conducte din otel, fonta, azbociment; rugozitatea absolută  $k=1,95 \text{ mm}$



Infasuratorii naltimilor piezometrice



Curbele izobare ale retelei de distributie

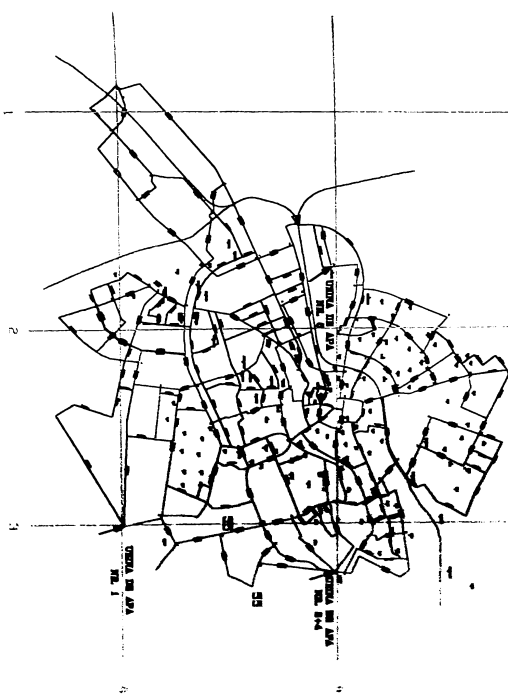


Fig. 3.13a Graficul piezometric (infasuratoare) si izobarele retelei de distributie din Municipiul TIMISOARA  
conectate noi din polietilena de inalta densitate si presiune joasa in retea

1/1

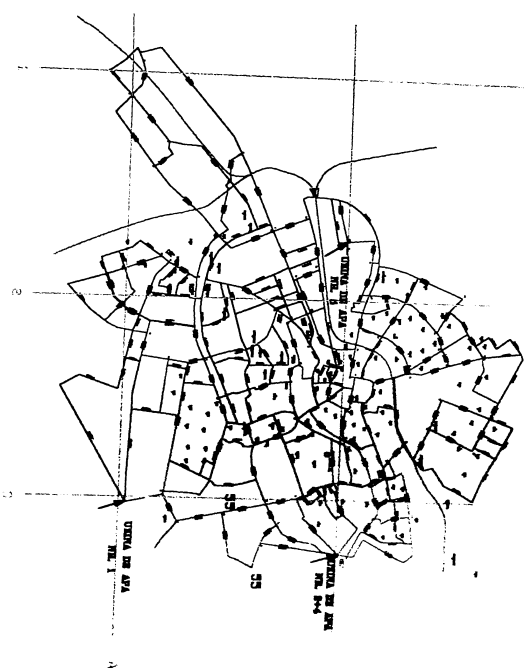
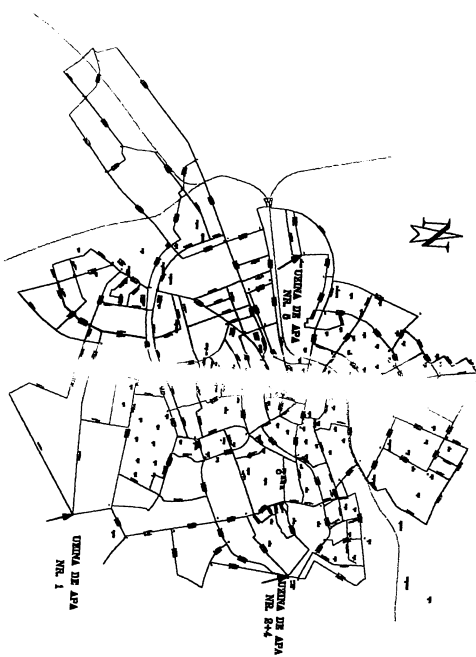
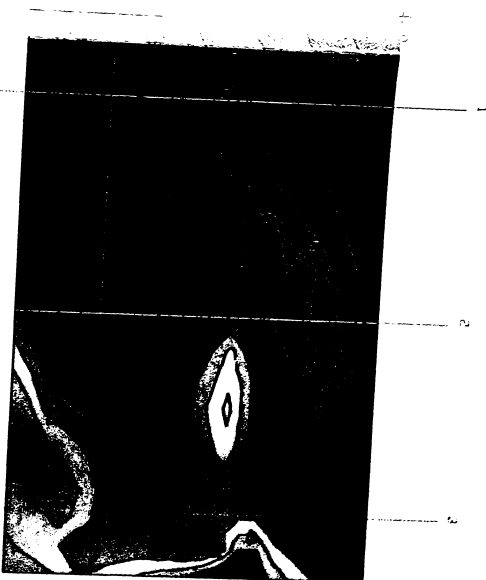
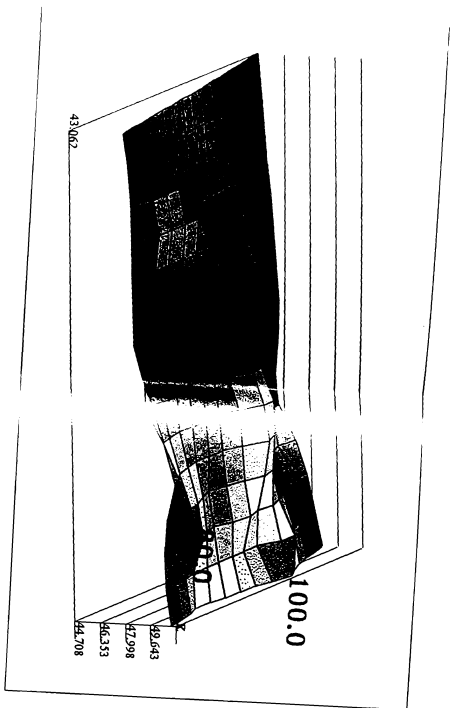


Fig. 3.13b Graficul piezometric (infasuratoarea) si izobarele retelei de distributie din Municipiul TIMISOARA condute noi din polietilena de inalta densitate si presiune inalta in retea

Tabelul 3.10

Debitele, presiunile și randamentele cu frecvența cea mai mare de apariție, pentru stațiile de pompare treapta a-II-a

Nr. Uzina	Debite pompate SP II [l/s]			Presiuni refulare SP II [mH <sub>2</sub> O]			Randamente SP II [%]		
	medii anuale	medii iarnă	medii vară	medii anuale	medii iarnă	medii vară	medii anuale	medii iarnă	medii vară
Uzina nr. 1	408,25	376,92	420,48	39,50	38,50	39,90	63,41	62,74	64,78
Uzina nr. 2	2521,46	2441,54	2548,38	48,10	48,30	49,30	69,64	69,86	71,55
Uzina nr. 4	1456,46	1494,47	1433,60	48,00	48,40	49,20	69,61	69,86	70,38
Uzina nr. 5	415,38	414,72	414,67	26,75	27,60	26,75	38,58	39,58	39,55

În cazul real (C), rugozitatea este de 21 mm și s-a obținut un consum specific de energie pentru distribuția apei, de 0,03496 kWh/m<sup>3</sup>. Aceasta înseamnă un consum mediu de 13211,38 Kwh, adică 12,66% din consumul energetic total al sistemului de alimentare cu apă.

Notând  $E_{dr}$  energia consumată în rețeaua de distribuție a orașului,  $E_{d1}$  energia consumată în rețea raportată la energia consumată în stațiile de pompare treapta a-II-a și cu  $E_{d2}$  energia consumată în rețea raportată la consumul mediu de energie de la uzinele de apă, în tabelele 3.11; 3.12 și 3.13 sunt prezentate valorile obținute în cele 3 perioade de timp (an, iarnă, vară).

Tabelul 3.11

MEDII ANUALE -  $E_{cons.SP II} = 70.52 \text{ Mwh} (67.58\% \text{ din Energia totală consumată în uzine})$

	$\Sigma h_p$ [mH <sub>2</sub> O]	$w_{sd}$ [kwh/m <sup>3</sup> ]	$H_{dPO}$ [mH <sub>2</sub> O]	$E_{d1}$		$E_{d2}$ [%]	$c_1$		$c_2$	
				[Kwh]	[%]		[Kwh]	[%]	[Kwh]	[%]
A	96.804	0.02121	37.319	8015	11.3	7.68	2290	22	5196	39
B	130.560	0.02727	31.630	10305	14.6	9.87				
C	221.875	0.03496	17.621	13211	18.7	12.6				

Tabelul 3.12

MEDII IARNA -  $E_{cons.SP II} = 70.08 \text{ Mwh} (67.16\% \text{ din Energia totală consumată în uzine})$

	$\Sigma h_p$ [mH <sub>2</sub> O]	$w_{sd}$ [kwh/m <sup>3</sup> ]	$H_{dPO}$ [mH <sub>2</sub> O]	$E_{d1}$		$E_{d2}$ [%]	$c_1$		$c_2$	
				[Kwh]	[%]		[Kwh]	[%]	[Kwh]	[%]
A	95.291	0.02212	38.809	8308	11.8	7.96	1251	13	4383	34
B	125.892	0.02545	32.993	9559	13.6	9.16				
C	217.314	0.03379	19.210	12691	18.1	12.6				

Tabelul 3.13

MEDII VARA -  $E_{cons.SP II} = 70.85 \text{ Mwh} (67.90\% \text{ din Energia totală consumată în uzine})$

	$\Sigma h_p$ [mH <sub>2</sub> O]	$w_{sd}$ [kwh/m <sup>3</sup> ]	$H_{dPO}$ [mH <sub>2</sub> O]	$E_{dr}$ [Kwh]	$E_{d1}$ [%]	$E_{d2}$ [%]	$c_1$		$c_2$	
							[Kwh]	[%]	[Kwh]	[%]
A	102.333	0.02175	36.943	8256	11.6	7.91	2513	23	5364	39
B	134.485	0.02837	31.225	10769	15.1	10.3				
C	226.603	0.03588	17.123	13620	19.2	13.0				

*Legendă:*

- $\Sigma h_p$ -suma pierderilor totale de presiune din rețeaua de distribuție, în  $mH_2O$ ;  
 $w_{sd}$ -consumul specific de energie pentru distribuția apei, în  $kWh/m^3$ ;  
 $H_{d PO}$  -presiunea disponibilă în punctul obligat, în  $mH_2O$ ;  
 $E_{dr}$  -energia consumată în rețea, în MWh;  
 $E_{d1}$  -energia consumată în rețea, raportată la energia consumată în SP, în %;  
 $E_{d2}$  -energia consumată în rețea, raportată la energia totală consumată, în %;  
 $c_1$  -consum suplimentar aferent creșterii rugozității absolute la valoarea 1,95mm (determinată teoretic cu relațiile lui Kamerstein:  $k = k_0 + \varpi t$ ), față de cazul utilizării conductelor noi din polietilenă (PE), adică, cazul B față de cazul A, în Kwh; în procente consumul suplimentar este raportat la consumul energetic pentru rugozitatea de 1,95 mm;  
 $c_2$  -consum suplimentar aferent creșterii rugozității la valoarea 21mm, determinată prin măsurători față de cazul utilizării conductelor noi din polietilenă (PE), adică, cazul C față de A, în Kwh; în procente consumul suplimentar este raportat la consumul energetic pentru rugozitatea de 21 mm;  
A -conducte din polietilenă (PE) cu rugozitatea absolută  $k=0,007mm$  (conducte noi);  
B -cazul determinat teoretic cu rugozitatea absolută  $k=1,95mm$  ( $\varpi=0,07mm/an$ );  
C -cazul existent determinat prin măsurători, cu rugozitatea absolută  $k=21mm$  ( $\varpi=0,832mm/an$ ).

Se observă că în cazul utilizării conductelor noi din polietilenă, pierderile totale de presiune din rețeaua de distribuție se reduc cu 55,79%, sau altfel spus, pierderile de presiune din rețea, în cazul existent sunt cu 125,25% mai mari decât în cazul soluției propuse.

Lungimea totală a conductelor din rețeaua de distribuție a municipiului Timișoara este de 540,6 km care include și conductele de serviciu. Rețeaua este prevăzută cu un inel median din conducte de 1000 mm și 800 mm, pe o lungime de 14,5 km.

Repartiția pe diametre este următoarea:

- 8,670 km conducte cu diametrul de 1000 mm;
- 16,785 km conducte cu diametrul de 800 mm;
- 22,395 km conducte cu diametrul de 600 mm;
- 10,620 km conducte cu diametrul de 500 mm;
- 30,485 km conducte cu diametrul de 400 mm;
- 5,230 km conducte cu diametrul de 350 mm;
- 17,305 km conducte cu diametrul de 300 mm;
- 8,420 km conducte cu diametrul de 250 mm;
- 6,770 km conducte cu diametrul de 200 mm;
- 6,390 km conducte cu diametrul de 150 mm;

restul lungimilor rețelei, sunt cu diametrele mai mici: 125, 100 și 80 mm.

Prețurile unitare ale conductelor din polietilenă sunt:

- conducte cu diametrul de 1000 mm 456,07 DM;
- conducte cu diametrul de 900 mm 370,00 DM;
- conducte cu diametrul de 800 mm 291,88 DM;
- conducte cu diametrul de 710 mm 230,26 DM;
- conducte cu diametrul de 630 mm 181,51 DM;
- conducte cu diametrul de 560 mm 139,30 DM;
- conducte cu diametrul de 500 mm 114,40 DM;
- conducte cu diametrul de 450 mm 92,60 DM;
- conducte cu diametrul de 400 mm 69,94 DM;
- conducte cu diametrul de 355 mm 55,12 DM;
- conducte cu diametrul de 315 mm 43,42 DM;
- conducte cu diametrul de 250 mm 27,56 DM;
- conducte cu diametrul de 200 mm 17,66 DM;
- conducte cu diametrul de 160 mm 11,31 DM;
- conducte cu diametrul de 110 mm 5,41 DM;



- conducte cu diametrul de 90 mm	3,61 DM;
care pentru cursul valutar în prețurile zilei (4200 lei/1DM) înseamnă:	
- conducte cu diametrul de 1000 mm	1.915.494 lei;
- conducte cu diametrul de 900 mm	1.554.000 lei;
- conducte cu diametrul de 800 mm	1.225.896 lei;
- conducte cu diametrul de 710 mm	967.092 lei;
- conducte cu diametrul de 630 mm	762.342 lei;
- conducte cu diametrul de 560 mm	585.060 lei;
- conducte cu diametrul de 500 mm	480.480 lei;
- conducte cu diametrul de 450 mm	388.920 lei;
- conducte cu diametrul de 400 mm	293.748 lei;
- conducte cu diametrul de 355 mm	231.504 lei;
- conducte cu diametrul de 315 mm	182.364 lei;
- conducte cu diametrul de 250 mm	115.752 lei;
- conducte cu diametrul de 200 mm	74.172 lei;
- conducte cu diametrul de 160 mm	47.502 lei;
- conducte cu diametrul de 110 mm	22.722 lei;
- conducte cu diametrul de 90 mm	15.162 lei;

Rezultă o valoare totală pentru material de 19.930.713 DM, adică 83.708.milioane lei la care adăugând valoarea manoperei și a utilajelor și coeficienții din încheierea de deviz ce se aplică în calculul economic specific domeniului construcțiilor în totalitatea lui, se obține o valoare totală de investiție pentru soluția propusă de 43.050.340 DM, adică 180.811 milioane lei.

Consumul specific de energie pentru distribuția apei ( $w_{sd}$ ) pentru cazul existent este de 0,03496 kWh/m<sup>3</sup> și 0,02121 kWh/m<sup>3</sup> pentru soluția propusă (în tabelul 3.19, cazul C și A); presiunea disponibilă în punctul obligat ( $H_d PO$ ) pentru cazul existent este de 17,621 mH<sub>2</sub>O, iar în cazul utilizării polietilenei de înaltă densitate este 37,319 mH<sub>2</sub>O (în tabelul 3.19, cazul C și A), deci se pot diminua presiunile la surse pentru satisfacerea presiunii necesare în punctul obligat  $H_{nec PO} = 20$  mH<sub>2</sub>O; din tabelul 3.17 se pot determina volumele de apă pompate.

Astfel, soluția propusă, înlocuirea întregii rețele de alimentare cu apă potabilă cu conducte din polietilenă de înaltă densitate, aduce o economie de energie de 5,364 MWh ceea ce înseamnă o valoare de 17.165 DM, adică 72.093.000 lei/zi. Astfel investiția se va amortiza în 6,87 ani.

Înlocuirea conductelor pe etape, presupune înlocuirea la început a conductelor cu diametre mari, 1000 mm și 800 mm, ce însumează 25,455 km, adică 4,7% din întreaga lungime a rețelei, deoarece pierderile de presiune în aceste conducte sunt de 60,5 mH<sub>2</sub>O, adică 27%. Această primă etapă de înlocuire a conductelor magistrale cu polietilenă de înaltă densitate, ca valoare material înseamnă 8.853.333 DM, iar ca valoare de execuție înseamnă 19.123.197DM aproximativ 80.317 milioane lei (44,42% din valoarea totală a investiției), deci o perioadă de amortizare de 3,05 ani.

Gradul ridicat de uzură a conductelor din rețeaua de distribuție (peste 270 km din rețea au o vechime de peste 50 ani), duce la necesitatea înlocuirii conductelor deci se impune și un calcul economic comparativ între conductele de polietilenă și cele din oțel. La conductele cu diametrele mai mici de 500 mm, prețul unitar pe metru liniar de conductă este mai mare la conductele de oțel; la conductele cu diametrele mai mari de 500 mm, prețul unitar este mai mare la conductele de polietilenă, ajungând la diametre de 1000 mm să fie dublu.

Prețurile unitare în octombrie 1997 ale conductelor din oțel produse de Petrotub S.A. Roman (țevi oțel OLT 35 STAS 404-diametre între 87x3,5 mm și 377x10 mm) și de Zimtub S.A. Zimnicea (țevă sudată elicoidal - diametre între 406,4x10,3 mm și 1016x11,1 mm) sunt :

- conducte cu diametrul de 1016x11,1 mm	975.309 lei;
- conducte cu diametrul de 813x11,1 mm	798.561 lei;
- conducte cu diametrul de 610x11,1 mm	615.130 lei;
- conducte cu diametrul de 508x11,1 mm	520.941 lei;
- conducte cu diametrul de 406,4x10,3 mm	389.575 lei;

- conducte cu diametrul de 377x10 mm	378.825 lei;
- conducte cu diametrul de 324x8 mm	317.339 lei;
- conducte cu diametrul de 278x8 mm	262.401 lei;
- conducte cu diametrul de 219x5 mm	205.141 lei;
- conducte cu diametrul de 168x5 mm	169.300 lei;
- conducte cu diametrul de 133x5 mm	112.364 lei;
- conducte cu diametrul de 114x5 mm	80.752 lei;
- conducte cu diametrul de 87x3,5 mm	48.172 lei;

Efectuând calculul economic, pentru cazul în care întreaga rețea de distribuție ar fi realizată din conducte de oțel noi, se obține valoarea materialului de 85.573 milioane lei, iar valoarea totală de investiție (material, manoperă, utilaj și coeficienții din încheierea de deviz) de 197.673 milioane lei, cu o perioadă de amortizare de 10,69 ani.

Deși valoarea de investiție este sensibil egală, acest rezultat este încă un argument în plus pentru utilizarea conductelor din polietilenă datorită multiplelor avantaje pe care le prezintă polietilena în comparație cu oțelul și pentru că perioada de amortizare este mai mare deoarece pierderile de presiune din rețea sunt mai mari în cazul conductelor din oțel decât în cazul utilizării conductelor din polietilenă.

Realizarea unei rețele de distribuție din conducte de polietilenă prezintă pe lângă multiplele avantaje amintite anterior posibilitatea utilizării presiunilor mari în rețea.

Astfel, în urma calculelor efectuate, pentru conducte noi din polietilenă și o presiune la surse de 10 bari, se constată reducerea pierderilor de presiune în rețea față de cazul existent cu 74,5% și cu 42% față de cazul conductelor noi din polietilenă cu presiunea la surse de 5 bari. Consumul specific de energie pentru distribuția apei, este în acest caz de 0,00621 kWh/m<sup>3</sup>. Aceasta înseamnă un consum mediu de 2346,76 Kwh, adică doar 2,25% din consumul energetic total al sistemului de alimentare cu apă. De asemenea, în cazul utilizării presiunilor mari în rețeaua de distribuție nu mai este necesară amplasarea stațiilor de hidrofor pe vatra localității și în subsolurile clădirilor cu mai mult de 5 nivele deoarece sunt asigurate presiunile necesare în toate nodurile rețelei (anexa nr.7). Branșamentele trebuie a fi prevăzute în acest caz cu regulatoare de presiune. Echiparea completă și eficientă a branșamentelor este prezentată în fig.3.14.

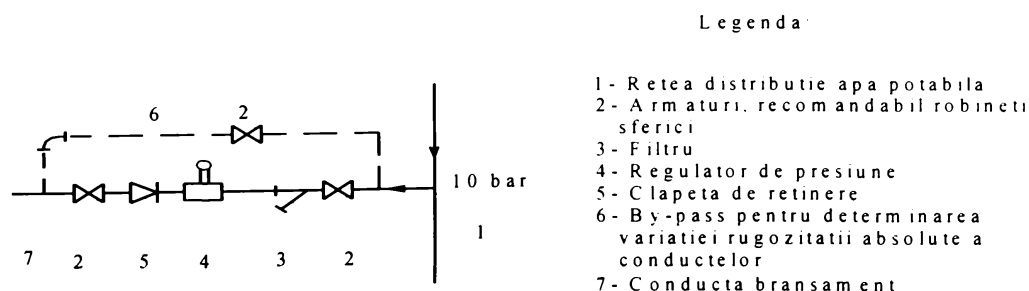


Fig. 3.14- Componenta branșament

Soluția înlocuirii rețelelor de distribuție cu conducte noi din polietilenă este argumentată de durata mare de exploatare a rețelei existente, rugozitatea absolută a conductelor mai mare decât cea teoretică. Rețeaua nouă de distribuție din polietilenă va permite utilizarea presiunilor mari în rețea (10 bar la surse) ceea ce înseamnă reducerea pierderilor de presiune din rețea de la 221,95 mH<sub>2</sub>O la 56,80 mH<sub>2</sub>O, dar și posibilitatea renunțării la utilizarea stațiilor de hidrofor pe zone și în subsolurile clădirilor P+9.

Până la înlocuirea completă a conductelor din oțel din rețeaua de distribuție cu conducte noi din polietilenă, ce exclud formarea ruginii și a nămolurilor interioare din țevi, branșamentele

consumatorilor importanți (puncte termice, centrale termice, etc.) vor trebui să aibă în componență filtre (figura 3.14).

### 3.5 Determinarea comparativă a sarcinii de pompare și a repartiției debitelor și presiunilor într-o rețea simplă prin aplicarea programelor FOXPRO AC1, FOXPRO AC3 și FOXPRO AN2

Pentru rețeaua de alimentare cu apă cu configurația din figura 3.15, ce distribuie un debit de  $0,41 \text{ m}^3/\text{s}$ , având cunoscute: lungimile  $L_{ij}$ , în m și diametrele  $D_{ij}$ , în mm, ale tronsoanelor; debitele industriale consumate concentrat în noduri  $q_j$ , în  $\text{m}^3/\text{s}$ ; înălțimile geodezice în noduri  $ZT_j$ , în m; înălțimea piezometrică a nodului obligat  $Z_j = 124 \text{ mH}_2\text{O}$ ; exponentul  $\beta = 1,936$ , se pune problema determinării sarcinii de pompare și a regimului debitelor și al presiunilor, aplicând atât procedeul uzual Lobacev cât și modelele de analiză ciclică și nodală în formulare variațională. Rezultatele obținute se prezintă în mod detaliat în anexele nr. 8, 9 și 10.

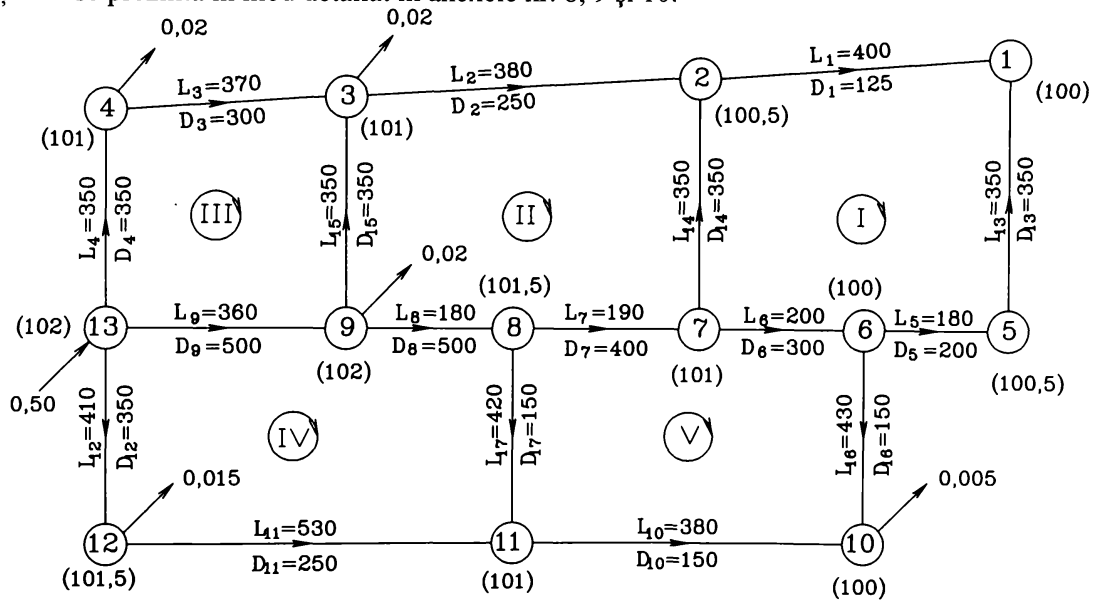


Fig. 3.15 Schema rețelei inelare ( $M=5$ ,  $N=13$ ,  $T=17$ ) de distribuție

În tabelul 3.14 se redau debitele și pierderile de presiune pe tronsoane stabilite cu ajutorul programelor FOXPRO AC1, FOXPRO AC3 și FOXPRO AN2, constatându-se că valorile obținute sunt foarte apropiate între ele. Astfel, diferența între debitele determinate cu procedeul LOBACEV și modelul FOXPRO AC3 variază de la 0,08 % (tronsonul 3-2) la 1,8 % (tronsonul 8-7), iar față de debitele calculate cu modelul FOXPROAN2 variază de la 0 % (tronsonul 9-3) la 2,7 % (tronsonul 9-8).

În tabelul 3.15 sunt înscrise valorile înălțimilor piezometrice  $Z_j$  și a presiunilor disponibile  $H_j$  în noduri, determinate cu modelele de calcul menționate.

Pentru înălțimea piezometrică necesară în nodul 13 de alimentare se obțin respectiv valorile: 131,402 m; 131,455 m și 131,363 m, puțin diferite între ele, ce asigură în acest nod o presiune disponibilă corespunzătoare de: 29,402 m; 29,455 m; 29,363 m, suficientă pentru alimentarea cu apă a consumatorilor. Se constată că neînchiderea liniei de presiune pe conturul rețelei este la

folosirea procedurii LOBACEV de 0,122 m, iar la aplicarea modelului FOXPRO AC3 de 0,109 m, față de numai 0,001 m la aplicarea modelului FOXPRO AN2.

Tabelul 3.14

Trons. i - j	Modelul de analiză					
	LOBACEV		FOXPRO AC3		FOXPRO AN2	
	Q[m <sup>3</sup> /s]	h [m]	Q[m <sup>3</sup> /s]	h [m]	Q[m <sup>3</sup> /s]	h [m]
0	3	4	5	6	9	10
2-1	0,01209	3,949	0,01219	4,007	0,01204	3,915
3-2	0,03608	0,890	0,03616	0,894	0,03605	0,889
4-3	0,06917	1,203	0,06902	1,198	0,06916	1,203
13-4	0,11373	1,359	0,11358	1,356	0,11371	1,356
6-5	0,03771	1,443	0,03761	1,437	0,03776	1,447
7-6	0,08199	0,906	0,08174	0,900	0,08206	0,907
8-7	0,13520	0,521	0,13496	0,519	0,13531	0,521
9-8	0,17547	0,262	0,17542	0,261	0,18034	0,276
13-9	0,25299	1,067	0,25317	1,069	0,25266	1,065
11-10	0,01597	2,518	0,01613	2,568	0,01610	2,558
12-11	0,04802	2,160	0,04799	2,158	0,04806	2,163
13-12	0,09508	1,123	0,09505	1,123	0,09501	1,122
5-1	0,01656	3,127	0,01647	3,094	0,01661	3,147
7-2	0,02626	1,588	0,02628	1,590	0,02625	1,587
9-3	0,02579	1,495	0,02602	1,521	0,02579	1,495
6-10	0,01666	3,092	0,01649	3,034	0,01661	3,075
8-11	0,01332	1,958	0,01351	2,014	0,01327	1,945

Tabelul 3.15

Nod j	Modelul de analiză					
	LOBACEV		FOXPRO AC3		FOXPRO AN2	
	Z <sub>j</sub> [m]	H <sub>j</sub> [m]	Z <sub>j</sub> [m]	H <sub>j</sub> [m]	Z <sub>j</sub> [m]	H <sub>j</sub> [m]
0	3	4	5	6	9	10
1	124,000	24,000	124,000	24,000	124,000	24,000
2	127,949	27,449	128,007	27,507	127,915	27,415
3	128,839	27,839	128,901	27,901	128,804	27,804
4	130,042	29,042	130,099	29,099	130,007	29,007
5	127,127	26,627	127,094	26,594	127,147	26,647
6	128,571	28,571	128,530	28,530	128,594	28,594
7	129,537	28,537	129,597	28,597	129,502	28,502
8	130,058	28,558	130,116	28,616	130,023	28,523
9	130,335	28,335	130,386	28,386	130,299	28,299
10	125,478	25,478	125,497	25,497	125,520	25,520
11	128,118	27,118	128,175	27,175	128,078	27,078
12	130,278	28,778	130,332	28,832	130,241	28,741
13	131,402	29,402	131,455	29,455	131,363	29,363

## 4. MODELE DE OPTIMIZARE A DIMENSIONĂRII REȚELELOR COMPLEXE DE DISTRIBUȚIE A APEI

### 4.1 Generalități

Studiul rețelelor inelare de distribuție a apei a ridicat întotdeauna probleme dificile în fața specialiștilor, atât prin formularea modelului matematic cât 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, adoptând 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.

Dimensionarea rețelelor înseamnă stabilirea diametrelor tronsoanelor de conductă, determinarea pierderilor de presiune pe tronsoane, asigurarea debitului și presiunii de utilizare la toate punctele de consum. Calculul de dimensionare se face pornind de la debitul de calcul de pe fiecare tronson, indiferent dacă rețeaua este ramificată, inelară sau mixtă.

a) Pentru determinarea **debitului de calcul** pentru **rețelele ramificate** se procedează astfel:  
 - se determină debitul specific pe zona de aceeași densitate a populației și cu același regim de construcție cu una din cele trei relații, în funcție de criteriul (lungimea rețelei, suprafața totală din zona cu rețea sau numărul de locuitori din zonă) pe care îl considerăm reprezentativ pentru cazul studiat:

$$q_s = \frac{Q_{\text{orar max im}}}{\sum L}, \text{ în l/s km} \quad (4.1)$$

$$q_s = \frac{Q_{\text{orar max im}}}{\sum S}, \text{ în l/s ha} \quad (4.2)$$

$$q_s = \frac{Q_{\text{orar max im}}}{\sum N}, \text{ în l/s loc} \quad (4.3)$$

în care:  $Q_{\text{orar max im}}$  este debitul orar maxim repartizat, exclusiv debitele concentrate, în l/s;  $\sum L$  este lungimea rețelelor din zonă, în km;  $\sum S$  este suprafața totală clădită din zonă;  $\sum N$  totalul locuitorilor din zonă.

- se calculează debitul aferent  $Q_{a, ij}$ , în l/s, a fiecărui tronson  $ij$  cu una din relațiile (4.4), (4.5) sau (4.6), în concordanță cu determinarea debitului specific respectiv cu relațiile (4.1), (4.2) sau (4.3):

$$Q_{a, ij} = q_s L_{ij} \quad (4.4) \quad Q_{a, ij} = q_s S_{ij} \quad (4.5) \quad Q_{a, ij} = q_s N_{ij} \quad (4.6)$$

unde:  $L_{ij}$ ,  $S_{ij}$ ,  $N_{ij}$  reprezintă lungimea tronsonului de conductă, suprafața corespunzătoare tronsonului, respectiv numărul de locuitori deserviți de tronsonul de conductă.

Se face în mod obligatoriu verificarea:

$$\sum Q_a = Q_{\text{orar maxim}} \quad (4.7)$$

- se stabilesc debitele de calcul, în funcție de debitele aferente ( $Q_a$ ), debitele concentrate ( $Q_c$ ) și de incendiul interior ( $Q_i$ ) cu relația:

$$Q_{cij} = \frac{Q_{ajj}}{2} + \left( \sum Q_a \right)_{\text{avalij}} + \sum (Q_{ci} + Q_{ij}) \quad (4.8)$$

Dimensionarea conductelor, se face pe traseul cel mai defavorabil din punct de vedere hidraulic (cel mai încărcat, cel mai de sus și cel mai departe de sursă) pe principiul vitezei economice, iar celelalte trasee se dimensionează ținând cont de echilibrarea hidraulică, adică se pot accepta diferențe de  $\pm 5\%$ . Unde nu este posibil a se face echilibrarea din diametre, pe traseul cu presiunea necesară mai mică se amplasează robinete de reglare sau diafragme.

b) În cazul **rețelelor de distribuție în sistem inelar** se procedează la fel ca și în cazul rețelelor ramificate, dar în prealabil se stabilește un sens de curgere al apei pe tronsoane. Acest lucru se realizează astfel încât fiecare nod să fie alimentat pe traseul cel mai scurt și de un singur tronson. Aceasta presupune transformarea rețelei inelare într-o rețea ramificată prin secțiuni fictive. Numărul de secțiuni fictive  $s_f$  se determină în funcție de numărul de inele  $M$  și de numărul de surse  $S$  cu relația (4.9); debitele în noduri se determină cu relația (4.10) ca semisuma debitelor aferente tronsoanelor ce concură în nodul  $i$ , iar verificarea este obligatorie aplicându-se relația (4.11):

$$s_f = M + (S-1) \quad (4.9); \quad Q_i = \sum \frac{Q_{aik}}{2} \quad (4.10); \quad \sum Q_i = Q_{\text{orar maxim}} \quad (4.11).$$

Când în rețea sunt debite concentrate  $Q_{ci}$  în noduri, relațiile de calcul și de verificare devin:

$$Q_i = \sum \frac{Q_{aik}}{2} + Q_{ci} \quad (4.12); \quad \sum Q_i = \sum \frac{Q_{aik}}{2} + \sum Q_{ci} = Q_{\text{orar maxim}} \quad (4.13).$$

Verificarea modului de determinare a debitelor de calcul se face pe baza ecuațiilor de bilanț în noduri (2.3), adică suma debitelor de calcul ce intră în nod trebuie să fie egală cu suma debitelor ce ies din nod plus debitul nodului respectiv. În acest caz nu se mai ține seama de secțiunile fictive necesare numai la stabilirea debitelor de calcul inițiale. Pentru determinarea diametrelor conductelor se ține seama de debitele de calcul inițiale și de vitezele economice, parcurgându-se apoi etapele de dimensionare fie prin metoda ciclurilor fie prin metoda nodurilor, prezentate detaliat în capitolul 3.2, respectiv capitolul 3.3.

Legătura funcțională între rețeaua de distribuție și stațiile de pompare este un factor determinant în dimensionarea rețelelor complexe de distribuție a apei potabile, la intersecția caracteristicilor de exploatare a rețelelor de distribuție (caracteristicilor externe) cu cele ale pompelor din stațiile de pompare treapta a-II-a (caracteristicile interne) rezultând punctele de funcționare ale sistemului (parametrii  $Q$  și  $H$ ). Pot fi astfel selectate regimurile cu frecvența maximă pentru a fi asociate punctelor de funcționare cu randament maxim ale grupurilor de pompe.

Din varietatea largă a cazurilor de asamblare funcțională a unui sistem de distribuție, redus la elementele sale esențiale din punct de vedere energetic (rețea - stație de pompare), în figura 4.1 este reprezentat cazul unei rețele inelare alimentată de două stații de pompare, caracteristic și municipiului Timișoara la minim consum. Se remarcă linia de cumpănă CD prin care rețeaua inelară este împărțită în două zone asociate fiecărei stații. Se subliniază diferențierea a două trasee critice aferente definind pierderile totale în semirețelele respective. Acoperirea părții din rețea depinde în bună măsură de caracteristicile stațiilor de pompare, care pot fi mult diferite. În acest caz putem scrie:

$$H_c + z_c = H_{pa} + z_{pa} - Q_a^2 \left( S_a + \sum S_i \alpha_i^2 \right) = H_{pb} + z_{pb} - Q_b^2 \left( S_b + \sum S_k \alpha_k^2 \right) \quad (4.14)$$

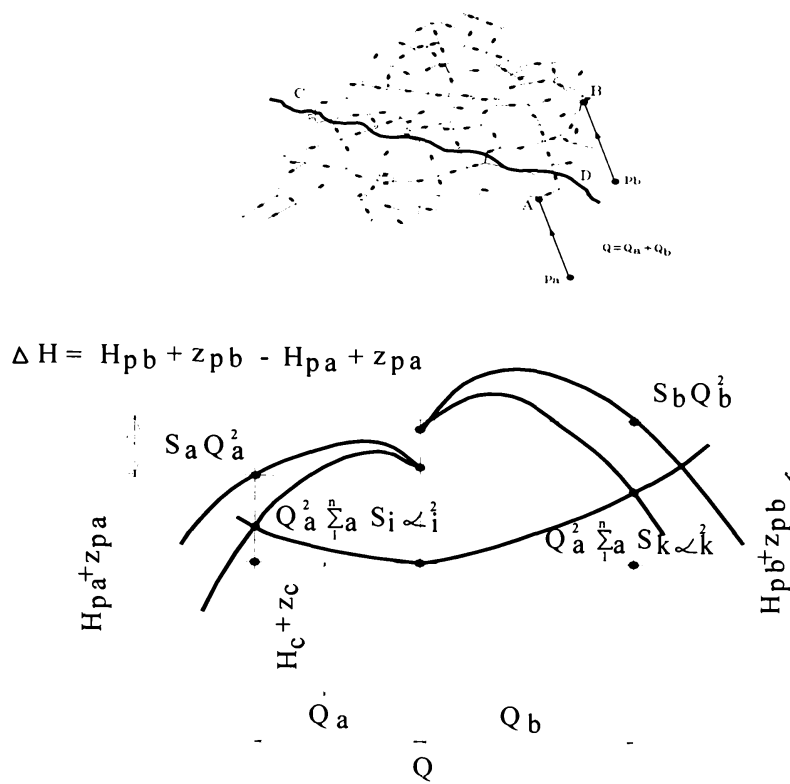


Fig.4.1 Rețea inelară alimentată cu două stații de pompare

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 îndemâna 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.

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 optime și-a găsit ecou atât în țară cât mai ales în străinătate, elaborându-se diverse modele analitice sau numerice în acest scop [1], [12], [13], [33], [38], [39], [57], [80], [131], [130], [133], [147]. Având în vedere aceste considerente, se prezintă modelul de optimizare Moșnin [1], [2], [38], [83] adaptat pentru dimensionarea rețelelor inelare alimentate de la mai multe stații de pompare în regim de curgere turbulent tranzitoriu precum și un model de dimensionare optimală a rețelelor de distribuție [38], [39], [131], [129] cu un grad de generalitate și performanțe sporite, bazat pe metoda programării matematice liniare. După cum s-a prezentat în paragraful 2.3, s-au elaborat 2 programe de calcul ce utilizează cele 2 metode de dimensionare, FOXPRO D1 și FOXPRO D2.

## 4.2 Modelul de optimizare Moșnin (MOM). Programul FOXPRO D1

### 4.2.1 Modelul matematic

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 face posibilă dimensionarea optimală a rețelelor inelare alimentate de la una sau mai multe stații de pompare, în regim turbulent tranzitoriu sau pătratic de curgere a apei în conducte, prin minimizarea unui criteriu de optimizare exprimat de o funcție obiectiv complexă.

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  $D_{ij}$ .

Se utilizează funcția obiectiv complexă multicriterială de forma generală:

$$F_c = \xi_1 \sum_{ij=1}^T (a + b D_{ij}^\alpha) L_{ij} + \psi \sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} (\sum h_{ij} + H_o)_j \quad (4.15)$$

unde se folosesc notațiile:

$$r_a = \frac{(1 + \beta_o)^t - 1}{\beta_o (1 + \beta_o)^t} \quad (4.16)$$

$$\xi_1 = r_a p_1 + \frac{t}{T_r}; \quad \xi_2 = r_a p_2 + \frac{t}{T_r} \quad (4.17)$$

$$\psi = \frac{9,81}{\eta} (f \sigma \xi_2 + 730 r_a e \tau \sum_1^{12} \Phi_k) \quad (4.18)$$

în care:  $T$  este numărul tronsoanelor de conducte din rețea;  $a, b, \alpha$  – parametrii de cost [131];  $D_{ij}, L_{ij}$  - diametrul și lungimea tronsonului  $ij$ ;  $\eta$  este randamentul global al instalației de pompare;  $f$  - costul de instalare a unității de putere;  $\sigma$  - factor supraunitar ce ține seama de rezerva de putere instalată;  $Q_{p,j}$  - debitul pompat în rețea prin stația  $j$ ;  $\sum h_{ij}$  - suma pierderilor de presiune pe un traseu defavorabil (cel mai încărcat, cel mai de sus și cel mai departe de sursă), plecând de la stația de pompare spre punctul obligat;  $H_o$  - componenta geodezică (distanța pe verticală de la sursă la punctul de consum) și de utilizare a înălțimii de pompare;  $e$  - tariful energiei electrice;  $\tau = T_p/8760$  - coeficientul pompării, ce ține seama de numărul efectiv de ore  $T_p$  de pompare pe perioada unui an;  $\Phi_k$  - raportul între debitul lunar mediu și debitul pompat;  $p_1$  și  $p_2$  - cotele de reparații, întreținere și revizii periodice pentru conductele rețelei, respectiv pentru stația de pompare;  $\beta_o = 1/T_r$  - cota de amortizare pentru durata de exploatare  $T_r$ ;  $t$  - durata pentru care se aplică criteriul de optimizare exprimat prin funcția obiectiv, având valoarea 1 sau  $T_r$ ;  $NP$  - numărul stațiilor de pompare

Din relația funcțională de forma generală (2.18) se exprimă diametrul  $D_{ij}$  în funcție de pierderea de presiune  $h_{ij}$  și se introduce în funcția obiectiv (4.1), rezultând:

$$F_c = \xi_1 \sum_{ij=1}^T [a + b (\frac{k}{h_{ij}})^{\frac{\alpha}{r}} (Q_{ij}^\beta L_{ij})^{\frac{\alpha}{r}}] L_{ij} + \psi \sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} (\sum h_{ij} + H_o)_j \quad (4.19)$$

în care  $k$  este dat de relația (2.20).

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  $h_{ij}$ :

$$\frac{\partial F_c}{\partial h_{ij}} = -\frac{\alpha}{r} \xi_1 b k^{\frac{\alpha}{r}} \frac{s_{ij}}{h_{ij}^{1+\frac{\alpha}{r}}} + \psi Q_p \quad (4.20)$$

în care modulul de rezistență  $s_{ij}$  și debitul pompat în rețea  $Q_p$  se determină cu relațiile:



$$s_{ij} = (Q_{ij}^\beta L_{ij})^{\frac{\alpha}{r}} L_{ij}; \quad Q_p = \sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} \quad (4.21)$$

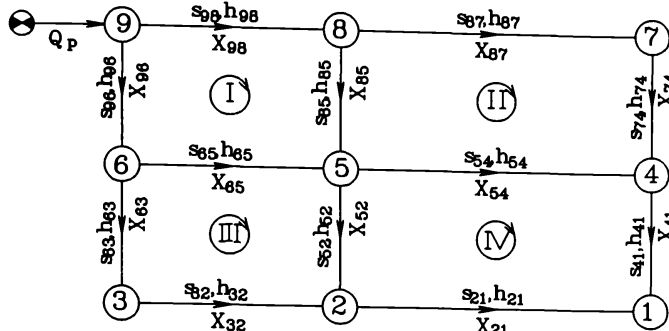


Fig.4.2 Schemă rețea

La efectuarea derivatelor parțiale trebuie să se țină seama de condițiile hidraulice pentru o rețea înelară. 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 sim-

plă ( $NP = 1$ ) din figura 4.2 cu  $M = 4$  inele,  $N = 9$  noduri și  $T = 12$  tronsoane, rezultă că trebuie alese 4 variabile dependente ale pierderilor de presiune.

Astfel, considerând ca variabile dependente, pierderile de presiune  $h_{96}$ ,  $h_{85}$ ,  $h_{63}$ ,  $h_{52}$  se scriu următoarele ecuații de bilanț energetic:

$$\begin{aligned} h_{96} &= h_{98} + h_{87} + h_{74} - h_{65} - h_{54} \\ h_{85} &= h_{87} + h_{74} - h_{54} \\ h_{63} &= h_{65} + h_{54} + h_{41} - h_{32} - h_{21} \\ h_{52} &= h_{54} + h_{41} - h_{21} \end{aligned} \quad (4.22)$$

În acest fel funcția obiectiv se poate explicita sub forma:

$$F_c = \xi_1 T a + \xi_1 b k^{\frac{\alpha}{r}} \left[ \frac{S_{98}}{h_{98}^{\frac{\alpha}{r}}} + \frac{S_{96}}{(h_{98} + h_{87} + h_{74} - h_{65} - h_{54})^{\frac{\alpha}{r}}} + \frac{S_{65}}{h_{65}^{\frac{\alpha}{r}}} + \dots \right] + \psi Q_p (\sum h_{ij} + H_0) \quad (4.23)$$

Dacă se anulează derivata parțială în raport cu  $h_{21}$  și se fac notațiile:

$$E = \frac{r \psi k}{\xi_1 b \alpha} \quad (4.24) \quad A = \frac{\psi}{\xi_1 b^{\frac{\alpha}{r}} k^{\frac{\alpha}{r}}} = \frac{E}{k^{1+\frac{\alpha}{r}}} \quad (4.25)$$

se obține:

$$\frac{S_{98}}{h_{98}^{1+\frac{\alpha}{r}}} + \frac{S_{96}}{(h_{98} + h_{87} + h_{74} - h_{65} - h_{54})^{1+\frac{\alpha}{r}}} = A Q_p \quad (4.26)$$

Prin considerarea unei noi variabile  $X_{ij}$  denumită debit fictiv:

$$X_{ij} = \frac{s_{ij}}{h_{ij}^{1+\frac{\alpha}{r}}} \frac{1}{A Q_p} \quad (4.27)$$

relația (4.26) devine:

$$X_{98} + X_{96} = 1 \quad (4.28)$$

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  $N - NP = 8$  sunt independente:

$$\begin{aligned} X_{98} + X_{96} &= 1 & X_{65} + X_{63} &= X_{96} & X_{63} &= X_{32} \\ X_{25} + X_{87} &= X_{98} & X_{65} + X_{85} &= X_{52} + X_{54} & X_{32} + X_{52} &= X_{21} \\ X_{87} &= X_{74} & X_{54} + X_{74} &= X_{41} & X_{21} + X_{41} &= 1 \end{aligned} \quad (4.29)$$

Celelalte  $M = 4$  relații, pentru variabilele dependente, se scriu exprimând pierderile de presiune  $h_{ij}$  în funcție de debitele fictive  $X_{ij}$  din relația (4.27) după înlocuirea primei relații (4.21):

$$h_{ij} = \frac{(Q_{ij}^\beta L_{ij})^{\frac{\alpha}{r}} L_{ij}^{\frac{r}{\alpha+r}}}{X_{ij}^{\frac{r}{\alpha+r}} (A Q_p)^{\frac{r}{\alpha+r}}} = \frac{h f_{ij}}{(A Q_p)^{\frac{r}{\alpha+r}}} \quad (4.30)$$

Dacă se folosește prin analogie cu pierderile de presiune reale notația  $h_{ij}$ , reprezentând pierderea de presiune fictivă, ea va avea expresia:

$$h f_{ij} = Q_{ij}^{\frac{\beta \alpha}{\alpha+r}} L_{ij}^{\frac{r}{\alpha+r}} = S f_{ij} X_{ij}^{\frac{r}{\alpha+r}} \quad (4.31)$$

în care prin  $S f_{ij}$  s-a notat modulul fictiv de rezistență, definit de relația:

$$S f_{ij} = L_{ij} Q_{ij}^{\frac{\beta \alpha}{\alpha+r}} \quad (4.32)$$

Cu pierderile de presiune 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  $Q_{pj}/Q_p$  ( $j = 1, 2, \dots, NP$ ).

Debitele fictive se echilibrează prin aproximații succesive cu ajutorul corecțiilor inelare  $\Delta X_m$  calculate pentru fiecare inel  $m$ .

Se scrie condiția de echilibrare:

$$f(\Delta X_m) = \sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^T S f_{ij} (X_{ij} + \Delta X_m)^{\frac{r}{\alpha+r}} = 0 \quad (4.33)$$

din care pentru simplificare se rețin numai primii doi termeni ai seriei Mac-Laurin:

$$f(\Delta X_m) = f(0) + \Delta X_m f'(0) \quad (4.34)$$

Făcând derivata funcției (4.33) și particularizând-o pentru  $\Delta X_m = 0$ , rezultă:

$$f'(0) = -\frac{r}{\alpha+r} \sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^T S f_{ij} X_{ij}^{\frac{r}{\alpha+r}}, \quad (4.35)$$

cu care din relația (4.34) se obține modelul matematic:

$$\Delta X_m = \frac{\alpha+r}{r} \frac{\sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^T S f_{ij} X_{ij}^{\frac{r}{\alpha+r}}}{\sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^T S f_{ij} X_{ij}^{\frac{2r+\alpha}{\alpha+r}}} \quad (m = 1, \dots, M) \quad (4.36)$$

Pentru valorile particulare  $\alpha=1,8$  și  $r=5,33$ , forma practică utilizabilă pentru corecția de debit fictiv este:

$$\Delta X_m = \frac{4}{3} \frac{\sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^T S f_{ij} X_{ij}^{-0,75}}{\sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^T S f_{ij} X_{ij}^{-1,75}} \quad (4.37)$$

iar modulul fictiv de rezistență devine:

$$S f_{ij} = L_{ij} \sqrt{Q_{ij}} \quad (4.38)$$

Debitele fictive corectate se determină cu relația (4.39) sau (4.40), după cum conducta considerată este singulară sau comună la inelele  $m$  și  $k$ :

$$Q_{ij} = Q_{ij}^{(0)} + \Delta Q_m \quad (4.39) \quad Q_{ij} = Q_{ij}^{(0)} + \Delta Q_m - \Delta Q_k \quad (4.40)$$

în care:  $Q_{ij}^{(0)}$  este debitul în conducta  $ij$  la aproximația precedentă;  $\Delta Q_m, \Delta Q_k$  - corecția de debit ce se aplică în inelul  $m$  și respectiv  $k$ .

Modulul fictiv  $Sf_{ij}$ , debitele fictive  $X_{ij}$ , divergențele fictive pe inele  $\sum Sf_{ij} X_{ij}^{-0,75}$  și corecțiile de debit  $\Delta X_m$  sunt mărimi orientate.

Explicitând debitele fictive  $X_{ij}$ , prin introducerea în relația (4.27) a relațiilor (2.32), (4.21), (4.25) se deduce relația generală de optimizare a diametrelor:

$$D_{ij} = E^{\frac{1}{\alpha+r}} (X_{ij} Q_p)^{\frac{1}{\alpha+r}} Q_{ij}^{\frac{\beta}{\alpha+r}} \quad (4.41)$$

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.

Introducând  $X_{ij}=1$  în relația (4.41) se obține relația particulară pentru dimensionarea optimă a conductelor rețelelor ramificate.

Modelul de optimizare Moșnin s-a implementat în cadrul programului complex **FOXPRO D1** în limbaj **VISUAL FOX PRO 3.0 PROFESSIONAL**, care permite dimensionarea optimă 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. Acest model de calcul este aplicabil și pentru dimensionarea optimă a extinderii unor rețele existente.

#### 4.2.2 Programul FOXPRO D1

##### Domeniul de aplicabilitate:

- 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 turbulenței tranzitorii sau pătratică;
- consumul 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 (1.- consum orar maxim, 2.- consum orar redus cu  $n$  incendii exterioare, 3.- consum orar cu  $n-1$  incendii exterioare și unul interior, 4.- tranzit maxim).

Programul poate fi aplicat atât pentru extinderea optimă a unei rețele existente cât și pentru dimensionarea optimă a unei noi rețele, în situația în care trebuie determinată înălțimea (înălțimile) de pompare, precum și atunci când aceasta (acestea) este cunoscută.

##### Date de intrare:

- date generale;
- parametrii economico-energetici;
- 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);
- înălțimile piezometrice în punctele de alimentare, când acestea se aleg apriori; matricea inelelor și matricea arborilor principali (pentru rețele inelare);
- matricea traseelor (pentru rețele ramificate).

**Rezultate furnizate:**

- 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 diaframelor de reglaj (pentru rețele din ansambluri de clădiri);
- valoarea criteriilor de optimizare;
- consumul specific de energie pentru distribuția apei în rețea.

**4.3 Modelul de optimizare liniară (MOL). Programul FOXPRO D2**

**4.3.1 Modelul matematic**

Modelul de optimizare liniară reprezintă un model perfecționat de dimensionarea optimală a rețelelor de distribuție noi sau a extinderii unei rețele de distribuție, ce funcționează prin pompare sau gravitațional. Se bazează pe metoda programării liniare și permite alegerea de diametre diferite pe același tronson, determinând astfel mai multe sectoare  $s_{ij}$  pe fiecare tronson. Pentru determinarea unei repartii optime a diametrelor standardizate pe lungimea fiecărui tronson al rețelei și a lungimii sectoarelor de tronsoane corespunzătoare acestor diametre, se iau în considerare diferitele regimuri de funcționare caracteristice în exploatare și consumul continuu uniform distribuit.

Este un *model de optimizare liniară* ce are ca și cunoscute: topologia rețelei; debitele introduse în rețea, corespunzătoare fiecărei zone de consum și ipoteza de funcționare; parametrii energetico-economici și hidraulici; înălțimea geodezică, presiunile de serviciu și debitele concentrate pentru fiecare nod de consum; înălțimile nivelului apei în bazinele de aspirație, în cazul că instalațiile de punere sub presiune sunt stații de pompare; înălțimile piezometrice la instalațiile de punere sub presiune, când se aleg apriori.

Această metodă se bazează pe principiul de dimensionare al vitezelor economice  $V_{min}$  și  $V_{max}$ . Se obțin astfel, pentru fiecare tronson  $ij$ , intervale de diametre 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  $D_{min,ij}$ .

$D_{max,ij}$  și  $D_{min,ij}$  se calculează cu relația de optimizare (4.42) în cazul rețelelor alimentate prin pompare, sau cu relația (4.43) pentru rețelele alimentate gravitațional:

$$D_{\max(\min),ij} = E_{\max(\min)}^{\alpha+r} Q_p^{\alpha+r} Q_{ij}^{\frac{\beta}{\alpha+r}} \tag{4.42}$$

$$D_{\max(\min),ij} = \sqrt{\frac{4 Q_{ij}}{\pi V_{\min(\max),ij}}} \tag{4.43}$$

în care:  $Q_{ij}$  este debitul de calcul al tronsonului  $ij$ ;  $Q_p = \sum Q_{pj}$  - debitul pompat în rețea.

Se determină debitele de tranzit pe tronsoane  $Q_{ij}$ , a căror repartie în cazul rețelelor inelare se optimizează pe baza criteriului lucrului mecanic de transport minim [38], [39], [129], [131].

Se consideră că un tronson  $ij$ , de lungime  $L_{ij}$ , al unei rețele alcătuite din  $T$  tronsoane, funcționând prin pompare, poate fi format din  $s_{ij}$  sectoare  $k$ , de diametre  $D_{k,ij}$  și lungime  $X_{k,ij}$

Ca și în cazul modelului de optimizare Moșnin, se pornește de la o funcție obiectiv complexă multicriterială, în care primul termen este legat de rețeaua de distribuție a apei potabile, iar al doilea termen de stațiile de pompare.

Astfel, ținând seama de notațiile:

$$c_{k,ij}^* = \xi_1 (a + b D_{k,ij}^\alpha) \tag{4.44} \quad Z_{IPP,j} = (\sum h_{ij} + H_o)_j \tag{4.45}$$

funcția obiectiv (4.15) primește forma:

$$F_c = \sum_{ij=1}^T \sum_{k=1}^{s_{ij}} c_{k,ij}^* X_{k,ij} + \psi \sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} Z_{IPP,j} \rightarrow \min \quad (4.46)$$

În cazul modelului de optimizare liniară, necunoscutele funcției obiectiv sunt variabilele  $X_{k,ij}$  și  $Z_{IPP,j}$

În cazul că instalația de punere sub presiune este unul sau mai multe rezervoare ( $\psi = 0$ ), expresia (4.46) a funcției de performanță devine:

$$F_c = \sum_{ij=1}^T \sum_{k=1}^{s_{ij}} c_{k,ij}^* X_{k,ij} \rightarrow \min, \quad (4.47)$$

minimizând energia înglobată sau costul de investiție al rețelei și având ca necunoscute variabilele  $X_{k,ij}$

În calculul de minimizare a funcției obiectiv  $F_c$  trebuie satisfăcute restricțiile:

- de tip constructiv (C) exprimând condiția ca pe fiecare tronson  $ij$ , suma lungimilor  $X_{ij}$  a sectoarelor  $s_{ij}$  să fie egală cu lungimea  $L_{ij}$  a tronsonului respectiv:

$$\sum_{k=1}^{s_{ij}} X_{k,ij} = L_{ij} \quad (ij = 1, \dots, T) \quad (4.48)$$

- de tip funcțional (F) exprimând condiția ca la punctele obligate să fie asigurată presiunea necesară  $HN_o$  (fig. 4.3):

$$Z_{IPP,j} - \sum_{ij=1}^{NT_j} \sum_{k=1}^{s_{ij}} \varepsilon_{ij} \Theta_{ij} J_{k,ij} X_{k,ij} \geq ZT_o + HN_o - \sum_{ij=1}^{NT_j} \left( \sum_{k=1}^{s_{ij}} \varepsilon_{ij} \Omega_{k,ij} J_{k,ij} + H_{p,ij} \right) \quad (4.49)$$

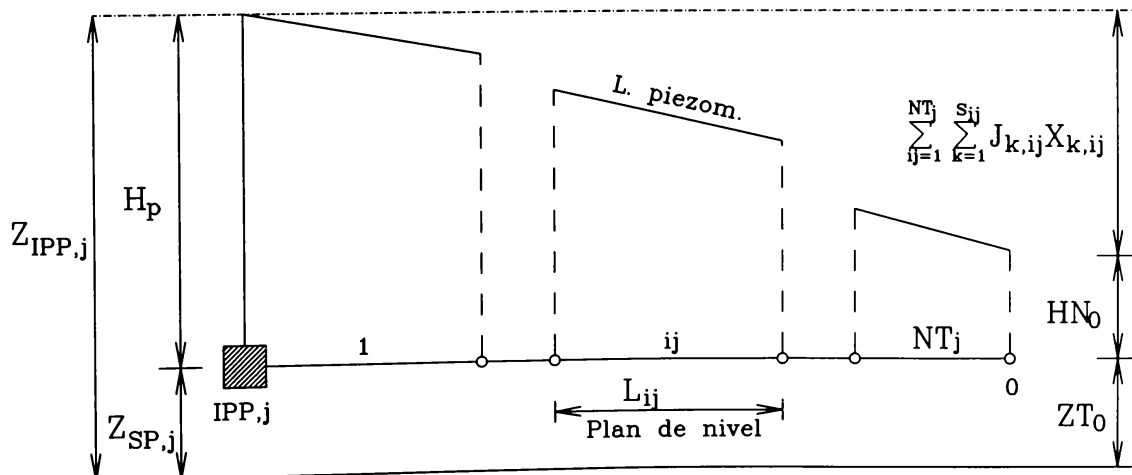


Fig. 4.3 Schema unui traseu IPPj - punctul obligat o

în care:  $NT_j$  este numărul de tronsoane pe traseul IPPj-o;  $ZT_o$  - înălțimea geodezică în punctul obligat o;  $Z_{IPP,j}$  - înălțimea piezometrică la instalația de punere sub presiune j;  $H_{p,ij}$  - presiunea introdusă de pompa intermediară amplasată pe tronsonul ij, având expresia (3.9).

- de tip hidraulic ( $H$ ) exprimând condiția de conservare a energiei pe fiecare inel  $m$ , caracteristică numai rețelelor inelare:

$$\sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^T \varepsilon_{ij} \Theta_{ij} J_{k,ij} X_{k,ij} = \sum_{\substack{ij \in m \\ m=1}}^T \varepsilon_{ij} \Omega_{k,ij} J_{k,ij} + f_m \quad (m = 1, \dots, M) \quad (4.50)$$

în care înălțimea piezometrică  $f_m$  se exprimă prin relațiile (2.5), (2.6), (2.7), iar orientarea tronsoanelor  $\varepsilon_{ij}$  este dată de relația (3.3).

Funcția obiectiv (4.46) sau (4.47) și restricțiile (4.48), (4.49), (4.50) fiind liniare în raport cu necunoscutele sistemului, soluția optimă se determină pe baza metodei programării liniare, utilizând algoritmul Simplex [39], [129], [131].

Într-o soluție optimă, pentru un tronson dat, de obicei cel mult două din variabilele  $X_{k,ij}$  vor fi diferite de zero, astfel încât soluția respectivă este realizabilă din punct de vedere tehnic, mai ales dacă lungimea tronsonului este însemnată.

Pe baza modelului de optimizare liniară s-a elaborat programul ordinator **FOXPRO D2** în limbaj **VISUAL FOX PRO 3.0 PROFESSIONAL**.

#### 4.3.2 Programul FOXPRO D2

##### **Domeniul de aplicabilitate:**

- rețele de distribuție de tip inelar, ramificat sau mixt alimentate prin pompare sau gravitațional de la una ori mai multe surse;
- sistemul poate conține 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 sau continuu uniform distribuit;
- valori nominale ale diametrelor corespunzătoare celor standardizate;
- conducta dintre două noduri consecutive se dimensionează cu unul sau mai multe diametre pe toată lungimea ei, putând avea și diametru cunoscut (impus);
- înălțimile piezometrice în nodurile de alimentare se determină prin procesul de optimizare sau sunt cunoscute apriori;
- posibilitatea considerării a mai multor ipoteze de funcționare (1.- consum orar maxim; 2.- tranzit maxim; 3.- consum orar redus cu  $n$  incendii exterioare; 4.- consum orar cu  $n-1$  incendii exterioare și un incendiu interior).

Programul poate fi aplicat atât pentru dimensionarea optimă a unei rețele noi cât și pentru extinderea optimă a unei rețele existente.

Programul de calcul permite determinarea unei repartiții 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 asigurându-se o mai uniformă distribuție a energiei de pompare.

##### **Date de intrare:**

- date generale;
- parametrii economico-energetici;
- 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;
- înălțimile piezometrice în nodurile de alimentare dacă sunt cunoscute apriori.

**Rezultate furnizate:**

- debitul total introdus în rețea;
- debitele de tranzit optimizate;
- repartiția 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;
- înălțimile piezometrice și presiunile disponibile în noduri pentru fiecare ipoteză de funcționare;
- valoarea funcțiilor de optimizare;
- consumul specific de energie pentru distribuția apei în rețea.

#### 4.4 Aplicații numerice

##### 4.4.1 Extinderea optimă a unei rețele existente

Se prezintă rezultatele calculelor de optimizare efectuate cu ajutorul programului FOXPRO D1 pentru extinderea optimă (fig.4.4), după criteriul WT, a unei rețele existente de forma celei din figura 3.15, ce distribuie un debit de  $0,618 \text{ m}^3/\text{s}$ , cunoscând înălțimea piezometrică a nodului obligat  $Z_6 = 127 \text{ mH}_2\text{O}$ . Datele esențiale referitoare la rețeaua existentă și diametrele optime ale conductelor noi ale rețelei extinse sunt redată în figura 4.4, iar rezultatele obținute în anexele 11 și 12.

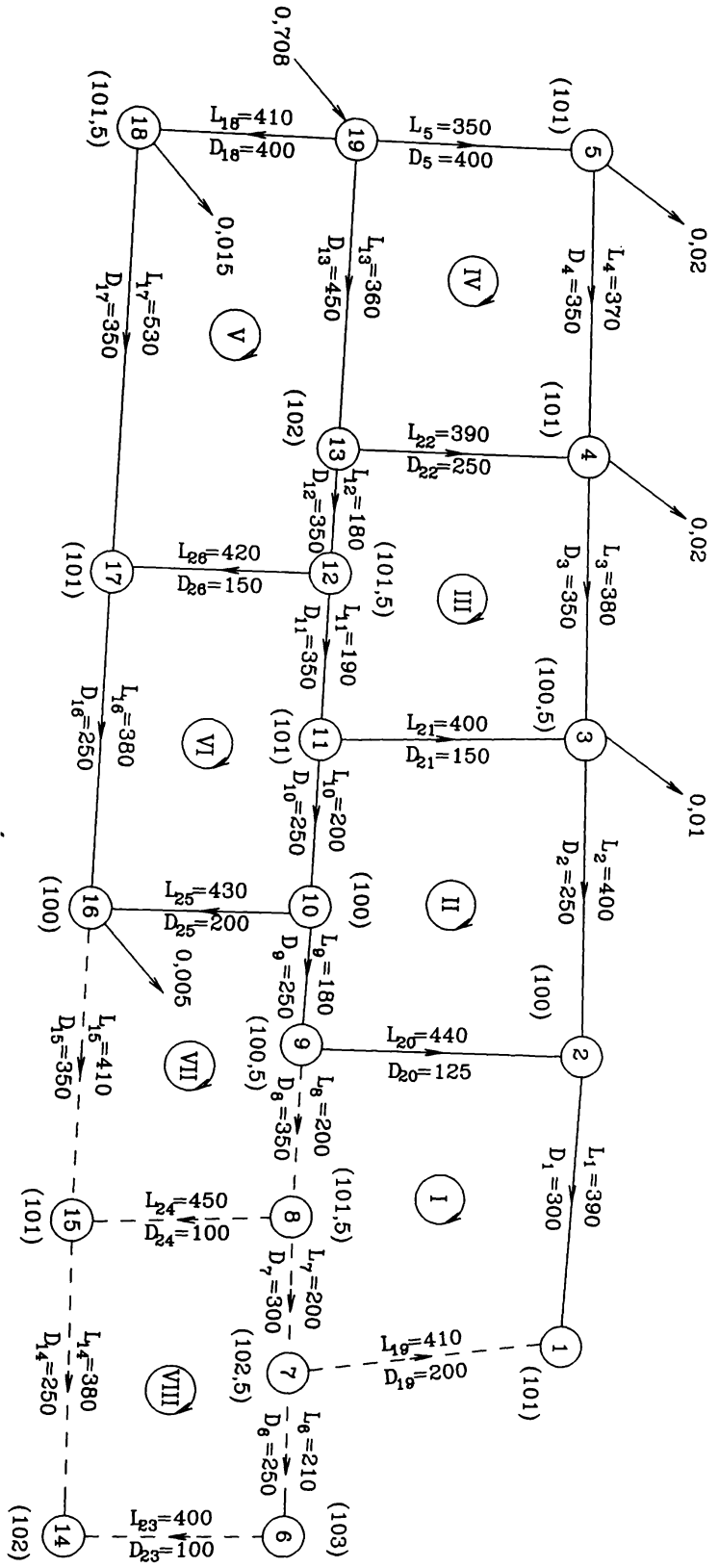
Pe traseul format din conductele cuprinse între punctul de alimentare 19 și nodul obligat 6, a rezultat graficul piezometric prezentat în figura 4.5.

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 4.5, 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, înălțimea optimă de pompare a crescut de la  $25,17 \text{ mH}_2\text{O}$  la  $38,48 \text{ mH}_2\text{O}$ , iar valoarea funcției obiectiv de la  $2545 \text{ mii kWh/an}$  la  $4461 \text{ mii kWh/an}$  (cu cca 43 %).

La redimensionarea rețelei complete a rezultat înălțimea optimă de pompare de  $28,78 \text{ mH}_2\text{O}$  pentru o valoare optimă a funcției obiectiv de  $4135 \text{ mii kWh/an}$ , 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 %).

(92=L, 61=N, 8=M) Fig. 10. Schema rețelei extinse (N=8, M=61, L=92)  
 --- Conductă existentă  
 - - - - - Conductă proiectată





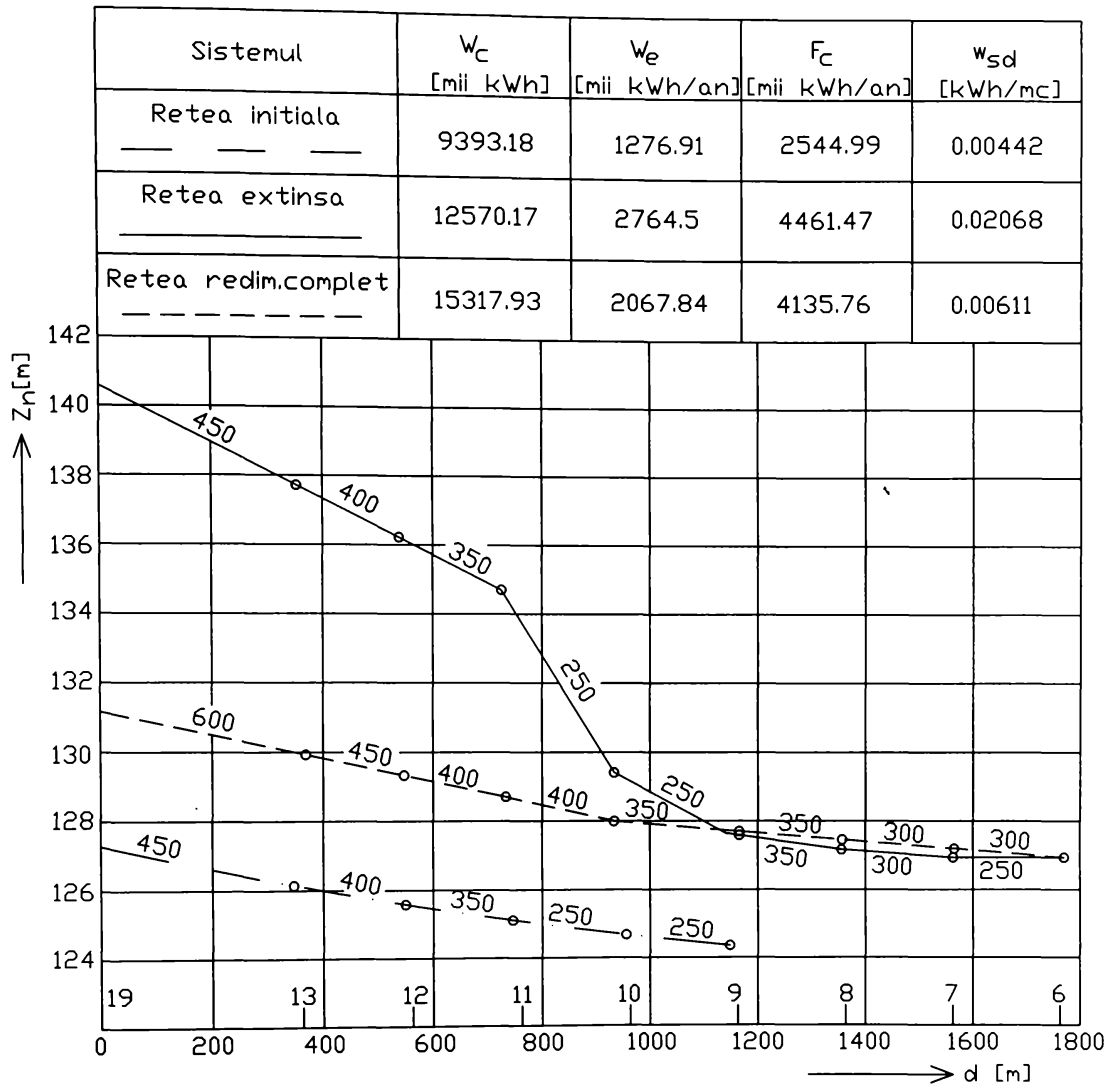


Fig. 4.5 Graficul piezometric pe traseul 19-13-12-11-10-9-8-7-6

**4.4.2 Studiu comparativ al dimensionării unei rețele inelare alimentată de la două stații de pompare prin aplicarea FOXPRO AC1(MVE) și FOXPRO D2 (MOL)**

Pentru rețeaua inelară cu topologia și caracteristicile din figura 4.6 s-a efectuat un studiu comparativ de dimensionare utilizând modelele de calcul MVE, adică programul FOXPRO AC1 și MOL adică programul FOXPRO D2, ultimul fiind aplicat atât în ipoteza consumului la noduri (MOL-N corespunzător programului FOXPRO D2-N), cât și a consumului continuu uniform distribuit (MOL-D corespunzător programului FOXPRO D2-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.

Rezultatele calculului de dimensionare, efectuat cu ajutorul programelor FOXPRO AC1 și FOXPRO D2, referitoare la caracteristicile hidraulice ale conductelor, se prezintă în tablele 4.1 și 4.2 și anexele nr. 13 și 14.

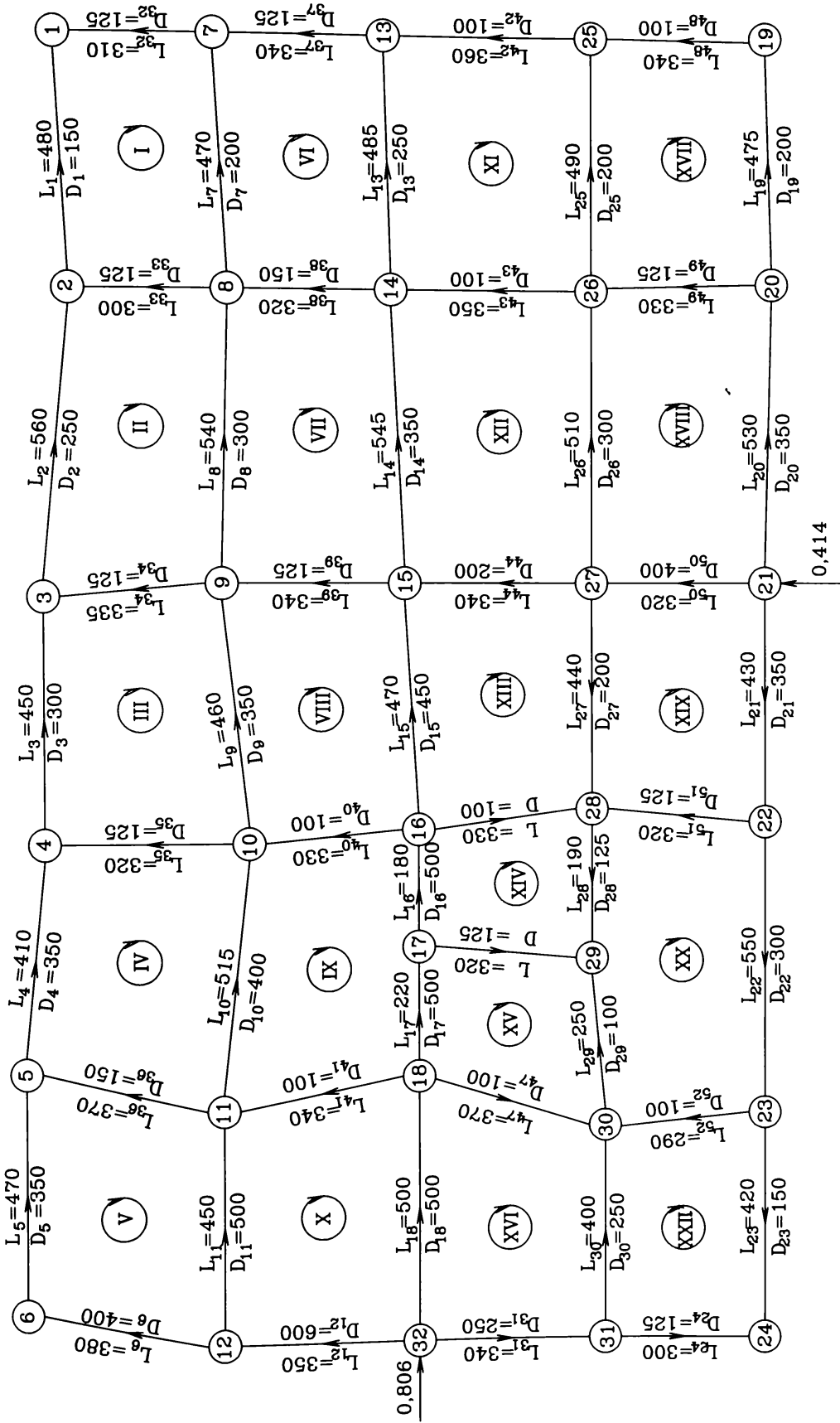


Fig. 4.6 Schema rețelei inelare (M=22, N=32, T=52) de distribuție

Tabelul 4.1  
Caracteristicile hidraulice ale conductelor determinate cu MVE (FOXPRO AC1)

Trons. i - j	L [m]	MVE (FOXPRO AC1)			
		Q <sub>ij</sub>	D <sub>ij</sub>	h <sub>ij</sub>	V <sub>ij</sub>
		[m <sup>3</sup> /s]	[mm]	[m]	[m/s]
0	1	2	3	4	5
2-1	480	0,01372	150	2,370	0,78
3-2	560	0,04476	250	1,992	0,91
4-3	450	0,07719	300	1,812	1,09
5-4	410	0,10431	350	1,345	1,08
6-5	470	0,12616	350	2,235	1,31
12-6	380	0,15178	400	1,306	1,21
8-7	470	0,02729	200	2,010	0,87
9-8	540	0,06848	300	1,722	0,97
10-9	460	0,11621	350	1,864	1,21
11-10	515	0,16874	400	2,177	1,34
12-11	450	0,23271	500	1,133	1,19
32-12	350	0,42005	600	1,097	1,49
14-13	485	0,04911	250	2,066	1,00
15-14	545	0,11293	350	2,088	1,17
16-15	470	0,14540	450	0,812	0,91
17-16	180	0,19425	500	0,319	0,99
18-17	220	0,22695	500	0,527	1,16
32-18	500	0,27757	500	1,777	1,41
20-19	475	0,03088	200	2,582	0,98
21-20	530	0,08192	350	1,087	0,85
22-21	430	-0,10602	350	-1,456	1,10
23-22	550	-0,05587	300	-1,183	0,79
24-23	420	-0,01337	150	-1,973	0,76
31-24	300	0,00833	125	1,440	0,68
26-25	490	0,03270	200	2,976	1,04
27-26	510	0,07723	300	2,056	1,09
28-27	440	-0,03105	200	-2,417	0,99
29-28	190	-0,00791	125	-0,825	0,64
30-29	250	0,00399	100	0,914	0,51
31-30	400	0,03376	250	0,824	0,69
32-31	340	0,07343	250	3,176	1,50
7-1	310	0,01009	125	2,154	0,82
8-2	300	0,00934	125	1,795	0,76
9-3	335	0,00811	125	1,526	0,66
10-4	320	0,00845	125	1,577	0,69
11-5	370	0,01582	150	2,408	0,90
13-7	340	0,01655	150	2,415	0,94
14-8	320	0,01728	150	2,470	0,98
15-9	345	0,01101	125	2,836	0,90
16-10	330	0,00489	100	1,784	0,62
18-11	340	0,00234	100	0,453	0,30
13-25	360	-0,00315	100	-0,842	0,40
14-26	350	-0,00470	100	-1,753	0,60
27-15	340	0,02977	200	1,721	0,95
16-28	330	0,00447	100	1,500	0,57
17-29	320	0,01101	125	2,632	0,90
18-30	370	0,00518	100	2,231	0,66
25-19	340	-0,00632	100	-3,009	0,81
26-20	330	-0,01080	125	-2,615	0,88
21-27	320	0,18657	400	1,646	1,49
28-22	320	-0,01097	125	-2,612	0,89
30-23	290	-0,00453	100	-1,353	0,58

Tabelul 4.2  
Caracteristicile hidraulice ale conductelor determinate cu modelele MOL - N (FOXPRO D2-N) și MOL - D (FOXPRO D2-D)

Trons. i - j	MOL-N (FOXPRO D2-N)						MOL-D (FOXPRO D2-N)					
	Q <sub>ij</sub> [m <sup>3</sup> /s]	k	X <sub>k,ij</sub> [m]	D <sub>k,ij</sub> [mm]	h <sub>k,ij</sub> [m]	V <sub>k,ij</sub> [m/s]	Q <sub>ij</sub> [m <sup>3</sup> /s]	k	X <sub>k,ij</sub> [m]	D <sub>k,ij</sub> [mm]	h <sub>k,ij</sub> [m]	V <sub>k,ij</sub> [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
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

*Modele de optimizare a dimensionării rețelelor complexe de distribuție a apei*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
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	340	450	-0,085	0,33		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
		2	440	350	0,223	0,41		2	262	350	0,106	0,40
29-29	0,06559	1	190	350	0,254	0,68	0,06957	1	190	350	0,221	0,72
		2	250	400	0,342	0,75		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
		2	310	250	0,033	0,14		2	310	250	0,037	0,14
7-1	0,00703	1	300	250	0,084	0,24	0,00683	1	300	250	0,086	0,23
		2	335	250	0,146	0,30		2	335	250	0,139	0,29
8-2	0,01178	1	320	300	0,089	0,27	0,01422	1	138	300	0,027	0,26
		2	320	300	0,089	0,27		2	182	250	0,103	0,37
10-4	0,01910	1	370	350	0,271	0,50	0,04820	1	370	350	0,244	0,50
		2	41	300	0,013	0,29		2	68	300	0,009	0,29
11-5	0,04796	1	299	250	0,245	0,42	0,02072	1	272	250	0,208	0,42
		2	133	350	0,043	0,32		2	237	350	0,063	0,32
13-7	0,02083	1	187	300	0,131	0,44	0,03094	1	83	300	0,031	0,44
		2	345	350	0,210	0,45		2	345	350	0,170	0,43
14-8	0,03120	1	46	450	0,010	0,30	0,04216	1	330	350	0,166	0,44
		2	284	350	0,205	0,50						
15-9	0,04350	1	340	350	0,416	0,65	0,06555	1	340	350	0,397	0,68
		2	302	350	-0,099	0,33		2	119	350	-0,028	0,32
16-10	0,04771	1	58	300	-0,041	0,44	-0,03117	1	241	300	-0,182	0,44
		2	302	350	-0,099	0,33						
18-11	0,06265	1	302	350	-0,099	0,33	-0,03117	1	119	350	-0,028	0,32
		2	58	300	-0,041	0,44		2	241	300	-0,182	0,44
13-25	-0,03134	1	302	350	-0,099	0,33	-0,03117	1	119	350	-0,028	0,32
		2	58	300	-0,041	0,44		2	241	300	-0,182	0,44

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14-26	-0,04940	1	350	350	-0,271	0,51	-0,04871	1	350	350	-0,294	0,51
27-15	0,08148	1	340	400	0,350	0,65	0,08158	1	340	400	0,299	0,65
16-28	-0,03515	1	330	350	-0,134	0,37	-0,02902	1	326	350	-0,102	0,30
								2	4	300	-0,001	0,41
17-29	-0,00595	1	320	200	-0,076	0,20	-0,00563	1	320	250	-0,027	0,20
18-30	0,01368	1	370	250	0,137	0,28	0,01501	1	370	250	0,174	0,31
25-19	-0,03009	1	340	300	-0,223	0,43	-0,02983	1	330	350	-0,343	0,57
21-27	0,17292	1	320	500	0,452	0,88	0,17347	1	320	500	0,363	0,88
28-22	-0,04767	1	320	450	-0,065	0,30	-0,03639	1	320	450	-0,041	0,23
30-23	0,00724	1	290	200	0,099	0,23	0,00746	1	290	200	0,127	0,24
Fopt			0,105823 E+06						0,105321 E+06			

Semnificația afectării de semnul (-) a debitelor și pierderilor de presiune pe unele tronsoane din tabelele 4.1 și 4.2 o reprezintă schimbarea sensului de curgere pe tronsoanele respective față de sensurile considerate inițial în figura 4.6.

În figura 4.7 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  $w_{sd}$ .

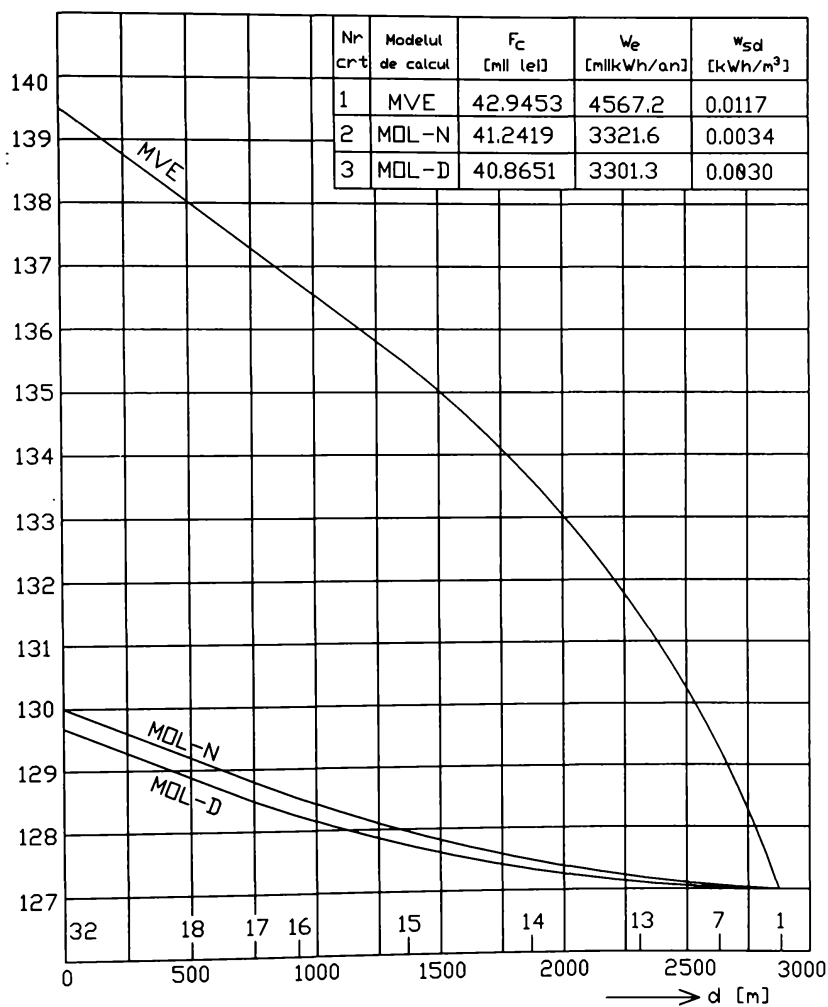


Fig. 4.7 Reprezentarea liniilor piezometrice pe traseul 32-18-17-16-15-14-13-7-1

În figura 4.8 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:

- față de diametrele obținute cu MVE (FOXPRO AC1) se înregistrează pe ansamblu o creștere a diametrelor conductelor la utilizarea modelului de optimizare MOL (FOXPRO D2), 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;

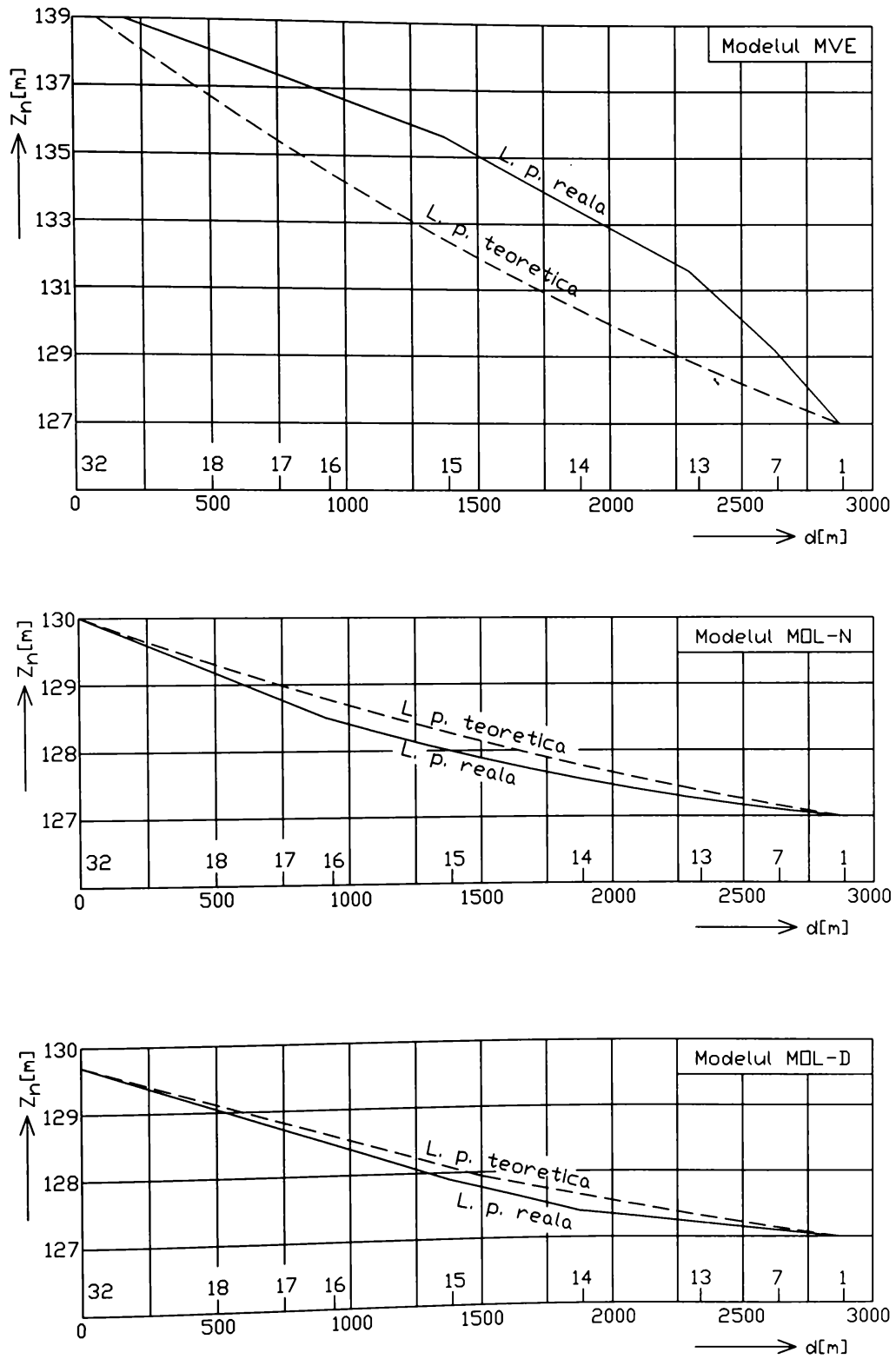


Fig. 4.8 Abaterea liniilor piezometrice reale față de linia optimă teoretică



- în comparație cu rezultatele obținute prin aplicarea MVE (FOXPRO AC1), rezultatele furnizate de modelul de optimizare sunt mai economice, obținându-se o micșorare substanțială a consumului specific de energie pentru distribuția apei (MOL-N - 70,9 %; MOL-D - 74,3 %), precum și reducerea a consumului energetic pentru pomparea apei (MOL-N - 27,2 %; MOL-D - 27,8 %), în condițiile în care și funcția obiectiv are valori mai mici (MOL-N - 4 %; MOL-D - 4,8 %);

- aplicarea MOL (FOXPRO D2) 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 kWh/m<sup>3</sup>;

- 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. OPTIMIZĂRI ALE STAȚIILOR DE POMPARE

### 5.1 Generalități

#### 5.1.1. Situația stațiilor de pompare.

Studiul optimizării funcționării pompelor în sistemele de distribuție ridică o serie de probleme legate de dimensionarea optimă a rețelei și alegerea optimă a pompelor, astfel încât să se asigure continuu atât debitele variabile necesare și presiunile variabile necesare (deci satisfacerea permanentă a tuturor beneficiarilor) cât și 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.

Analiza energetică a funcționării pompelor în rețea are ca parametri determinanți *energia specifică de pompare*  $w_p$ , care reprezintă energia consumată pentru pomparea unității de volum și se exprimă în kWh/m<sup>3</sup> cu relația (5.1) și *energia specifică a sistemului*  $w_s$ , care reprezintă consumul de energie specifică pentru o înălțime geodezică dată și se exprimă în kWh (m<sup>3</sup>·m), conform relației (5.2):

$$w_p = 0,00272 \frac{H_p}{\eta} \quad (5.1)$$

$$w_s = \frac{w_p}{H_g} = \frac{0,00272}{\eta \eta_r} \quad (5.2)$$

unde:

$$\eta_r = \frac{H_g}{H_p} \quad (5.3)$$

în care:  $H_p$  este înălțimea de pompare corespunzătoare punctului de funcționare, în m;  $H_g$  - înălțimea geodezică de pompare, în m;  $\eta$  - randamentul general al stației de pompare;  $\eta_r$  - randamentul hidraulic al rețelei.

Puterea absorbită  $P$ , în kW, la o anumită turație se calculează cu relația:

$$P = \frac{\gamma Q H_p}{1000 \eta} = 3600 w_p Q \quad (5.4)$$

în care:  $\gamma$  este greutatea specifică a apei, în N·m<sup>3</sup>;  $Q$  - debitul pompat, în m<sup>3</sup> s;  $w_p$  - energia specifică de pompare, în kWh/m<sup>3</sup>.

La multe stații de pompare din țară s-au adoptat, până acum, pompe de fabricație autohtonă la care raportul  $H_p/\eta$  nu corespunde valorii maxime a randamentului  $\eta_{\max}$  (fig. 5.1), ci unei valori mai mici, pe curba descendentă, adică:

$$\eta w_{pmin} \neq \frac{H_p}{\eta_{max}} \tag{5.5}$$

Dacă se consideră o pompă supradimensionată față de necesitățile rețelei, se ajunge la situația prezentată în figura 5.2.

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  $w_{po}$  corespunde punctul de funcționare O.

Din relația (5.2) se observă că energia specifică a sistemului  $w_s$  este invers proporțională cu randamentul total al sistemului:

$$\eta_t = \eta \eta_r \tag{5.6}$$

și direct proporțională cu energia specifică de pompare  $w_p$ .

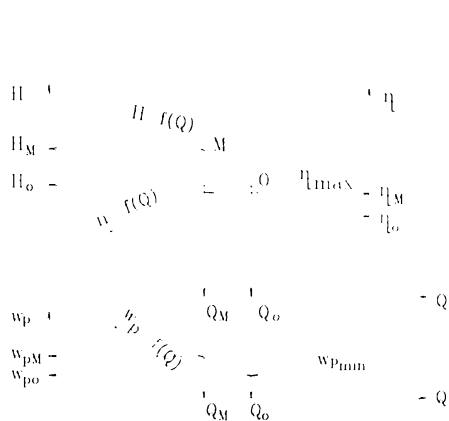


Fig.5.1 Curbe caracteristice ale unei pompe centrifuge

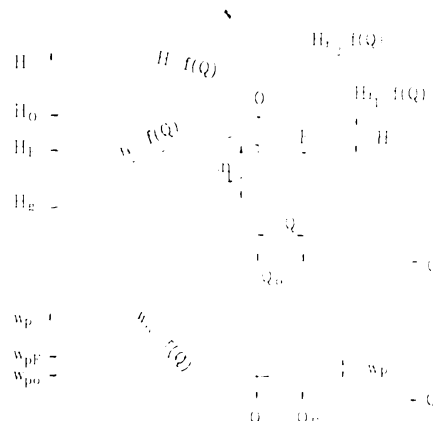


Fig.5.2 Punctul de funcționare-caracteristica internă a pompei și caracteristicile rețelei (caracteristica externă)

Ținând seama de numărul redus de tipodimensiuni de pompe avute la dispoziție în momentul proiectării stațiilor de pompare și de dezvoltarea ulterioară a zonelor deservite, pompele pentru asigurarea parametrilor funcționali ai instalației de pompare s-au ales 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 (figura 5.2). În acest scop, până în prezent, s-a utilizat procedeul de reglaj prin vana de refulare (paragraful 5.2.3). Reglarea debitului de apă prin vana de refulare a agregatelor de pompare prezintă inconveniențele:

- uzură accentuată la organele de obturare;
- risipă de energie;
- zgomote, vibrații și lovituri de berbec cu efecte nedorite în sistem;
- funcționare la regimuri mai puțin fiabile pentru pompe.

O soluție superioară acestei proceduri este, în anumite condiții, modificarea diametrului rotorului pompelor.

Funcționarea clasică a stațiilor de pompare de treapta a II-a se bazează pe graficul de variație orară a consumului de apă determinat statistic [68], [83], [138], iar reglarea parametrilor acestora se efectuează în trepte, prin cuplarea și decuplarea unui anumit număr de pompe cu montaj în paralel.

Cel mai modern și funcțional procedeu de variație a debitului îl constituie reglarea turației unei (unor) pompe din stația de pompare. Astfel se asigură inclusiv trecerea de la reglarea debitului în trepte, la reglarea continuă. Reglarea turației se realizează prin reglarea frecvenței curentului

electric de alimentare a motorului electric de antrenare; reglarea frecvenței se asigură cu ajutorul unui convertizor static de frecvență.

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 unei subdimensionări a sistemului, fie 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.

Funcția obiectiv pe baza căreia se determină soluția optimă de instalație de pompare a apei, reprezintă relația matematică dintre variabilele de decizie și criteriile de optimizare. Valorile funcției obiectiv și domeniile variabilelor de decizie se limitează printr-o serie de condiții secundare sau restricții, care constituie elemente importante și necesare ale modelelor de optimizare. Odată cu stabilirea criteriilor de optimizare se verifică dacă funcția obiectiv poate fi minimizată.

În cazul stațiilor de pompare a apei, funcțiile obiectiv pot fi funcții de cost total specific (anual) de investiție și exploatare sau funcții de energie specifică totală înglobată în elementele componente ale instalației și de energie specifică consumată pe durata exploatării instalației. Cele mai folosite sunt funcțiile obiectiv de cost total specific de investiție și exploatare al instalației de pompare a apei, iar mărimile supuse optimizării pot fi: consumul specific de energie pe metru cub de apă pompat (în kWh/mc); timpul (durata) de recuperare a cheltuielilor suplimentare de investiție, coeficientul de eficiență economică etc.

### 5.1.2. Analiza tehnico-economică comparativă a diferitelor variante de instalații de pompare a apei.

Pentru aceleași date inițiale de calcul, la proiectare, în faza de studiu tehnico-economic, pot fi concepute două sau mai multe variante de instalații de pompare a apei tot atât de valoroase din punct de vedere tehnic. Pentru a decide care dintre aceste variante este cea mai economică, se aplică metode de analiză tehnico-economică globală bazate în special pe funcții obiectiv de cost total specific de investiție și exploatare care trebuie să admită un minim pentru un anumit criteriu de optimizare, cel mai folosit fiind timpul (durata) de recuperare.

Prin timp (durata) de recuperare se înțelege timpul în care cheltuielile suplimentare de investiție, alocate pentru una din variante, în comparație cu alta, pot fi recuperate datorită economisirii cheltuielilor de exploatare. Urmare acestui fapt, timpul de recuperare mai este, de asemenea, denumit și **timp de egalizare a cheltuielilor**.

Pentru efectuarea calculului tehnico-economic trebuie să se determine în prealabil următoarele mărimi:

- timpul (durata) de recuperare  $t_{rec}$  a cheltuielilor suplimentare de investiție;

$$t_{rec} = \frac{I_i - I_b}{E_b - E_i} \quad (5.7)$$

- coeficientul de eficiență economică  $k_e$  care este o mărime inversă timpului de recuperare;

$$k_e = \frac{1}{t_{rec}} \quad (5.8)$$

- costurile (cheltuielile) totale specifice de calcul  $f_i$  :

$$f_i = k_{norm} I_i + E_i \quad (5.9)$$

- economia convențională anuală  $e_a$  :

$$e_a = f_b - f_i \quad (5.10)$$

În relațiile de mai sus s-au folosit următoarele notații:

$I_b, I_i$  - cheltuielile necesare de investiție corespunzătoare variantei de bază,  $I_b$  respectiv variantei analizate,  $I_i$ ;

$E_b, E_i$  - cheltuielile anuale de exploatare corespunzătoare variantei de bază,  $E_b$  respectiv variantei analizate,  $E_i$ ;

$k_{norm}$  - coeficientul normal de eficiență economică, care diferă pentru diferite ramuri ale economiei (pentru instalațiile de pompare a apei  $k_{norm} > 0,12$ );

$f_b, f_i$  - costurile totale specifice de calcul, (funcțiile obiectiv de cost) pentru varianta de bază,  $f_b$ , respectiv pentru varianta analizată,  $f_i$ ;

Condiția necesară pentru asigurarea eficienței economice se poate exprima prin intermediul următoarelor relații:

$$t_{rec} \leq t_{norm} \quad (5.11)$$

în care  $t_{norm} = 1/k_{norm} = 1/0,12 \approx 8$  ani, adică timpul normal de recuperare este aproximativ egal cu 8 ani și în nici un caz nu poate depăși 10 ani.

Dacă, în particular, una din variante prezintă cheltuieli mici atât de investiție cât și de exploatare, atunci această variantă este implicit varianta eficientă. În general, însă, varianta care prezintă cheltuieli mari de investiție este legată de cheltuieli mici de exploatare. Ca urmare, la compararea a două sau mai multe variante, trebuie să se folosească condiția de minimizare a funcției obiectiv de cost total specific de investiție și de exploatare. Această condiție prezintă forme diferite în funcție de numărul variantelor analizate. Astfel:

- în cazul a două variante, condiția respectivă are forma:

$$(E_b - E_i) > k_{norm}(I_i - I_b) \quad (5.12)$$

- în cazul mai multor variante, condiția de minim a funcției obiectiv a cheltuielilor totale specifice de calcul va fi:

$$f_{i_{min}} = \min(k_{norm} I_i + E_i) \quad (5.13)$$

Costurile (cheltuielile) specifice de investiție se determină cu relația:

$$I = \sum_{j=1}^5 I_j = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 \quad (5.14)$$

în care:

$I$  - cheltuielile totale de investiție;

$I_1$  - costul echipamentelor aferente instalației respective;

$I_2$  - costul lucrărilor de construcții (structuri, fundații, etc.) aferente instalației respective

(pentru fundații  $I_2 \approx 1\% I_1$ );

$I_3$  - cheltuieli de transport, necesare pentru aducerea echipamentului la locul de montaj ( $I_3 \approx 3\% I_1$ );

$I_4$  - costul lucrărilor de montaj ( $I_4 \approx 1\% I_1$ );

$I_5$  - costul lucrărilor necesare în ramurile înrudite.

La compararea variantelor, pentru simplificarea calculelor, este mai comod să se calculeze diferența dintre cheltuielile de investiție ale variantelor, respectiv  $(I_i - I_b)$  în loc de cheltuielile totale de investiție aferente fiecărei variante în parte. În acest fel, nu se mai iau în considerație cheltuielile de investiție comune fiecărei variante, care au valori egale.

Costurile (cheltuielile) specifice de exploatare, se determină cu relația:

$$E = \sum_{j=1}^4 E_j = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 \quad (5.15)$$

în care:

$E$  - cheltuieli totale de exploatare;

$E_1$  - costul energiei electrice consumate anual;

$E_2$  - cheltuielile de amortizare a echipamentelor;

$E_3$  - cheltuielile pentru deservire curentă (salariile personalului de exploatare);

$E_4$  - costul reparării echipamentelor.

Pentru simplificarea calculelor, la compararea variantelor, este, de asemenea, mai indicat să se calculeze diferența dintre cheltuielile de exploatare ale variantelor respective ( $E_o - E_i$ ) în loc de cheltuielile totale specifice de exploatare aferente fiecărei variante în parte. În acest mod, nu se mai iau în considerare și cheltuielile de exploatare comune fiecărei variante care au o valoare egală.

### 5.1.3. Funcționarea pompelor în paralel.

Pentru mai multe pompe care funcționează în paralel, caracteristicile individuale Q-H se compun, formând caracteristica Q-H a stației.

Dar, la rândul său, rețeaua de alimentare prezintă, în fiecare moment, o caracteristică Q-H. Din cauza variației în timp a consumului, în fiecare moment caracteristica rețelei se modifică.

În orice moment punctul de funcționare este situat la intersecția curbei Q-H a rețelei cu caracteristica Q-H a stației. Oricum, caracteristicile Q-H ale rețelei, variabile în timp, sunt destul de dificil de determinat. Totuși, pentru optimizarea soluției de echipare a unei noi stații de pompare este indispensabilă preliminarea regimurilor Q-H.

Funcționarea în condițiile parametrilor variabili impune folosirea unui număr mai mare de pompe. Creșterea debitului de apă este asigurată prin cuplarea în paralel a pompelor. Numărul de pompe cuplate în paralel este în funcție de forma curbei caracteristicii de rețea. Acest număr are influență atât asupra debitului unitar al pompei, cât și asupra debitului total al instalației.

Prin creșterea numărului de pompe are loc saturarea rețelei și ca urmare numărul de pompe trebuie să fie limitat. Această limitare este determinată de punctul la care costul unei pompe adăugate suplimentar, comparat cu aportul său de debit, nu poate fi justificat din punct de vedere economic [76], [107].

Caracteristica de funcționare a unei pompe radiale (fig. 5.3) unde  $H_o$  este presiunea de refluxare când debitul este egal cu zero, este dată de relația:  $H_n = H_o - ax Q^2$  (5.16)



Fig. 5.3 Caracteristicile pompei radiale  $H = f(Q)$ ,  $P = f(Q)$ , și caracteristica de rețea  $H_r = f(Q)$

Pentru determinarea lui  $a$  se presupune că în punctul nominal de funcționare avem:  $H = H_n$  pentru  $Q = Q_n$ .

După introducerea condițiilor în relația (5.16)  $H_n = H_o - ax Q^2$  se obține:

$$a = \frac{H_o - H_n}{Q_n^2} \times Q^2 \quad (5.17)$$

Înlocuind expresia lui  $a$  în relația (5.16):

$$H = H_o - \frac{H_o - H_n}{Q_n^2} \times Q^2 \quad (5.18)$$

Caracteristica  $H = f(Q)$  pentru o pompă radială poate fi adusă la forma:

$$H = H_o \left[ 1 - \left( 1 - \frac{H_n}{H_o} \right) \left( \frac{Q}{Q_n} \right)^2 \right] \quad (5.19)$$

Raportul  $H_o/H_n$  poate fi redat în dependență de turația specifică  $n_q$  conform (5.17):

$$H_o / H_n = 1,025 + 0,0075 \times n_q \quad (5.20)$$

Caracteristica instalației de rețea  $H_r = f(Q)$  este dată de relația:

$$H_r = H_{st} + b \times Q^2 \quad (5.21)$$

unde  $H_{st}$  este presiunea statică a rețelei.

Pentru a determina factorul  $b$  luăm în considerare punctul nominal de lucru al sistemului. Astfel pentru:  $H = H_n$  avem  $Q = Q_n$  și după introducerea în (5.21) se obține:

$$H_n = H_{st} + K \times Q_n^2 \quad (5.22)$$

$$b = \frac{H_n - H_{st}}{Q_n^2} \quad (5.23)$$

Prin înlocuirea factorului  $b$  în (5.21) se obține caracteristica de rețea  $H_r = f(Q)$ :

$$H_r = H_o \times \left[ \frac{H_{st}}{H_o} + \left( \frac{H_n}{H_o} - \frac{H_{st}}{H_o} \right) \times \left( \frac{Q}{Q_n} \right)^2 \right] \quad (5.24)$$

Puterea absorbită de pompă este dată de relația (5.18):

$$P = P_o + c \times Q \quad (5.25)$$

unde  $P_o$  este puterea pompei corespunzătoare debitului egal cu zero.

Factorul de creștere  $c$  se poate exprima din relația (5.25) scrisă în punctul nominal al mașinii:

$$P_n = P_o + c \times Q_n$$

$$c = \frac{P_n - P_o}{Q_n} \quad (5.26)$$

Înlocuind (5.26) în (5.25) obținem:

$$P = P_o + \frac{P_n - P_o}{Q_n} \times Q \quad (5.27)$$

Relația (5.27) se poate aduce la forma:

$$P = P_o \times \left[ 1 + \left( \frac{P_n}{P_o} - 1 \right) \times \frac{Q}{Q_n} \right] \quad (5.28)$$

Raportul  $P_o/P_n$  poate fi exprimat în funcție de turația specifică  $n_q$ :

$$P_o / P_n = 0,19333 + 0,0101666 \times n_q \quad (5.29)$$

Pentru deducerea relațiilor care caracterizează funcționarea în paralel a pompelor identice, în figura 5.4 sunt prezentate caracteristicile de funcționare pentru trei pompe.

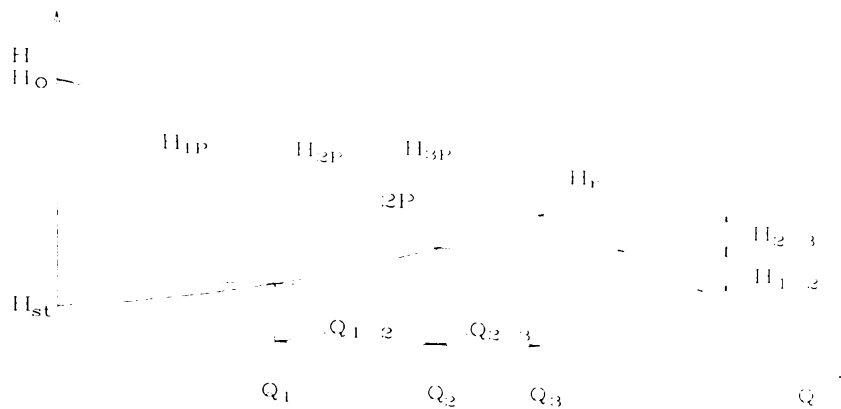


Fig. 5.4 Caracteristicile de funcționare în paralel a pompelor identice

La funcționarea în paralel a  $i$  pompe, relația (5.19) devine:

$$H_i = H_o \times \left[ 1 - \frac{1}{i^2} \times \left( 1 - \frac{H_n}{H_o} \right) \times \left( \frac{Q}{Q_n} \right)^2 \right] \quad (5.30)$$

Din condiția:  $H_i = H_r$  se obține:

$$\frac{Q}{Q_n} = \sqrt{\frac{1 - \frac{H_{st}}{H_o}}{\frac{H_n}{H_o} - \frac{H_{st}}{H_o} + \frac{1}{i^2} \times \left( 1 - \frac{H_n}{H_o} \right)}} \quad (5.31)$$

Creșterea de debit  $\Delta Q = Q - Q_n$  raportată la debitul nominal  $Q_n$  are expresia:

$$\frac{\Delta Q}{Q_n} = \frac{Q}{Q_n} - 1 = \sqrt{\frac{1 - \frac{H_{st}}{H_o}}{\frac{H_n}{H_o} - \frac{H_{st}}{H_o} + \frac{1}{i^2} \times \left( 1 - \frac{H_n}{H_o} \right)}} - 1 \quad (5.32)$$

Creșterea presiunii de refulare  $\Delta H = H - H_n$  raportată la presiunea nominală  $H_n$  are expresia:

$$\frac{\Delta H}{H_n} = \frac{H}{H_n} - 1 = \frac{H_o}{H_n} \times \left[ 1 - \frac{1}{i^2} \times \left( 1 - \frac{H_n}{H_o} \right) \times \frac{1 - \frac{H_{st}}{H_o}}{\frac{H_n}{H_o} - \frac{H_{st}}{H_o} + \frac{1}{i^2} \times \left( 1 - \frac{H_n}{H_o} \right)} \right] - 1 \quad (5.33)$$

Relația (5.27) la funcționarea în paralel a  $i$  pompe identice devine:

$$P_i = P_o \times \left[ i + \left( \frac{P_n}{P_o} - 1 \right) \times \left( \frac{Q}{Q_n} \right) \right] - 1 \quad (5.34)$$

Creșterea de putere  $\Delta P = P - P_n$  raportată la puterea nominală  $P_n$  se exprimă prin relația:

$$\frac{\Delta P}{P_n} = \frac{P}{P_n} - 1 = \frac{P_o}{P_n} \times \left[ i + \left( \frac{P_n}{P_o} - 1 \right) \times \left( \frac{Q}{Q_n} \right) \right] - 1 \quad (5.35)$$



Înlocuind  $Q/Q_n$  din (5.31) obținem:

$$\frac{\Delta P}{P_n} = \frac{P_o}{P_n} \times \left[ i + \left( \frac{P_n}{P_o} - 1 \right) \times \sqrt{\frac{1 - \frac{H_{st}}{H_o}}{\frac{H_n}{H_o} - \frac{H_{st}}{H_o} + \frac{1}{i^2} \times \left( 1 - \frac{H_n}{H_o} \right)}} \right] - 1 \quad (5.36)$$

*Reprezentarea grafică a creșterii debitului*

În figura 5.5 s-a reprezentat creșterea relativă a debitului la pompele radiale identice legate în paralel pentru turațiile specifice  $n_q=10, 20, 30, 40 \text{ min}^{-1}$  și pentru raporturile  $H_{st}/H_o=0; 0,2; 0,4$ , în funcție de numărul de pompe  $i$ .

Se constată că pentru valori mici ale turației caracteristice  $n_q=10 \text{ min}^{-1}$  și pentru domenii  $H_{st}/H_o=0-0,4$  trebuie legate în paralel numai 2 sau 3 pompe când se realizează o creștere a debitului de 4-7%.

Pentru  $n_q=20 \text{ min}^{-1}$  se obține o creștere a debitului de 6-14% la funcționarea cu 2-4 pompe în paralel, iar pentru  $n_q=30 \text{ min}^{-1}$  creșterea debitului ajunge până la 20% la funcționarea cu 4 pompe.

O creștere a debitului până la 28% se ajunge în cazul pompelor cu  $n_q=40 \text{ min}^{-1}$  la funcționarea cu 4 pompe.

Se înregistrează o îmbunătățire a valorilor  $\Delta Q/Q_n$  odată cu creșterea turației specifice  $n_q$  și a raportului  $H_{st}/H_o$ .

Odată cu creșterea numărului de pompe  $i$ , toate curbele se apropie la o valoare limită  $\Delta Q/Q_n$ .

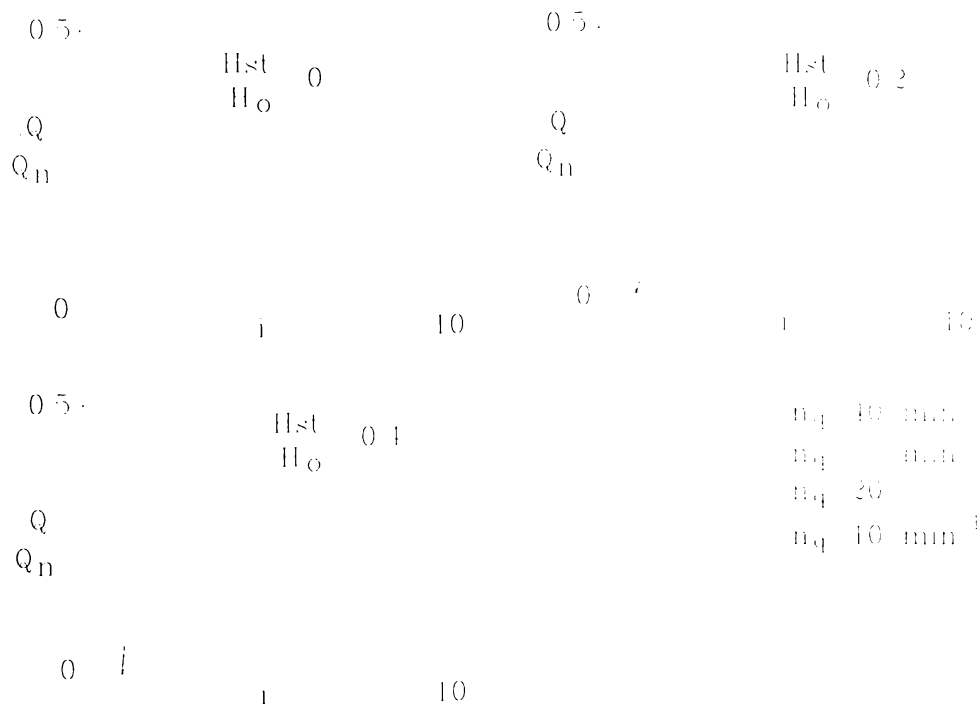


Fig.5.5 Creșterea debitului la funcționarea în paralel a  $i$  pompe

*Reprezentarea grafică a creșterii presiunii de refulare*

Figura 5.6 ilustrează creșterea relativă a presiunii  $\Delta H/H_n$  în cazul funcționării în paralel a  $i$  pompe, pentru aceleași turații specifice  $n_q$  și aceleași raporturi  $H_{st}/H_o$  ca în figura 5.5.

Și în acest caz se înregistrează o creștere a gradientului  $\Delta H/H_n$  mai ales în domeniul valorilor mici ale lui  $i$ .

Cu creșterea turației specifice se îmbunătățesc valorile  $\Delta H/H_n$ . Prin mărirea numărului de pompe, valorile  $\Delta H/H_n$  se apropie asimptotic de o valoare limită.

Dacă pentru  $n_q=10 \text{ min}^{-1}$  la funcționarea cu 2, maximum 3 pompe, se realizează o creștere a presiunii  $\Delta H/H_n$  de 7 - 9%, pentru  $n_q=20 \text{ min}^{-1}$  această creștere este de la 11 - 16% cu maximum 4 pompe, ajungând la 22% cu 4 pompe pentru  $n_q=30 \text{ min}^{-1}$ .

La turația  $n_q=40 \text{ min}^{-1}$  se obține o creștere mai mare a presiunii de până la 31% în cazul funcționării cu 4 pompe în paralel.

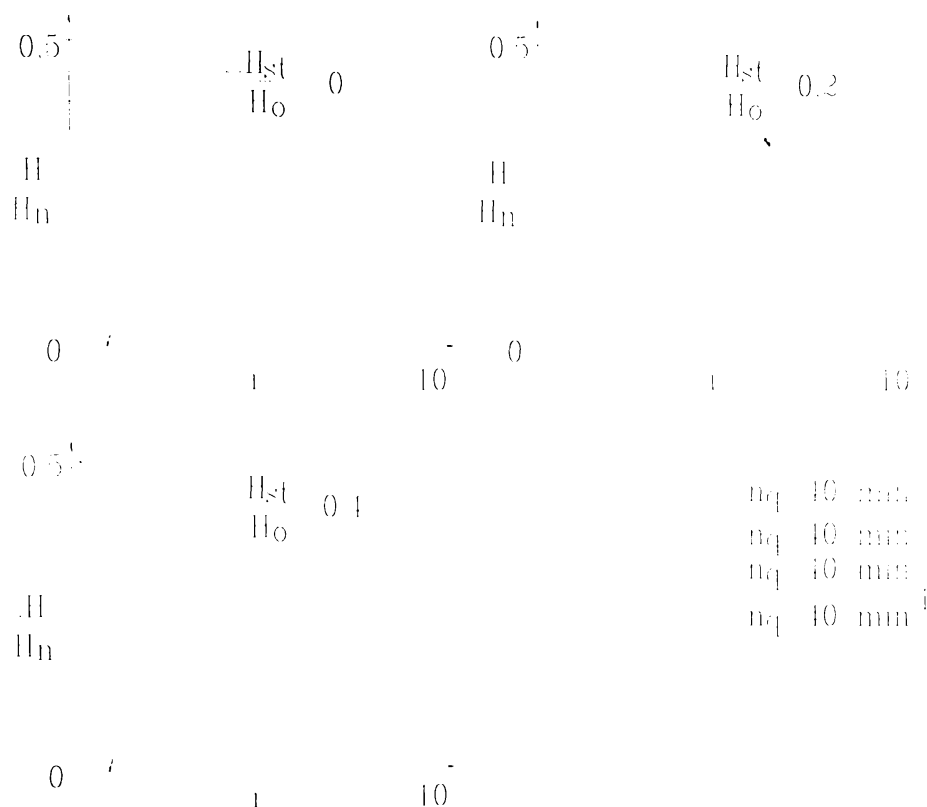


Fig.5.6 Creșterea presiunii de refulare la funcționarea în paralel a  $i$  pompe

#### Reprezentarea grafică a creșterii puterii electrice

Creșterea puterii electrice la funcționarea în paralel a pompelor s-a reprezentat în figura 5.7. Mărirea turației specifice duce la creșterea relativă a puterii electrice în proporție mult mai mare decât creșterea relativă a debitului.

Astfel la  $n_q=10 \text{ min}^{-1}$ , creșterea de putere este de 25% până la 56%, la funcționarea cu 2 și 3 pompe în paralel, în timp ce creșterea de debit este de 4% până la 7%.

La  $n_q=40 \text{ min}^{-1}$  se ajunge la o creștere de putere de până la 240% pentru 4 pompe în paralel și o mărire a debitului de numai 28%.

Spre deosebire de turația specifică, raportul  $H_{st}/H_0$  influențează foarte puțin creșterea de putere.

De exemplu, la  $n_q=10 \text{ min}^{-1}$ , în situația funcționării în paralel a trei pompe avem  $\Delta P/P_n=0,559$  pentru  $H_{st}/H_0=0$ , în timp ce pentru  $H_{st}/H_0=0,4$  se obține  $\Delta P/P_n=0,580$ . Pentru  $n_q=40 \text{ min}^{-1}$ ,  $\Delta P/P_n$  variază de la 1,852, pentru  $H_{st}/H_0=0$ , la 1,807, pentru  $H_{st}/H_0=0,4$ .



Fig.5.7 Creșterea puterii electrice la funcționarea în paralel a i pompe

În concluzie, ca urmare a creșterii turației specifice  $n_q$  are loc o îmbunătățire a creșterii debitului, presiunii și puterii electrice.

Pentru același număr de pompe care funcționează în paralel și pentru aceeași turație specifică, creșterea de putere este mult mai mare decât creșterea debitului.

Mărirea raportului  $H_{st}/H_0$  influențează într-o măsură mai mare creșterea debitului și a presiunii și foarte puțin creșterea puterii electrice.

Odată cu mărirea numărului de pompe ce funcționează în paralel, toate curbele creșterii debitului, presiunii, se apropie asimptotic de câte o valoare limită. Cea mai mare creștere a debitului și a presiunii se realizează la trecerea de la o pompă la două pompe. La adăugarea fiecărei pompe în paralel, creșterea acestor parametrii se va reduce treptat, astfel încât, pentru eficiență economică, se va limita numărul pompelor care funcționează în paralel.

## 5.1.4 Regimurile Q-H ale unei stații de pompare

### 5.1.4.1. Consumurile de apă.

Varianta optimă a unei instalații de pompare a apei este rezultatul analizei tehnico-economice, bazată pe stabilirea funcțiilor obiectiv și a criteriilor de optimizare.

Varianta optimă stabilită în faza de proiectare trebuie să corespundă condițiilor reale de funcționare pe întreaga durată de exploatare a instalației de pompare.

Din păcate, pe parcursul duratei de exploatare a instalațiilor de pompare, condițiile reale de funcționare se modifică de mai multe ori, funcționarea lor depărtându-se de la valorile de proiectare.

Este cunoscut faptul că, debitele de apă consumate la punctele de utilizare amplasate în clădiri prezintă o variație aleatoare în timp (figura 5.8) datorită frecvențelor de utilizare, simultaneităților în funcționare și duratelor de utilizare, diferite de la o armătura la alta.

Caracterul aleator al debitelor de apă consumată în clădiri, este pus în evidență de curbe de variație în timp a debitelor (cronograme de consum, figura 5.8).

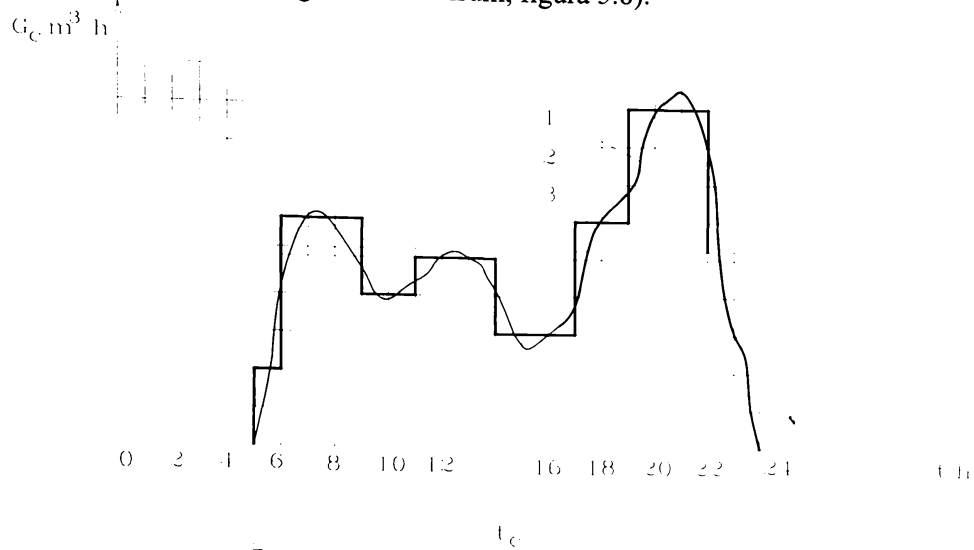


Fig. 5.8 Variația debitului de apă rece pentru consum menajer: 1-cronograma de consum (curba reală); 2-curba echivalentă cronogramei de consum; 3-linia debitului mediu pe perioada de consum.

Mărimea și variația debitelor de apă rece și caldă pentru consum menajer consumate în clădiri, depind de următorii factori: structura consumului de apă, corelată cu destinația (categoria) clădirilor: de locuit, social-culturale, agrozootehnice, industriale; gradul de confort aflat în corelație cu gradul de dotare tehnică a clădirii (cu armături, obiecte sanitare și conducte care să satisfacă cerințele de calitate și criteriile de performanță ridicate); numărul total de consumatori și repartitia lor pe sexe, categorii de vârstă etc.; regimul de funcționare al instalațiilor de utilizare a apei reci și calde de consum (care poate fi continuu sau intermitent); gradul de deschidere al armăturilor (robinete, baterii amestecătoare de apă rece și caldă etc.) montate la punctele de consum al apei; alți factori de importanță locală (educația și gradul de civilizație al populației privind utilizarea apei în mod rațional și în condiții de confort igienico-sanitar).

Din datele experimentale existente [59] se constată că, în țara noastră, consumurile specifice reale de apă rece și caldă, depășesc normele existente (de circa 1,5-2 ori), cauzele principale fiind pierderile și risipa de apă. Această situație are efecte negative directe asupra stațiilor de pompare a apei, solicitate să funcționeze în afara regimurilor pentru care au fost proiectate și cu atât mai mult, în afara regimurilor corespunzătoare soluțiilor optime adoptate la realizarea lor.

#### 5.1.4.2. Preliminarea regimurilor de debite și presiuni ale unei stații de pompare de modernizat

O perioadă absolut concludentă pentru regimurile Q - H ar fi cea de un an. Dar, pentru a simplifica rezolvarea problemelor, în faza actuală se poate considera, cel puțin deocamdată, ca o perioadă concludentă (deci repetabilă pentru variația debitelor Q și a presiunilor H) este o săptămână.

Pentru o stație de pompare care ar urma să se modernizeze, valorile preliminate ale debitelor Q și presiunilor H pentru perioada concludentă se pot stabili principial pe două căi:

- prin măsurări directe, presupunând că regimurile Q - H actuale se vor repeta și în viitor, cu considerarea eventual și a unor corecții;

- prin calcul, cu ajutorul unor programe care să considere și toate variantele de optimizare ale rețelei de distribuție a apei la consumatori.

Se menționează că variantele de optimizare ale rețelei implică atât o distribuție optimă a debitelor între stațiile de pompare, cât și optimizarea înlocuirii conductelor, cu altele, de același diametru sau de diametru mai mare, pe aceleași trasee, sau pe trasee noi.

#### **5.1.4.3. Preliminarea prin calcule de optimizare a rețelei**

Până acum, datele care s-au folosit au fost cele obținute prin măsurări directe, cu eventuala considerare a unor corecții.

Calea a doua, este mai eficientă, dar necesită un efort mare de elaborare a unui pachet vast de programe de calcul, corelat atât cu sistemul GIS, cu pachetele de programe ale celorlalte sisteme de deservire a teritoriului respectiv (alimentarea cu căldură, gaz, electricitate, etc.), cât și cu sistemul de programe pentru calculul stațiilor de pompare.

Concret, trebuie stabilite, pentru fiecare interval (de exemplu o oră) a perioadei concludente de timp, debitele necesare în fiecare zonă a localității. Prin însumarea debitelor consumate în toate zonele, considerând cât mai realist și pierderile de debite prin porțiunile uzate de țevi și armături, rezultă valorile debitelor totale preliminate.

Apoi, considerând diferite ipoteze de distribuție a debitului între stațiile de pompare, precum și diferite ipoteze de modernizare a sistemului de conducte, rezultă, pe de o parte, debitele preliminate corectate (prin micșorarea pierderilor de apă ca efect al înlocuirii conductelor și armăturilor uzate care se înlocuiesc cu altele noi), iar, pe de altă parte, rezultă pierderile de presiune aferente fiecărui debit și fiecărei ipoteze de modernizare (prin micșorarea pierderilor de presiune ca efect, pe de o parte, al înlocuirii unor conducte cu altele, de diametre mai mari, iar, pe de altă parte, ca efect al optimizării unor trasee de conducte).

Apreciind și înălțimile geodezice la care sunt situați consumatorii, pornind de la valorile debitelor corectate și considerând pierderile de presiune calculate, rezultă, pentru fiecare stație de pompare și pentru fiecare ipoteză de distribuție a debitelor, cât și pentru fiecare ipoteză de modernizare a rețelei de conducte, regimurile de debite și presiuni  $Q - H$  pentru o perioadă concludentă.

Deci fișierele cu valorile preliminate  $Q - H$  ale debitelor și presiunilor necesare pentru o perioadă de timp concludentă trebuie să se calculeze cu pachetul de programe  $PX_i$  aferent rețelei de conducte (care formează sistemul fizic  $X_i$ ).

Totodată aceste fișiere  $Q - H$  constituie fișiere de intrare în pachetul de programe  $PY_k$  pentru calculul energetic aferent fiecărei stații de pompare  $Y_k$ . Adică aceste fișiere cu valorile  $Q - H$  preliminate pentru o perioadă de timp concludentă, constituie fișiere de legătură sau interfețe între pachetul de programe  $PX_i$  aferent sistemului fizic de conducte  $X_i$  și pachetul de programe  $PY_k$  aferent stațiilor de pompare  $Y_k$ .

#### **5.1.4.4. Implicații ale preliminarilor prin măsurări și eventuale corecții**

Pentru etapele actuale, regimurile  $Q - H$  se pot determina numai pe baza de măsurări și eventuale corecții.

Dar, pe această bază, se fac aproximații destul de mari și, cunoscând acest lucru, proiecțiile stațiilor de pompare sunt tentați să considere presiuni preliminate la ieșirea din stație de valori exagerat de mari, considerând că asigură astfel o soluție acoperitoare. Într-adevăr, astfel se aleg pompe care fac față la presiunile cele mai mari, în schimb se ajunge adeseori în situația că stația nu poate pompa în mod normal pentru presiunile mici, pompele intrând la acele presiuni în cavitație; ori, pentru a evita cavitația, se măresc artificial presiunile, prin închiderea parțială a vanelor de la refularea pompelor. Astfel se consumă o putere apreciabilă (ajungând, în unele perioade de timp, la anumite stații de pompare, până la 70% din puterea absorbită de pompe) pentru compensarea pierderilor locale de presiune din vanele parțial închise.

Pentru a evita asemenea situații, generatoare de risipă de energie, este necesară o corelare, de preferat computerizată, a caracteristicilor de funcționare a pompelor, cu regimurile de funcționare a

stației, pe întregul domeniu de debite  $Q$  și înălțimi de pompare  $H$ . O asemenea corelare se detaliază în cap 5.2.5.

## 5.2 Caracteristicile funcționale ale echipamentelor stațiilor de pompare

Orice echipament (pompa, motor, ventilator, suflantă, turbină, generator, transformator electric, convertizor static de frecvență, etc.) se caracterizează prin date dimensionale și printr-o serie de caracteristici funcționale sau curbe caracteristice.

Pe baza datelor dimensionale se face amplasarea fiecărui echipament și cuplarea sa cu alte echipamente.

Pe baza curbelor caracteristice se adoptă, la proiectarea unei noi investiții, soluția de echipare, iar la exploatarea unei investiții existente se poate optimiza funcționarea.

În cele ce urmează se tratează cazul concret al stațiilor de pompare și al curbelor caracteristice ale echipamentelor aferente (pompe, motoare, eventual convertizoare statice de frecvență și transformatoare).

### 5.2.1 Caracteristicile funcționale pentru pompe

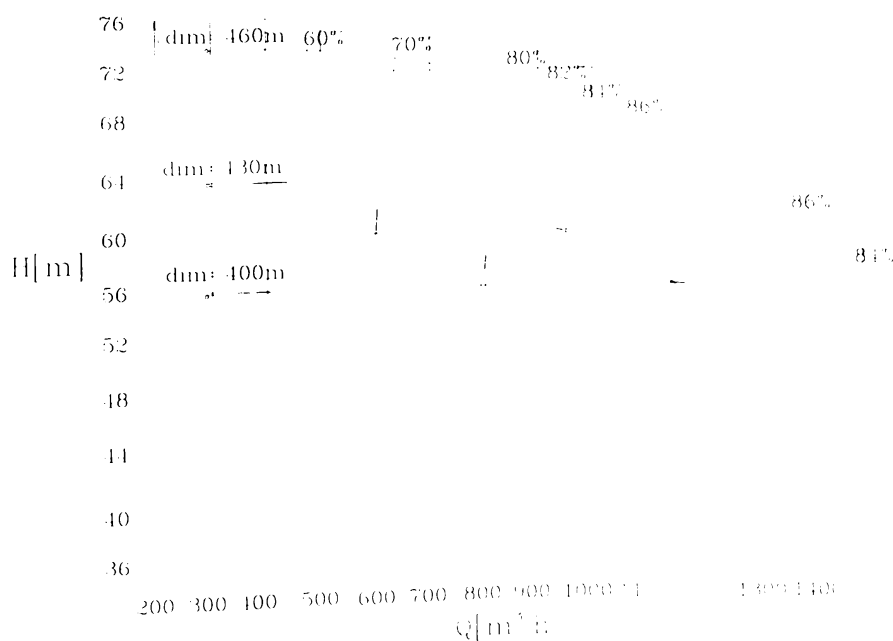
Furnizorii de pompe prezintă curbele caracteristice ale acestor mașini sub forma a trei figuri cuprinzând:

- caracteristica înălțime de pompare - debit:  $H=H(Q)$  sau  $Q-H$  pentru câteva valori  $D_{\min}, \dots, D_{\max}$  ale diametrului rotorului, peste care se reprezintă curbele de izorandament  $\eta_p = \text{const.}$  (fig. 5.9.a); din aceste curbe se poate realiza, pentru o pompă cu un anumit diametru al rotorului, curba de randament  $\eta_p=f_1(Q)$  (fig. 5.10).

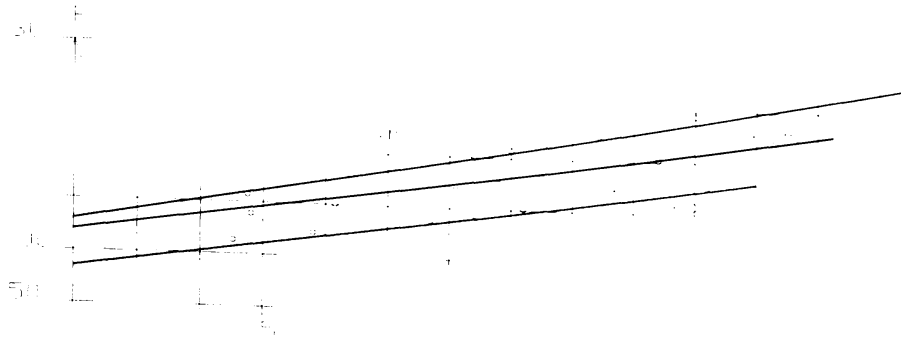
- caracteristica putere la arbore - debit;  $P_{\text{arb}} = f_2(Q)$  pentru valorile  $D_{\min}, \dots, D_{\max}$  (fig. 5.9.b);

- curba de cavitație  $\text{NPSH}=f_3(Q)$  pentru valorile  $D_{\min}, \dots, D_{\max}$  (fig. 5.9.c).

Pentru calcule energetice, sunt suficiente curbele  $H=H(Q)$  și  $\eta_p=f_1(Q)$  sau  $P_{\text{arb}} = f_2(Q)$ .



a) Curbele Q-H și de izorandament  $\eta=\text{const.}$ :



b) Curbele  $P_{arb}=f_2(Q)$ ;

c) Curbele de cavitație  $NPSH=f_3(Q)$

Fig.5.9 Curbele funcționale pentru o familie de pompe la turația 1450 rot/min  
a) curbe Q-H; b) caracteristicile putere la arbore - debit; c) curbele de cavitație.

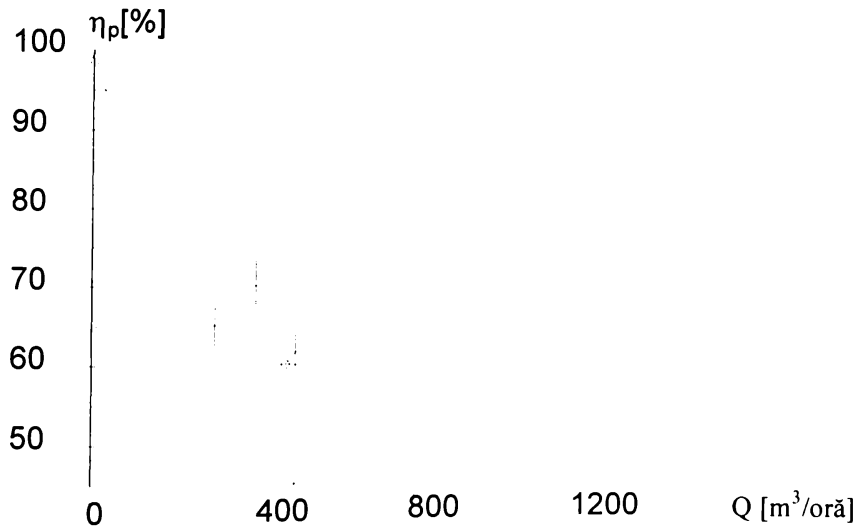


Fig. 5.10 Curba de randament  $\eta_p=f_1(Q)$  pentru o pompă de 315kW,  
diam.=460mm, tur.=1450rot./min.

### 5.2.2 Caracteristicile funcționale pentru motoarele electrice

Dintre caracteristicile funcționale sau curbele caracteristice ale motoarelor electrice de antrenare a pompelor fără reglarea turației, se vor considera în continuare numai acele curbe care se utilizează în calculele legate de optimizarea pomparei. Astfel, pentru un motor dat, având anumite valori pentru puterea nominală, tensiunea nominală și turația nominală, furnizorii oferă curba de randament  $\eta_m$  în funcție de puterea la borne  $P_{borne}$ :  $\eta_m=f_4(P_{borne})$ . Dar în procesul de optimizare, de obicei se utilizează altă curbă, derivată din aceasta:  $\eta_m=f_5(P_{arb})$ , unde puterile la arbore se obțin din relația de definiție a randamentului motorului, adică  $P_{arb}=P_{borne}\cdot\eta_m$  (Fig. 5.11.a). Majoritatea pompelor sunt antrenate de motoare asincrone, pentru care se prezintă curba de variație a alunecării  $s$  în funcție de puterea la borne  $P_{borne}$ :  $s=f_6(P_{borne})$ . Și această curbă se transformă facil într-o altă curbă, utilă la optimizare, anume curba  $s=f_7(P_{arb})$ , adică curba de variație a alunecării în funcție de puterea la arbore (Fig. 5.11.b). Se menționează că puterea la arbore a motorului este egală cu puterea la arbore a pompei, dar numai în cazul antrenării directe:  $P_{arb}=P_{arb\ m}=P_{arb\ p}$ .

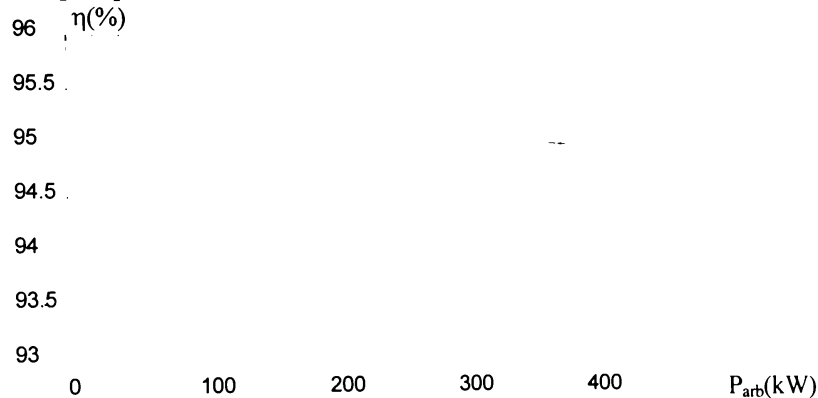


Fig. 5.11a Curba de variație a randamentului în funcție de puterea la arbore pentru un motor asincron de 315kW, 380V, 1485rpm.

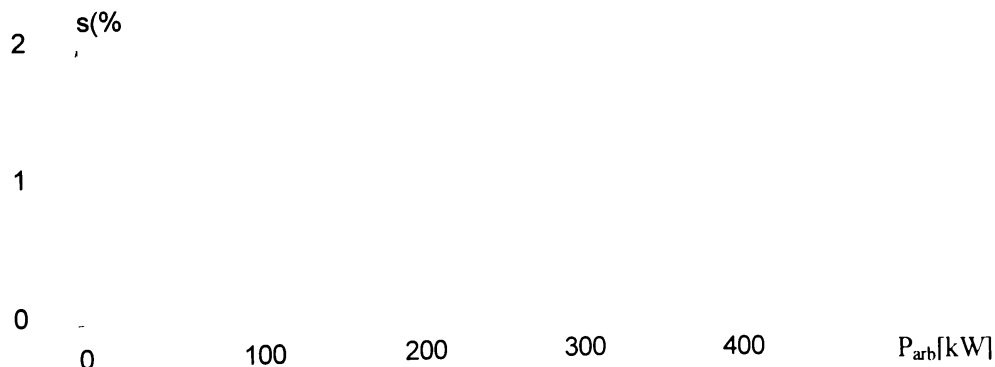


Fig. 5.11b. Variația alunecării în funcție de puterea la arbore pentru un motor asincron de 315 kW, 380V, 1485rpm.

Fig. 5.11: Curbele caracteristice funcționale ale motoarelor asincrone de antrenare a pompelor, care servesc la calculul optimizării pomparei.

### 5.2.3 Variația debitului, înălțimii de pompare, puterii și randamentului în funcție de turația pompei.

Modificarea turației pompei de la valoarea sincronă  $n_0$  la o altă valoare  $n$  ( $n < n_0$ ), are drept efect modificări corespunzătoare ale debitului (de la  $Q_0$  la  $Q$ ), înălțimii de pompare (de la  $H_0$  la  $H$ ), randamentului și puterii la arbore, date de relațiile cunoscute:



$$Q = Q_0 \cdot \frac{n}{n_0} \tag{5.37}$$

$$H = H_0 \cdot \left(\frac{n}{n_0}\right)^2 \tag{5.38}$$

$$\eta_P = 1 - (1 - \eta_{P0}) \cdot \left(\frac{n_0}{n}\right)^{0.1} \tag{5.39}$$

$$P_{arb} = P_{arb0} \cdot \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 \tag{5.40}$$

$$\text{unde } P_{arb0} = \rho \cdot g \cdot \frac{Q_0 \cdot H_0}{\eta_{P0}} \tag{5.41}$$

De asemenea, se menționează că pentru variații mici ale turației, se poate considera:  $\eta_P \approx \eta_{P0}$ . Pentru motorul asincron, alunecarea  $s(\%)$  se definește, în funcție de turația sincronă  $n_0$  și turația efectivă  $n$ , prin relația:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \cdot 100 \tag{5.42}$$

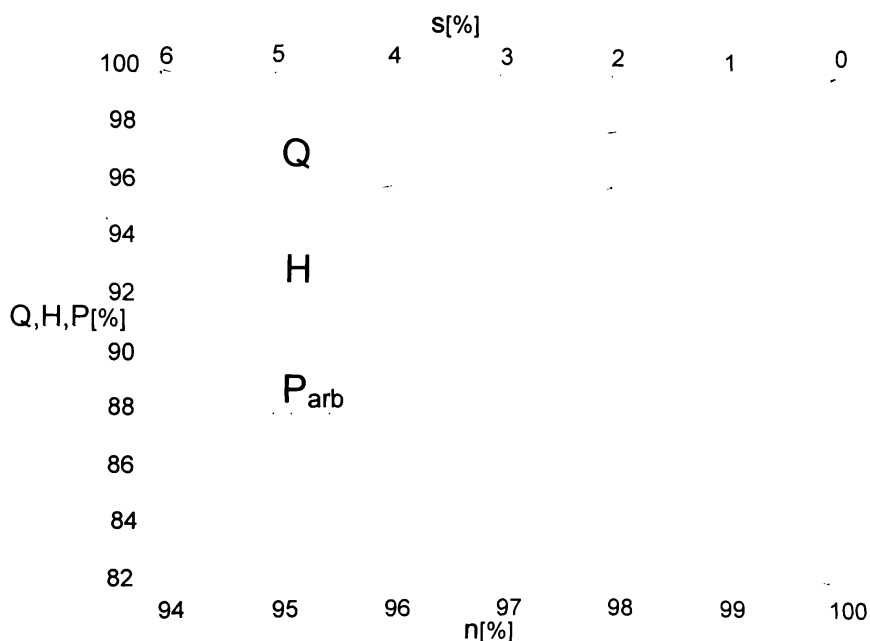


Fig. 5.12: Variația debitului  $Q$ , a înălțimii de pompare și puterii  $P_{arb}$  a unei pompe în funcție de turația  $n$  și alunecarea  $s$  a unui motor asincron.

Debitul, înălțimea de pompare și puterea la arbore, variază cu turația, deci și cu alunecarea. De notat că, pentru o variație de 3% a alunecării  $s$  (variația uzuală este de la 1,5 la 4,5%), corespunde o variație de aproximativ 8% a puterii la arbore (Figura 5.12).

#### 5.2.4. Influența alunecării motorului asincron asupra curbelor caracteristice ale pompelor.

Majoritatea absolută a pompelor, cel puțin până la puteri de circa 1000 kW, sunt antrenate de motoare asincrone, care prezintă o anumită alunecare  $s$ . La orice motor asincron alunecarea  $s$  variază în funcție de puterea la arbore  $P_{arb}$ , după o anumită lege exprimată printr-o funcție  $s=f_7(P_{arb})$ , care se poate reprezenta grafic printr-o curbă corespunzătoare. Această curbă caracterizează fiecare tipo-dimensiune și fiecare tip de motor asincron; deci fiecare tipo-dimensiune de motor prezintă o altă curbă  $s=s(P_{arb})$ , (fig.5.17).

În consecință, o pompă antrenată de un motor asincron prezintă o turație care variază atât în funcție de puterea la arbore, cât și în funcție de motorul de antrenare.

Această variație a turației s-a neglijat în general până acum. Dar variația alunecării, deci și a turației, poate să ajungă până la valori de ordinul 3% la care însă corespunde o variație a puterii la arbore de ordinul 8%. De aceea este necesar ca, pe viitor, să se precizeze mai concret turația la care se dau curbele caracteristice ale unei pompe.

Cu ajutorul relațiilor (5.37)÷(5.40), printr-un calcul iterativ, se poate stabili influența alunecării asupra parametrilor  $Q_p$ ,  $H$ ,  $\eta$  și  $P_{arb}$  ai fiecărei pompe antrenate de motoare asincrone [145].

În fig.5.12 se reprezintă variația procentuala a debitului  $Q$ , a înălțimii de refulare  $H$  și a puterii la arbore  $P_{arb}$  în funcție de turația  $n$  sau de alunecarea  $s$ , conform relațiilor (5.37), (5.38), respectiv (5.40).

Ca exemplu concret de neprecizare suficient de clară a turației la care se prezintă curbele caracteristice ale pompelor, până în prezent se pot cita cazuri când, la frecvența de 50 Hz din Europa, pentru pompe antrenate de motoare asincrone cu 2 perechi de poli, o firmă furnizoare indica pe caracteristicile pompelor turația  $n=1450$  rot/min (deci  $s=3,33\%$ ), iar o altă firmă turația  $n=1485$  rot/min (deci  $s=1\%$ ). Diferența de 35 rot/min, raportată la turația sincronă  $n_0=1500$  rot/min, este de 2,33%, careia îi corespunde o diferență de putere la arbore (conform 5.40) de ordinul 6,83%.

Pentru a nu se mai comite confuzii, urmate de erori de ordinul 6-8%, se propun cel puțin 2 moduri posibile de precizări referitoare la turație.

#### ***Moduri posibile de precizare referitoare la turație.***

##### **Precizarea tip 1.**

Pe lângă caracteristicile funcționale ale pompelor se va indica o curbă suplimentară, anume curba de alunecare  $s = f_7(P_{arb})$  a motorului cu care s-au ridicat caracteristicile pompei respective. Evident, dacă ridicarea s-a făcut pentru o pompă antrenată de un motor sincron, se va indica numai valoarea turației sincrone și faptul că motorul de antrenare a fost sincron.

##### **Precizarea tip 2.**

Considerând relațiile cunoscute (5.37) și (5.38), curbele caracteristice Q-H se vor corecta în consecință, astfel încât să corespundă unei turații de referință. Ca turație de referință se poate adopta fie turația sincronă, fie o alta, dar oricum, valoarea ei va trebui menționată, precum și faptul că această turație are un caracter de referință.

#### **5.2.5 Cazul cu reglarea turației**

Pentru un motor electric, modificarea controlată a turației poate fi obținută prin variația frecvenței tensiunii alternative, utilizând convertorul static de frecvență. În general convertorul lucrează la tensiune joasă (380V). Deocamdată puține firme din lume livrează convertoare la tensiuni medii (6kV sau 10 kW): evident, aceste convertoare sunt încă scumpe. Dar, fiindcă motoarele care lucrează la puteri mai mari de 200kW, au tensiuni medii de 6kV, în stațiile de pompare cu reglarea turației sunt necesare și transformatoare de tensiune.

Astfel, fiecare pompă de putere mare și turație reglabilă poate fi echipată conform uneia din următoarele soluții:

- a. motor normal, de medie tensiune, alimentat de un convertizor de medie tensiune (este soluția de nivelul tehnic cel mai înalt, dar încă scumpă și puțin răspândită);
- b. motor special de joasă tensiune cuplat cu un convertizor tot de joasă tensiune -380 V sau, soluție ABB - 600V (convertizorul este relativ ieftin, dar motorul este relativ scump și în plus, este necesar transformatorul coborâtor de tensiune);
- c. motor obișnuit, de medie tensiune, cuplat cu un convertizor obișnuit, de joasă tensiune; între rețeaua electrică și convertizor se prevede un transformator coborâtor de tensiune, iar între

convertizor și motor se prevede un transformator suitor de tensiune (convertizorul și motorul nu sunt de prețuri deosebite, dar sunt necesare cele două transformatoare care costă și ele, ocupă spațiu și, în bilanțul energetic prezintă și ele pierderile lor).

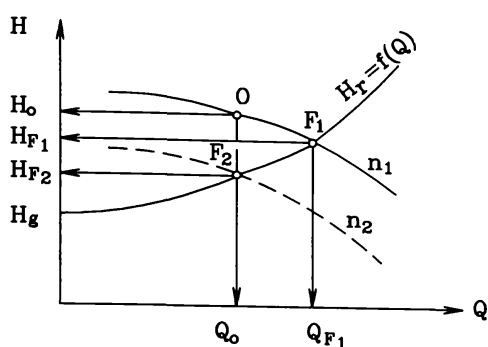


Fig. 5.13 Reglarea debitului prin varierea turajiei

Reglarea debitului (fig. 5.13) 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 refluxare, ci se realizează datorită deplasării punctului de funcționare în  $F_2$  prin modificarea caracteristicii pompei Q-H (la turajii diferite  $n_1, n_2$ ), pe caracteristica fixă a rețelei  $H_r$ . Punctul de funcționare  $F_2$  corespunde înălțimii de pompare  $H_{F_2}$  redusă cu căderea de presiune pe vana de reglare eliminată.

Caracteristica pompei la turajii reduse se poate calcula și reprezenta grafic prin relațiile de similitudine: (5.37), (5.38) și (5.39).

Variația debitului de apă, conform relației (5.37) este direct proporțională cu variația turajiei agregatului, care este comandată direct de regulatorul din bucla de reglare automată.

Dependența randamentului de variația turajiei este dată de relația (5.39), cu care se poate

deduce randamentul  $\eta_2$  în punctul  $F_2$  corespunzător turajiei  $n_2$ , funcție de randamentul  $\eta_1$ , la turajia  $n_1$ .

În fapt, la majoritatea pompelor și în special la cele mari, modificarea randamentului se poate neglija pe un domeniu de variație a turajiei de 1/3 din turajia nominală.

În figura 5.14 s-a reprezentat variația caracteristicilor H, Q, P, ale pompelor centrifuge cu turajia  $n$ , conform relațiilor 5.37, 5.38 și 5.40, constatându-se că reducând cu 20 % turajia, puterea absorbită scade cu 51,2 %, iar randamentul pompei, conform 5.39 rămâne practic nemodificat, de unde reiese clar posibilitatea reducerii consumului de energie la pompare prin reglarea turajiei agregatelor de pompare. O dată cu aplicarea procedeele electronice la acționarea

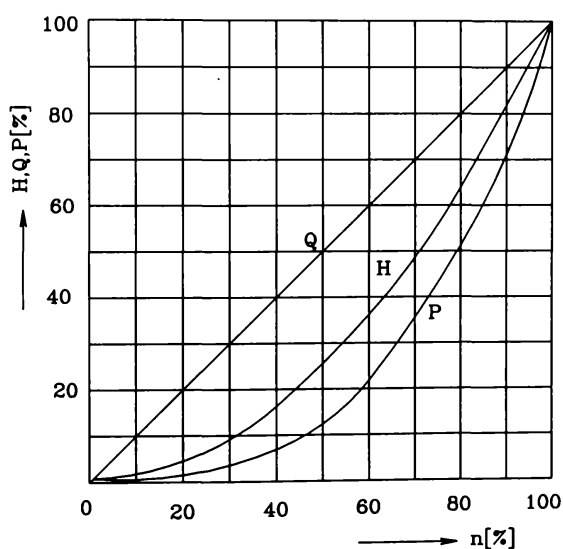


Fig. 5.14 Variația caracteristicilor pompelor centrifuge cu turajia

motoarelor electrice, reglarea turajiei a fost deja extinsă în unele țări la scară industrială [17].

Variația turajiei motorului de antrenare a pompei se poate realiza printr-o varietate de soluții [134]. 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 turajie reglabilă în limite largi. Semnalul de comandă dat de regulator se introduce în elementul de execuție al buclei de reglare reprezentat prin convertizorul de turajie, 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 variația turajiei unei singure pompe (celelalte funcționând la turajia nominală), convertizorul de turajie comutându-se automat de la o pompă la alta, în limita dotării cu aparatura de comutație automată. 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 5.15.

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 releele 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.

Astfel, 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 prin intermediul convertizorului de frecvență. 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:

$$w_e = \frac{\int_0^{T_p} P dt}{\sum_{i=1}^{24} \frac{Q_i H_i}{\eta_i} T_p} 100 \quad (5.44)$$

în care:  $Q_i$ ,  $H_i$ ,  $\eta_i$  sunt caracteristicile pompei sau grupului de pompe la funcționarea clasică în ora  $i$

a unei zile;  $\int_0^{T_p} P dt$  - energia consumată în perioada  $T_p$ , funcționând la debite diferite de  $Q_i$ .

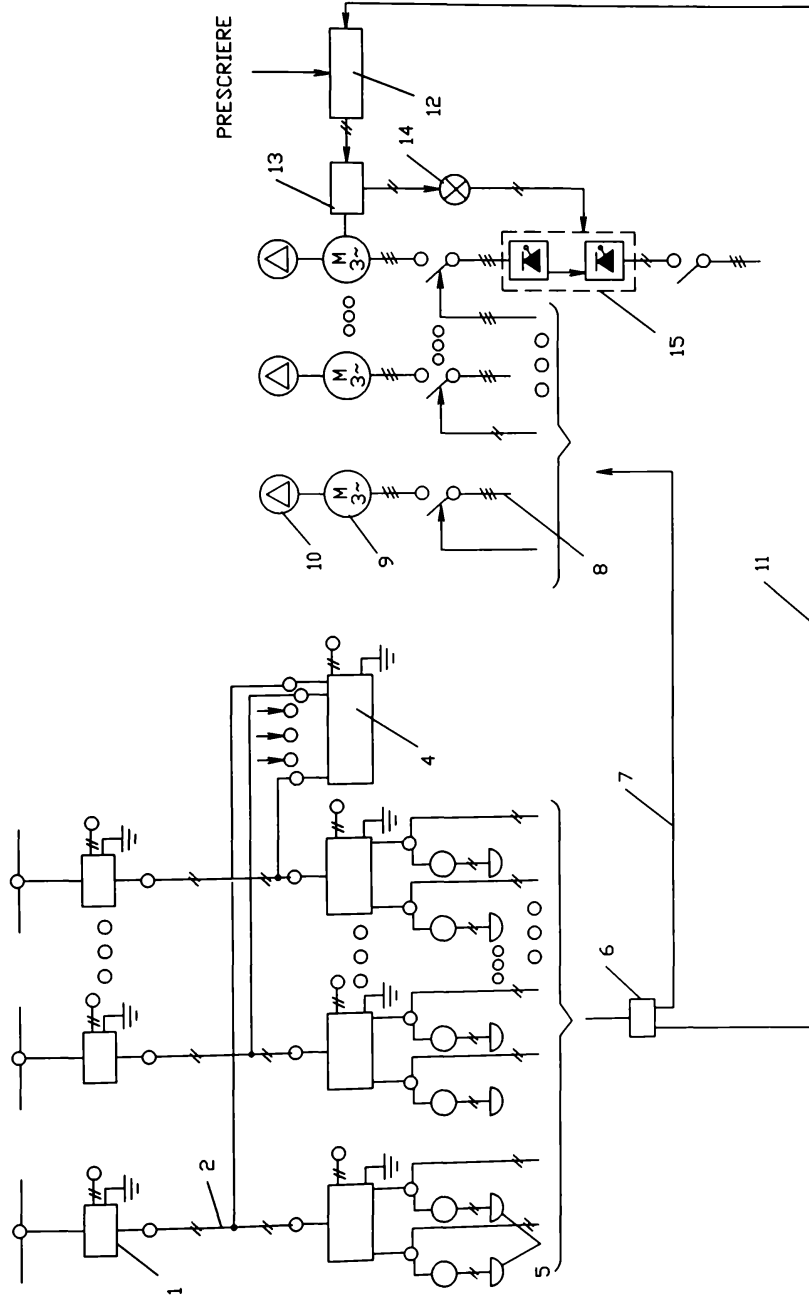


Fig. 5.15 Schema bloc a sistemului de optimizare a funcționării pompelor în sistemele de distribuție a apei folosind reglarea turatiei

1-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-pupitru de semnalizare; 6-programator continuu și discontinuu ELX 733; 8-rețea electrică; 9-motor electric; 10-pompa; 12-calculator de proces; 13-traductor de turatie DT 171; 14-element de comparație; 15-convertizor static de frecvența CSFV

Un producător important pe plan internațional de pompe cu turație variabilă este și firma GRUNDFOS Pumpen Vertrieb Ges.m.b.H. Austria ce comercializează astfel de pompe în țara noastră prin S.C. IURIA S.A. cu sediul în București.

Aceasta execută 2 tipuri de pompe cu turație variabilă:

-cu viteză de rotație reglabilă în trepte(3 sau 4 trepte);

-cu viteză de rotație reglabilă în mod continuu.

iar din punct de vedere a tipului constructiv al dispozitivelor de reglare a vitezei de rotație:

-cu variator de viteză de rotație încorporat (până la 5,5 kW);

-cu variator de viteză de rotație montat în exterior (până la 55 kW).

### 5.2.6. Caracteristicile funcționale și pierderile pentru echipamentele electrice, în cazul cu reglarea turației

Pentru motoare, în cazul fără reglarea turației, interesează curba de variație a randamentului în funcție de puterea la arbore  $\eta_m=f_5(P_{arb})$ . (fig. 5.16) și, numai pentru motoarele asincrone, curba de variație a alunecării  $s=f_7(P_{arb})$ . (fig. 5.17)

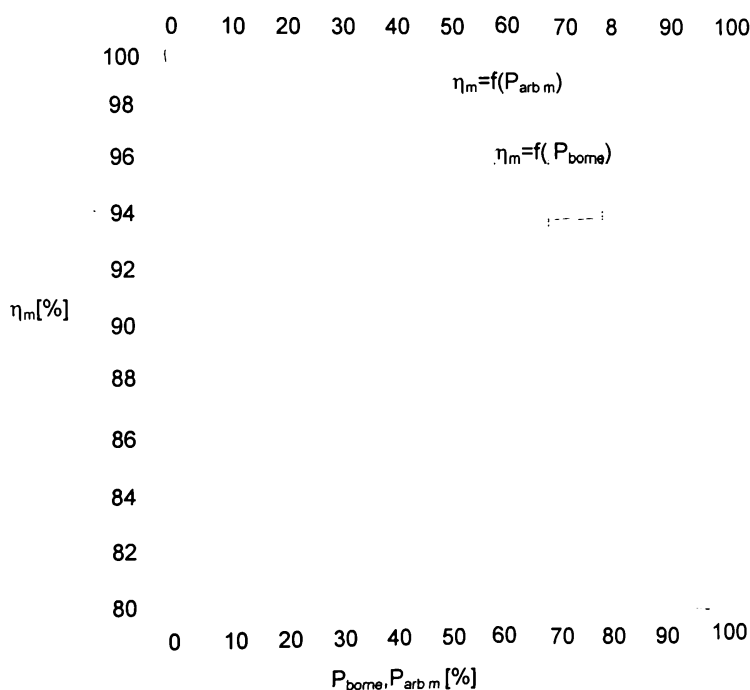


Fig. 5.16: Curbele caracteristice de randament ale motorului în funcție de puterea la borne ( $P_{borne}$ ) și puterea la arbore ( $P_{arb m}$ )

Dar, în cazul pompelor cu turație reglabilă, (conform soluțiilor a, b și c de la cap.5.2.5), echipamentele electrice sunt motoarele, convertizoarele statice de frecvență și, uneori, transformatoarele.

La optimizarea pompării trebuie utilizate curbele de variație a randamentului ale tuturor echipamentelor electrice. La toate aceste echipamente electrice randamentul variază în funcție de doi parametri: puterea la arbore  $P_{arb}$  a motorului și frecvență  $f_2$  de ieșire din convertizor.

Se menționează că, pe lângă rolul său - reglarea frecvenței, convertizorul static de frecvență are și un efect secundar negativ. El induce în rețeaua electrică o serie de armonici, deformând câmpul electromagnetic. Aceste armonici trebuie filtrate cu ajutorul unor filtre speciale, relativ costisitoare. Există un compromis optim între gradul de filtrare și costul filtrării. Oricum câmpul



Fig. 5.17 Curba de alunecare  $s=f(P_{arb})$  pentru diferite motoare asincrone având puterea nominală  $P$  și numărul de perechi de poli  $p$ ;

electromagnetic rămâne puțin deformat. Din această cauză în motorul alimentat de convertizor (și în transformator sau transformatoare, dacă sunt prevăzute) apar, pe lângă pierderile proprii, unele pierderi suplimentare induse de convertizorul static de frecvență. Valorile acestor pierderi suplimentare depind și de convertizor și de gradul de filtrare al armonicilor și de caracteristicile proprii ale motorului (sau ale transformatorului).

Rezultă că, datorită pierderilor suplimentare, curbele de variație ale randamentului în funcție de puterea la arbore  $P_{arb}$  și de frecvența  $f_2$  sunt foarte dificil - poate chiar imposibil de stabilit pe baze teoretice. Dar, în fond, pentru optimizarea energetică a pompării, în locul curbelor de randament separate ale fiecărui echipament electric (motor, convertizor, eventual transformatoare) se pot utiliza curbe ale randamentului global ale ansamblului de echipamente electrice ale unei pompe.

În fond puterea la intrare în primul echipament electric (convertizor pentru cazul a, transformator pentru cazurile b și c) este o putere electrică. Din cauza deformației câmpului electromagnetic, produse de convertizor și numai parțial filtrată, până de curând această putere nu se putea măsura cu aparatura industrială disponibilă. Abia de foarte curând a apărut o asemenea aparatură produsă de concernul internațional ABB.

Cu această aparatură foarte modernă, tot prin măsurări în stația de pompare, se pot stabili și curbele de randament separate, ale fiecărui echipament electric. Acest lucru însă nu mai este necesar pentru optimizarea pompării, ci doar pentru o cercetare în scopul optimizării producerii acestor echipamente electrice, pentru creșterea performanțelor lor.

În toate cazurile (a, b și c) ultimul echipament electric este motorul. Puterea la ieșirea din acest ultim echipament este puterea la arbore  $P_{arb}$ . Această putere mecanică se poate determina prin măsurarea cuplului  $M$  și a turației efective  $n$ .

Se menționează că, pentru măsurarea cuplului  $M$  în stațiile de pompare, nu se pot utiliza cuple torsionometrice, din următoarele cauze:

- s-ar impune îndepărtarea motorului de pompă, lucru costisitor și, în multe stații existente, chiar imposibil;
- pentru puteri relativ mari nu se produc asemenea cuple torsionometrice;

În schimb, cuplul  $M$  se poate determina prin măsurarea forțelor tangențiale  $F$  dintre cele două semicuple ale cuplei mecanice dintre pompă și motor, cunoscând razele  $R$  la care apar aceste forțe. Pe acest principiu se pot cita cel puțin trei brevete de invenție ([43], [142], [153]).

În cazul pompei (sau pompelor) cu reglarea turației, în locul curbelor caracteristice clasice ale motorului, trebuie utilizate legi mai complexe, valabile pentru întregul grup de echipamente electrice (convertizor + motor, sau transformator coborâtor de tensiune + convertizor + motor, sau transformator coborâtor de tensiune + convertizor + transformator suitor de tensiune + motor). Trebuie ținut seama de faptul că randamentul (atât al motorului, cât și al întregului grup de echipamente electrice) variază în funcție de doi parametri, anume în funcție de puterea la arbore și de frecvența de ieșire din convertizor  $f_2$ . Un mod de exprimare a variației randamentului motorului (sau al întregului grup de echipamente electrice) sub forma a 2 figuri (fig. 5.18 și fig. 5.19), se dă în continuare [145].

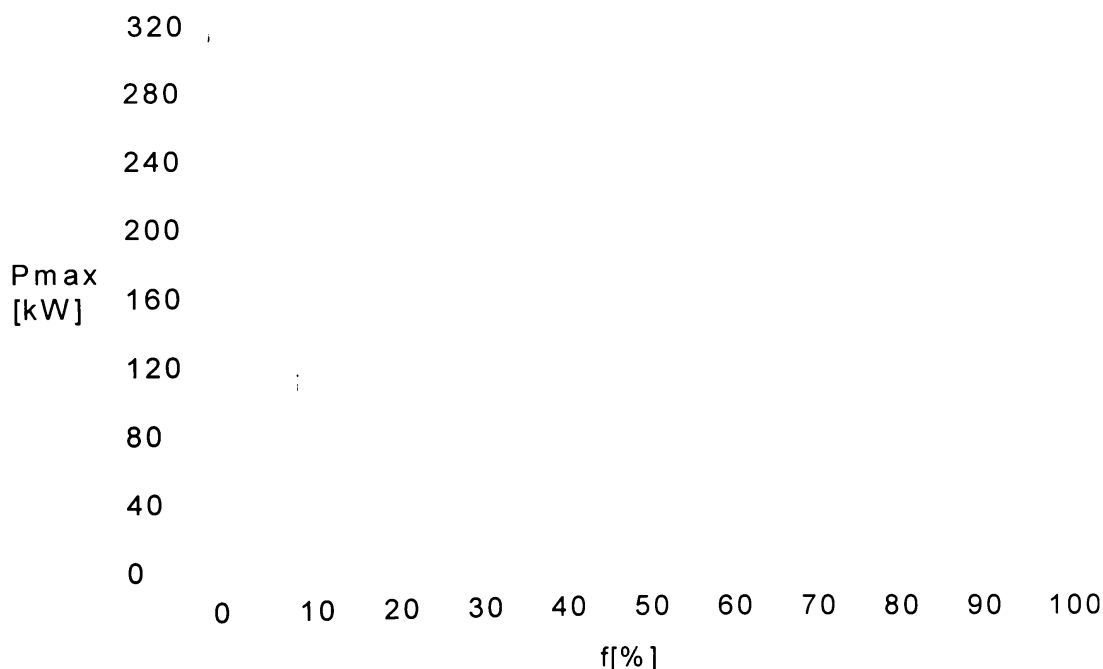


Fig. 5.18: Puterea maximă în funcție de frecvența de funcționare pentru un motor electric.

În figura 5.18 se reprezintă puterea maximă a motorului în funcție de frecvența de alimentare  $f_2$ . Evident că la frecvența nominală (50 Hz, sau 100%) puterea maximă este egală cu puterea nominală a motorului (în figură: 315 kW).

În figura 5.19 se reprezintă, sub forma a 5 curbe, variația randamentului motorului în funcție de puterea relativă  $P_r$ , pentru 5 valori ale frecvenței  $f_2$  (50 Hz, 40 Hz, 30 Hz, 20 Hz, 10 Hz). Puterea relativă  $P_r$  este egală cu raportul între puterea efectivă  $P$  și puterea maximă  $P_{maxf}$  la frecvența respectivă:

$$P_r (\%) = 100 \cdot P / P_{maxf} \quad (5.46)$$

Evident, cu alte valori, figura 5.19 se poate da și pentru întregul grup de echipamente (de exemplu motor + convertizor, etc.).



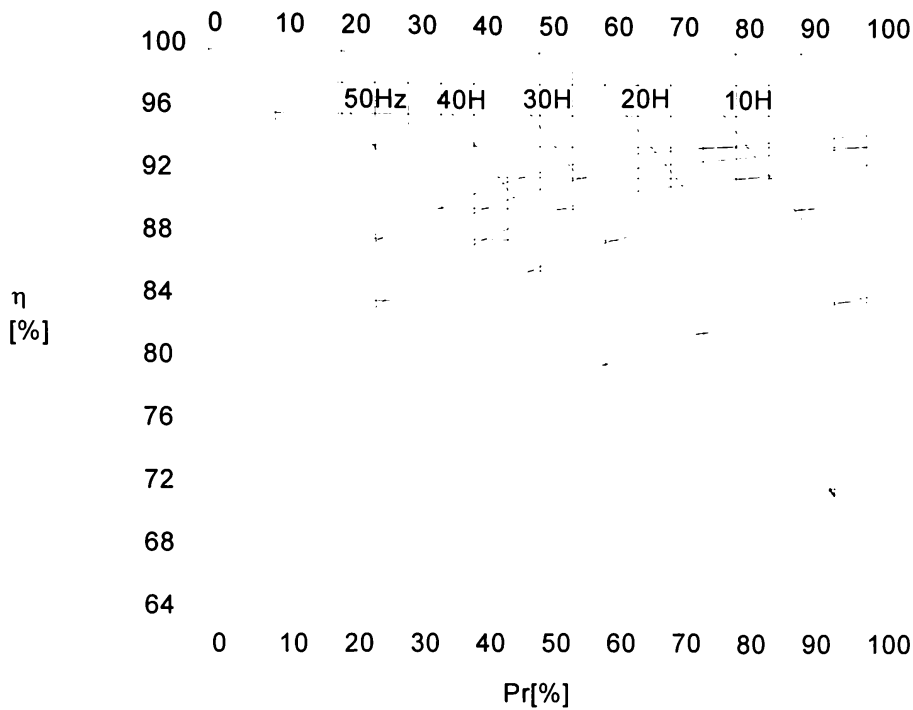


Fig. 5.19: Curbele de randament pentru un motor asincron funcție de puterea relativă  $P_r$ , la frecvențele de 50, 40, 30, 20, 10 Hz

### 5.2.7 Pierderile în vanele închise parțial

Ținând seama de numărul redus de tipodimensiuni și de dezvoltarea ulterioară a zonei deservite, pompele pentru asigurarea parametrilor funcționali ai instalației de pompare se alegeau, până acum, 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 muta spre zona debitelor mari, chiar în afara diagramelor date de furnizor.

În vederea creșterii randamentului sistemului și implicit, reducerii consumului energetic, era necesară deplasarea punctului de funcționare spre O (fig. 5.20). În acest scop s-a utilizat *procedeul de reglaj prin vana de refulare*.

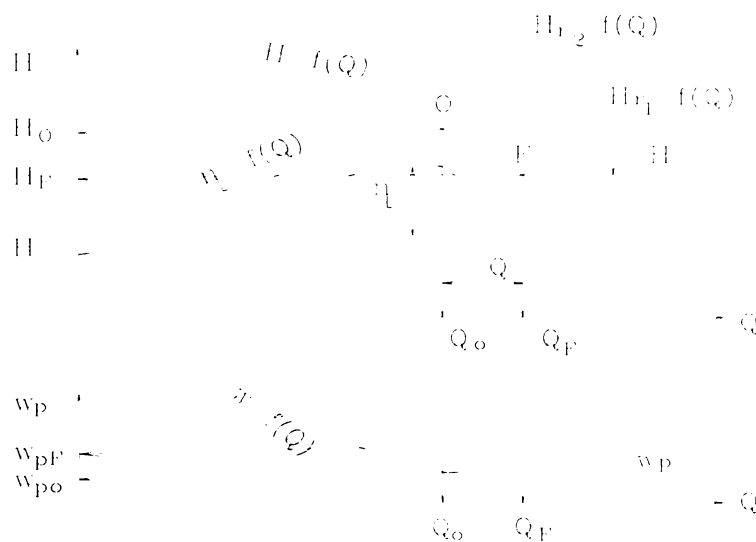


Fig. 5.20 Reglarea debitului cu ajutorul vanei de refulare

Obturând 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  $w_{po}=w_{pmin}$ , iar randamentul pompei crește de la  $\eta_F$  la  $\eta_0$ .

Creșterea sarcinii de pompare conduce la scăderea randamentului hidraulic al rețelei  $\eta_r$ , motiv pentru care se afirmă în literatură [5], [65], [134], [138] că reglajul prin vana de refulare este un procedeu nerecomandat din punct de vedere energetic, deoarece duce la scăderea randamentului global al sistemului  $\eta_t$ .

Pentru a evita apariția creșterii artificiale a presiunii de pompare, prin închiderea parțială a vanelor, în vederea evitării fenomenului de cavitație, (ceea ce duce, pe de o parte, la pierderi însemnate de energie, iar, pe de altă parte, nu permite automatizarea procesului de pompare) se poate preconiza, la proiectarea unei noi stații de pompare, verificarea grafică a încadrării tuturor regimurilor preliminate Q-H ale stației în domeniul de funcționare al fiecăreia dintre soluțiile de echipare considerate [141]. Astfel, la fiecare soluție considerată și pentru fiecare pompă, în condițiile concrete ale stației respective, considerând cota axului pompei față de nivelul minim de aspirație, pierderile de presiune dintre bazinul de aspirație și intrarea în pompă, precum și curba de cavitație  $NPSH=f_3(Q)$  se determină înălțimea minimă de pompare  $H_{lim}$  la care pompa poate funcționa fără fenomene de cavitație și cu vana de la refulare complet deschisă.

Se limitează curba Q-H a pompei respective, eliminând porțiunea de curbă cu valori H inferioare limitei  $H_{lim}$  stabilite mai sus. Din curbele Q-H astfel limitate ale tuturor pompelor considerate la o soluție de echipare se compune domeniul Q-H al stației (fig. 5.21.a).

Pe același desen se reprezintă prin puncte regimurile Q-H preliminate. Dacă unele puncte sunt situate sub domeniul Q-H al stației, înseamnă că, la regimurile reprezentate de acele puncte, pompele vor cavita dacă nu se închid parțial vanele de la refulare. Deci pompele au fost alese nepotrivit, caracteristicile lor nefiind corelate cu domeniul Q-H al stației (fig. 5.21.b).

Dacă toate punctele sunt situate în interiorul domeniului Q-H, înseamnă că soluția de echipare respectivă permite funcționarea, la toate regimurile preliminate Q-H, fără închideri parțiale ale vanelor de la refularea pompelor, deci se elimină pierderile în vane (fig. 5.21.c).

În continuare, după eliminarea soluțiilor de echipare care nu permit eliminarea pierderilor în vane, se face selecția soluției optime de echipare, dintre soluțiile rămase.

În cazul stațiilor de pompare existente, pentru a adapta  $NPSH_n$  (necesar) la cel asigurat de instalație  $NPSH_d$  (disponibil) se impune închiderea parțială a vanei din refularea pompei pentru a evita apariția cavitației, realizând astfel o rezistență locală suplimentară în care se disipează o mare cantitate de energie.

Determinările experimentale și calculele efectuate au indicat că în acest mod se disipă până la 28-30% din energia motorului de antrenare.

Pornind de la aceste fapte precum și de la ideea unor modificări minime în instalațiile de pompare, care nu puteau fi scoase din funcțiune decât un timp foarte scurt, s-a ajuns la soluția de ameliorare a funcționării pompelor existente prin modificarea ansamblurilor rotorice conform situațiilor concrete din stațiile de pompare, concomitent cu reducerea consumului de energie electrică.

Pentru studiul de caz, alimentarea cu apă potabilă a municipiului Timișoara, s-au determinat o multitudine de parametri referitori la stațiile de pompare treapta a-II-a, prezentați detaliat în paragrafele 3.4, 5.2.7 și anexa 4.

Se pot observa astfel valorile reduse ale randamentelor pompelor mai ales la Uzina de apă nr.5 și Uzina de apă nr.1.

În figurile 5.22, 5.23, 5.24 și 5.25 sunt reprezentate grafic frecvențele de apariție a randamentelor stațiilor de pompare treapta a-II-a de la Uzinele de apă nr.1,2,4 și 5, pentru cele 3 perioade de calcul (iarnă, vară și an). Pe abscisă sunt reprezentate valorile procentuale ale randamentelor, iar pe ordonată, frecvența de apariție a acestora, în ore.

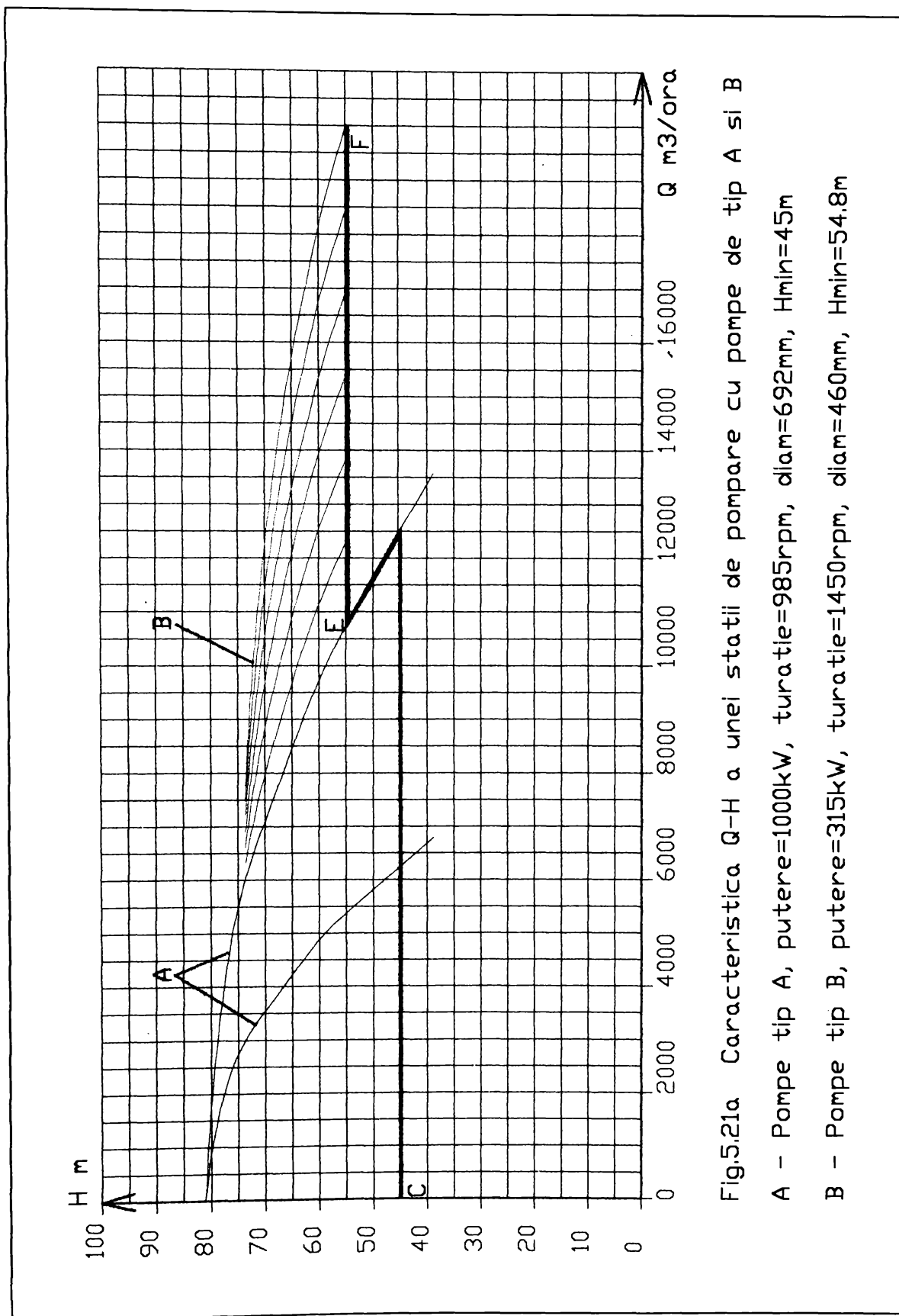


Fig.5.21a Caracteristica Q-H a unei statii de pompare cu pompe de tip A si B

A - Pompe tip A, putere=1000kW, turatie=985rpm, diam=692mm, Hmin=45m

B - Pompe tip B, putere=315kW, turatie=1450rpm, diam=460mm, Hmin=54.8m

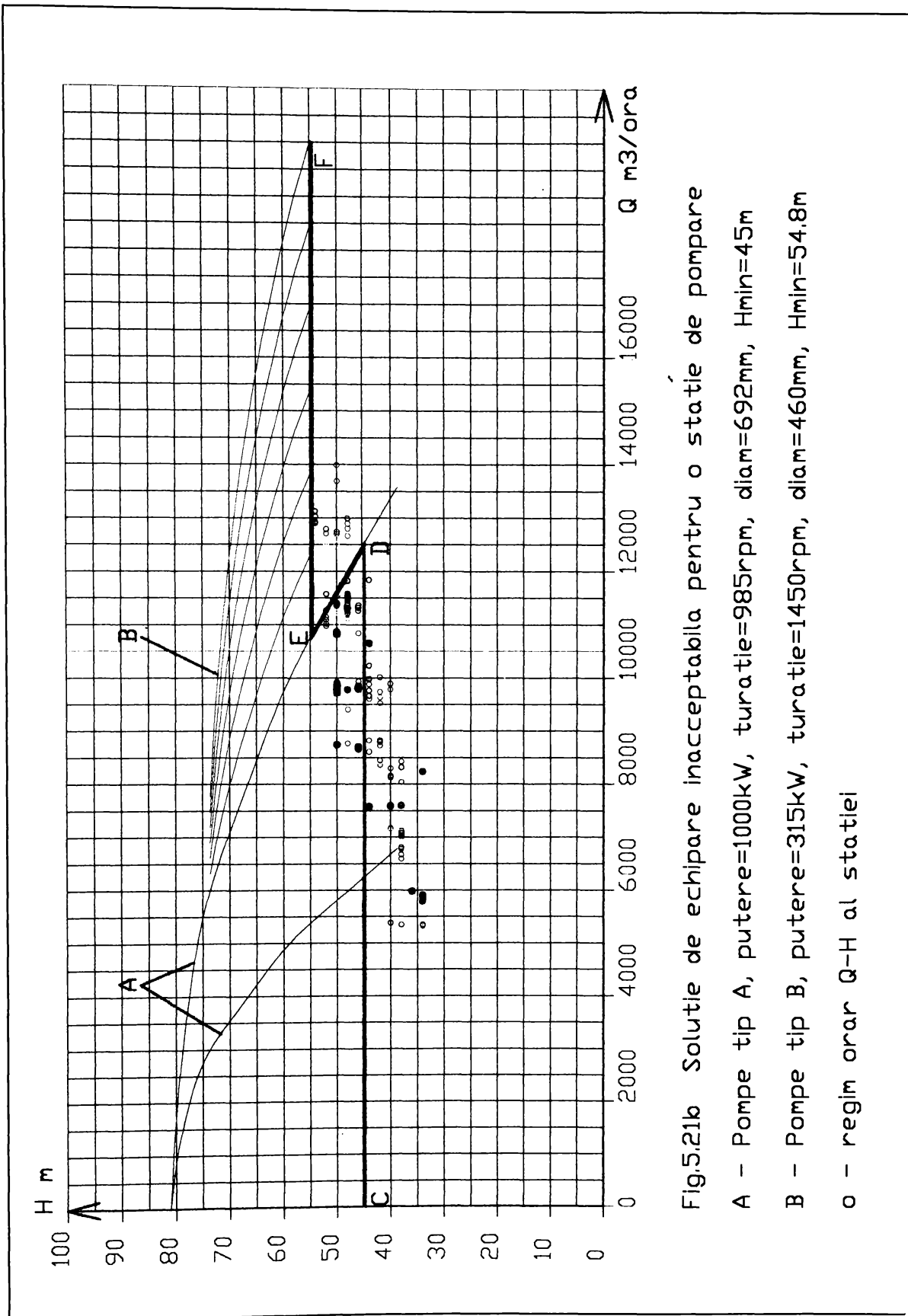


Fig.5.21b Solutie de echipare inacceptabila pentru o statie de pompare

A - Pompe tip A, putere=1000kW, turatie=985rpm, diam=692mm, Hmin=45m

B - Pompe tip B, putere=315kW, turatie=1450rpm, diam=460mm, Hmin=54.8m

o - regim orar Q-H al statiei

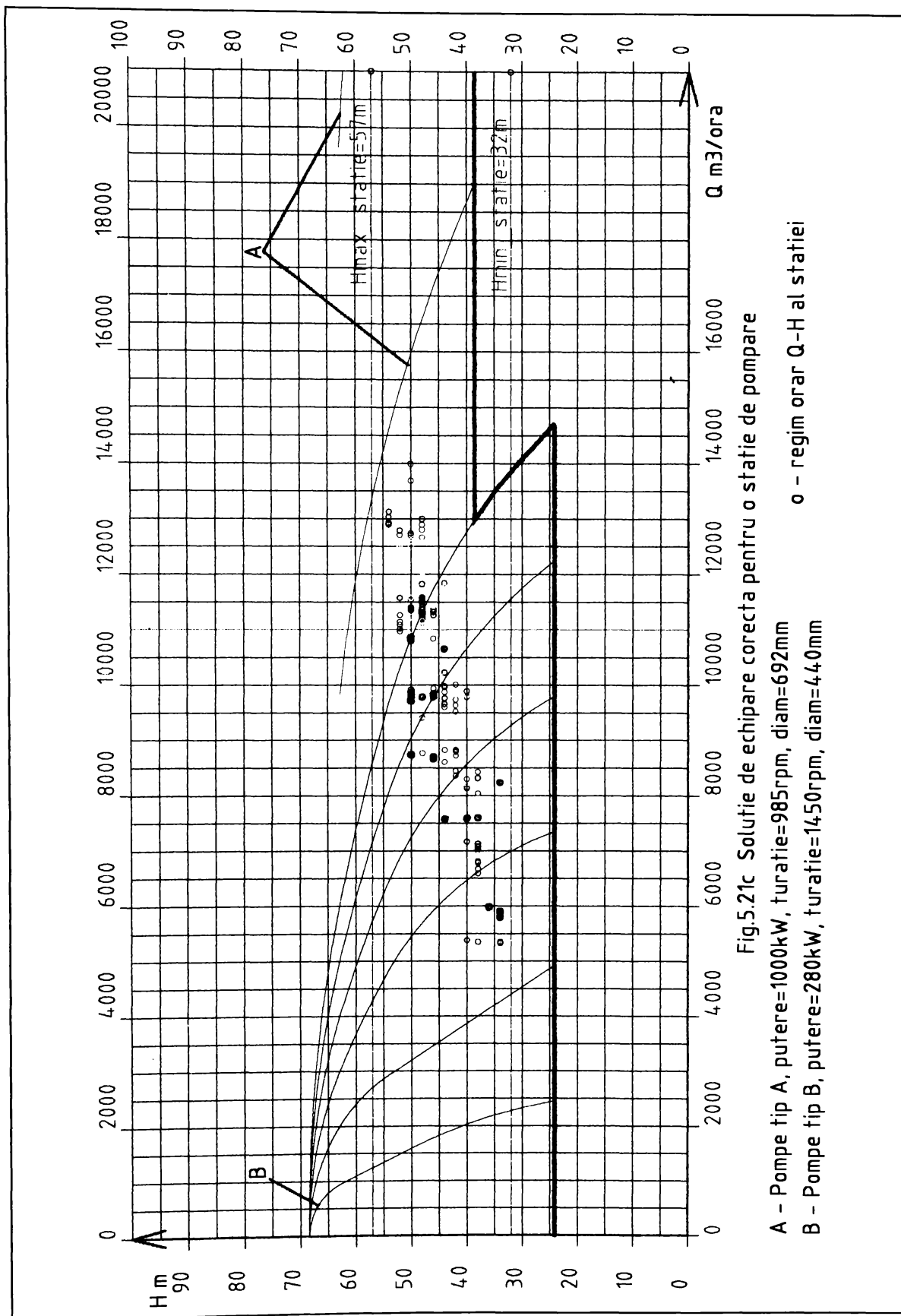


Fig.5.21c Soluție de echipare corectă pentru o stație de pompare

A - Pompe tip A, putere=1000kW, turatie=985rpm, diam=692mm  
 B - Pompe tip B, putere=280kW, turatie=1450rpm, diam=440mm

o - regim orar Q-H al stației

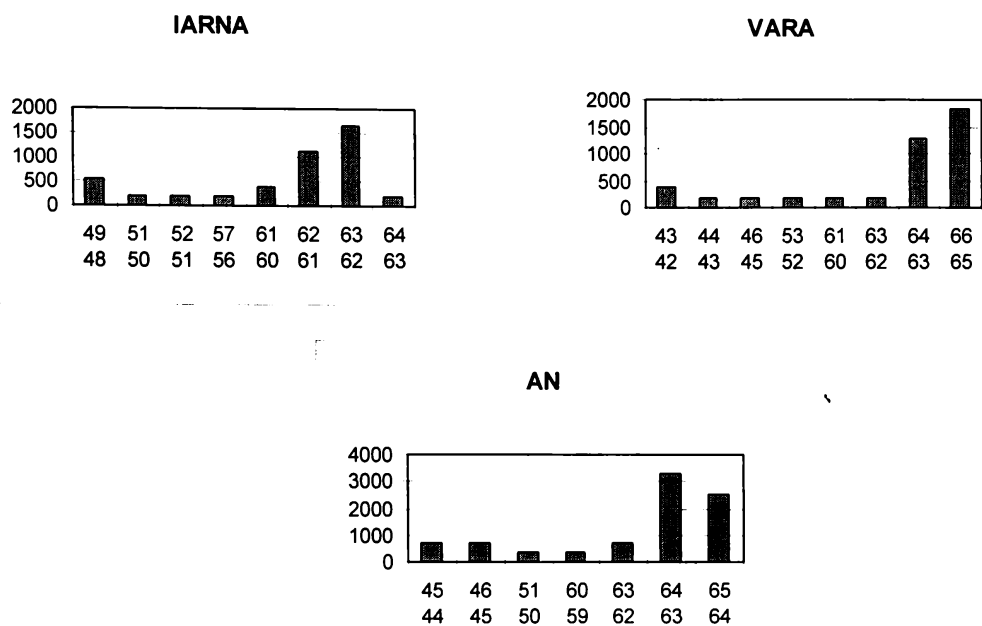


Fig. 5.22 Frecvența de apariție a randamentelor globale ale stației de pompare treapta a-II-a de la Uzina de apă nr.1

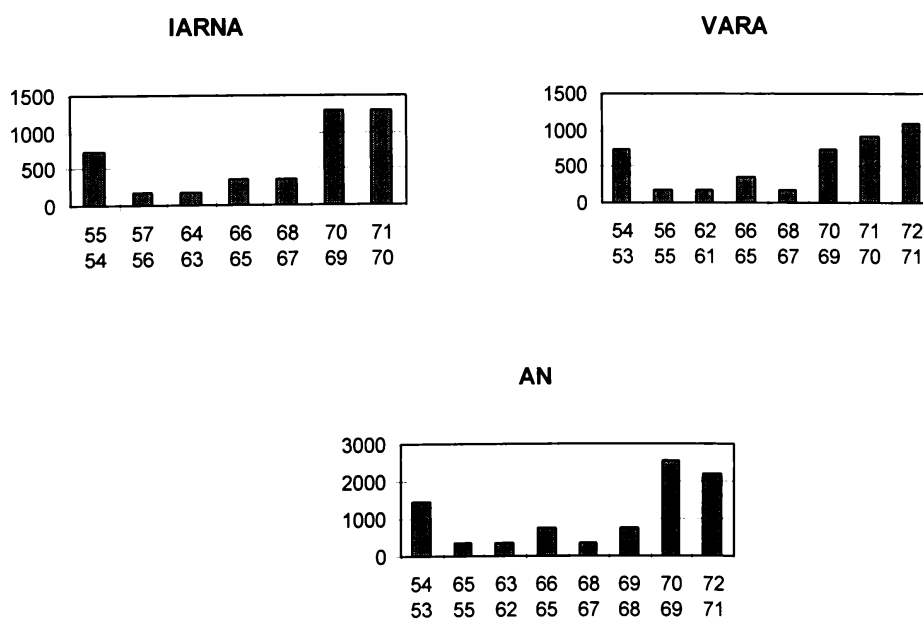


Fig. 5.23 Frecvența de apariție a randamentelor globale ale stației de pompare treapta a-II-a de la Uzina de apă nr.2

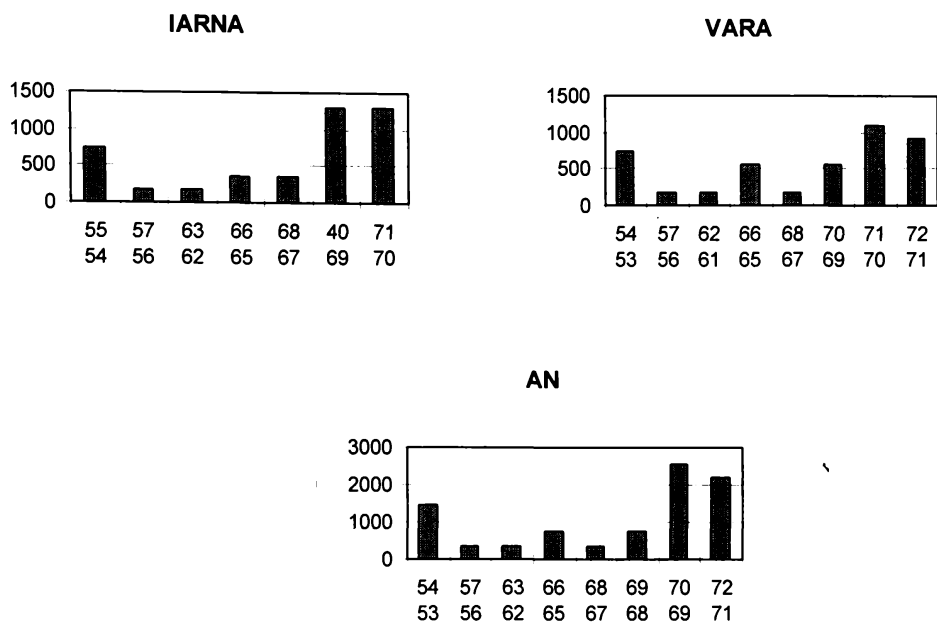


Fig. 5.24 Frecvența de apariție a randamentelor globale ale stației de pompare treapta a-II-a de la Uzina de apă nr.4

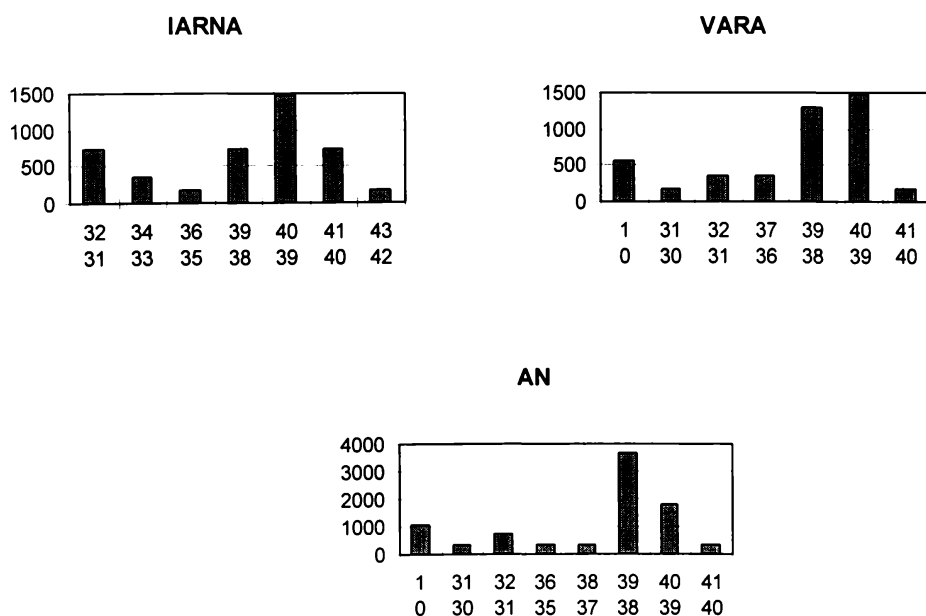


Fig. 5.25 Frecvența de apariție a randamentelor globale ale stației de pompare treapta a-II-a de la Uzina de apă nr.5

Astfel, în urma măsurărilor efectuate și a rezultatelor obținute, o primă aplicare a retrofitației, s-a realizat la stația de pompare a Uzinei de apă nr.5, prin înlocuirea rotorului clasic 12 NDS cu rotor 12 NDS ASPOFIT, construit de firma AS-PO București. În același context, al măririi

randamentelor instalațiilor de pompare din dotarea R.A. AQUATIM Timișoara cu investiții reduse, se preconizează modificarea rotoarelor pompelor și din stația de pompare de la Uzina de apă nr.1 (retrofitarea rotorului pompei 18NDS).

### 5.2.8 Pierderile și randamentele globale ale unei stații de pompare

În condițiile în care, la o stație de pompare, debitul total al stației  $Q_{st}$  și înălțimea de pompare  $H$  variază continuu, maximalizarea continuă a randamentului global al stației se asigură, principal, printr-o distribuție optimizată continuu a debitului  $Q_{st}$  între pompele disponibile. Calculul acestei distribuții optime a valorii  $Q_{st}$  utilizează curbele  $Q-H$  și  $\eta_p=f_1(Q)$  pentru fiecare pompă, precum și curbele  $\eta_m=f_5(P_{arb})$  și  $s=f_7(P_{arb})$  pentru fiecare motor de antrenare al pompelor fără reglarea turației.

În cazul pompei (pompelor) cu reglarea turației se consideră, pe lângă curbele  $Q-H$  și  $\eta_p=f_1(Q)$  și relațiile (5.37)...(5.40), iar pentru echipamentele electrice se ține seama de cele de la paragraful 5.2.6. Pentru a determina efectiv distribuția optimă a debitului  $Q_{st}$  se consideră toate combinațiile posibile de pompe disponibile, combinații care asigură, fiecare în parte, debitul  $Q_{st}$  și înălțimea de pompare  $H$ . Pentru fiecare combinație considerată se calculează randamentul global al stației și se adoptă, ca fiind optimă, combinația care prezintă valoarea maximă pentru acest randament global.

În cazul unei stații cu toate pompele de același tip, cu același diametru rotoric, antrenate de motoare de același tip, toate curbele caracteristice (atât pentru pompe, cât și pentru motoare) vor fi aceleași, pentru oricare din electropompe. Dacă, în plus, stația are o singură pompă cu turație reglabilă, sau nici una, atunci, în orice moment, există o singură combinație de pompe disponibile. În acest caz calculul de optimizare nu se justifică.

Dar, în realitate, există numeroase stații cu electropompe de tipuri diferite (ca tip de pompă și/sau ca tip de motor și/sau ca diametru rotoric). În acest caz, în aceeași stație, se folosesc mai multe curbe caracteristice ale pompelor și/sau motoarelor, existând, cel puțin în unele perioade, mai multe combinații de electropompe disponibile care pot asigura  $Q_{st}$  și  $H$ . În acest caz se justifică deci calculul optimizării. Mai mult, după un timp de funcționare, mai multe pompe, inițial absolut similare, deci cu aceleași curbe funcționale caracteristice, se pot uza în mod diferit, ajungând să aibă curbe diferite. După actualizarea, prin măsurări adecvate, a acestor curbe, se ajunge la un număr și mai mare de combinații posibile, diferite între ele ca randament global. Deci, cu atât mai mult crește numărul de stații la care optimizarea exploatarei se justifică.

Pentru stațiile de pompare treapta a-II-a de la Uzinele de apă nr.1,2,4, și 5 s-au determinat debitele pompate, randamentele globale și puterile, precizate în tabele în anexa 4 (determinarea lor este prezentată în paragraful 3.4).

Valorile obținute impun necesitatea optimizării funcționării stațiilor de pompare, ținând cont de cele precizate anterior în paragrafele capitolului 5.

### 5.3 Parametrii funcționali la o stație de pompare și măsurarea lor

Una sau mai multe stații de pompare deservesc câte o rețea (de exemplu de irigații, sau de alimentare cu apă a unei localități, etc....). Obiectivul oricărei stații de pompare constă în asigurarea debitului total  $Q_{st}$  și a înălțimii de pompare  $H_{st}$  solicitate de rețea. Deoarece valorile solicitate  $Q_{st}$  și  $H_{st}$  variază în timp, stația trebuie să asigure această variație. Variația grosieră este asigurată prin pornirea / oprirea unor pompe fără reglarea turației, iar reglajul fin prin reglarea turației unei (unor) pompe.

Reglarea turației se realizează prin alimentarea motoarelor electrice prin intermediul unor convertizoare statice de frecvență. Convertizoarele sunt alimentate cu curent electric de la rețeaua



publică (la frecvența  $f_1=50$  Hz în Europa, Asia și Africa, sau  $f_1=60$  Hz în America); la ieșirea din convertizor curentul are o frecvență reglată  $f_2$ . Motorul alimentat de convertizorul de frecvență va avea o turație  $n$  proporțională cu frecvența de ieșire din convertizor  $f_2$ .

Deci scopul exploatarei unei stații de pompare constă în asigurarea continuă a debitului variabil necesar  $Q_{st}$  la înălțimea de pompare variabilă necesară  $H$ .

Scopul optimizării unei stații de pompare constă, în primul rând, în realizarea, în fiecare moment, a unui randament global al stației de valoare maximă. Datorită variației în timp a valorilor  $Q_{st}$  și  $H$ , optimizarea exploatarei se poate asigura numai în cadrul automatizării stației de pompare, sub controlul unui calculator electronic, pe care s-au implementat programe de calcul special elaborate.

Aceste programe utilizează curbele caracteristice (sau caracteristicile funcționale) ale pompelor și echipamentelor electrice - motoare, iar în cazul turației reglabile și convertizoare de frecvență, eventual și transformatoare.

Evident că este necesar ca aceste curbe caracteristice să fie cât mai exacte. Dar, în timp, unele din aceste curbe caracteristice ale echipamentelor se modifică, în principal datorită uzurii fizice a acestor echipamente. De aceea este necesar ca aceste curbe caracteristice să fie actualizate, în stația de pompare, pentru fiecare electropompă în parte, prin măsurarea simultană a mai multor parametri. Unul din cei mai importanți parametri care trebuie mășurați este puterea electrică absorbită de fiecare echipament electric.

Dar, convertizoarele de frecvență au și un efect secundar dăunător. Ele induc în vecinătatea lor o serie de armonici; filtrarea acestora este scumpă. Se realizează un compromis între gradul lor de filtrare și costul filtrării. Deci, cu toată filtrarea, câmpul electromagnetic rămâne deformat într-o anumită măsură. În aceste condiții aparatura clasică nu putea măsura cu precizie puterea electrică absorbită de echipamentele electrice (motoare, eventual transformatoare). Din această cauză nu se puteau ridica cu precizie curbele caracteristice și, în ultima instanță, nu se putea preconiza o adevărată optimizare, care impune utilizarea curbelor caracteristice reale.

Noile traductoare, tip ABB Power Plus Alphameter, produse de către concernul internațional ABB începând din 1996-1997, inclusiv la ABB Rometrics SRL Timișoara, schimbă în bine întreaga situație, fiind capabile să efectueze măsurarea precisă a puterii electrice, chiar în condițiile dificile ale câmpului electromagnetic deformat de convertizoarele de frecvență.

Parametrii funcționali necesari pentru determinarea, respectiv actualizarea tuturor curbelor funcționale ale echipamentelor stațiilor de pompare, în vederea optimizării pomparei, sunt parametrii globali ai stației și parametrii funcționali ai echipamentelor; ambele categorii de parametri sunt tratate în paragrafele următoare. În plus, în scopul exclusiv al depistării precoce a avariilor, pentru protecția echipamentelor, se mai măsoară și alți parametri, anume:

- temperaturi în lagăre și în motoarele electrice;
- vibrații în lagăre ,etc.

### 5.3.1 Parametrii globali ai stației

Parametrii globali ai stației de pompare sunt:

- puterea consumată;
- debitul stației de pompare  $Q_{st}$ ;
- înălțimea de pompare  $H_{st}$ .

Cunoașterea lor se impune în relațiile comerciale cu beneficiarii. Puterea consumată trebuie determinată permanent pentru relația cu furnizorul de energie electrică RENEL. Debitul stației de pompare  $Q_{st}$  și înălțimea de pompare a stației  $H_{st}$  trebuiesc cunoscute pentru relația cu beneficiarii, asigurarea acestor parametri, în funcție de cerințele rețelei de alimentare cu apă, fiind de fapt obiectivul oricărei stații de pompare.

### 5.3.2 Parametrii funcționali ai echipamentelor

Urmărirea și măsurarea parametrilor echipamentelor stațiilor de pompare, se impune ca o necesitate în procesul de optimizare energetică a exploatarei unei stații de pompare. Cei cinci parametri care trebuie cunoscuți pentru fiecare electropompa în parte sunt:

- debitul pompei  $Q_p$ ;
- înălțimea de pompare  $H$ ;
- momentul sau cuplul la arborele electromotorului pompei  $M$ ;
- turația electromotorului  $n$ ;
- puterea la borne  $P_{\text{borne}}$  sau puterea la intrarea în grupul de echipamente electrice

aferente unei pompe cu turație variabilă.

#### Determinarea debitului $Q_p$ al fiecărei pompe

Traductoarele cu ultrasunete permit măsurarea continuă, precisă și comodă a debitului, fără să mai impună pierderi de presiune, ca în metodele bazate pe diafragmă sau pe venturimetru. Evident însă că măsurarea trebuie făcută pe o porțiune de conductă dreaptă, suficient de lungă, pentru a se evita influența perturbatoare a coturilor, vanelor, etc.

În multe stații de pompare existente în prezent, asemenea condiții de măsurare a debitului pentru pompele individuale, nu există, deoarece nu s-au prevăzut prin proiect. Pentru viitor se recomandă deci, ca la proiectarea noilor stații de pompare, să se creeze condiții pentru măsurarea debitului  $Q_p$  a fiecărei pompe în parte. Costurile suplimentare, necesare acestor condiții, sunt oricum mai mici decât pierderile provocate de utilizarea unor pompe cu randamente de exploatare modeste. Iar randamentele de exploatare modeste se pot datora atât deteriorării curbei de randament a pompelor, cauzate de uzura lor, cât și funcționării la regimuri departe de cele optime, din cauza necunoașterii caracteristicilor funcționale reale, diferite de cele inițiale, de la achiziționarea pompelor.

Pentru stațiile de pompare existente, condițiile pentru măsurarea debitului  $Q_p$  a fiecărei pompe trebuie create, măcar provizoriu, prin instalarea de conducte suplimentare, prevăzute exclusiv pentru durata unor actualizări periodice, prin măsurări, a curbelor funcționale ale echipamentelor. Pentru stațiile de pompare la care nu se măsoară permanent debitul  $Q_p$  al fiecărei pompe, trebuie să se considere debitul corespunzător înălțimii de pompare  $H$  măsurate, rezultat din curba  $Q-H$  actualizată ultima oară. Evident, se va ține seama de toate elementele de influențare, inclusiv de valoarea reală a turației  $n$ .

#### Măsurarea înălțimii de pompare $H$

Trebuie măsurată atât presiunea la refularea pompei, cât și nivelul în bazinul de aspirație, sau presiunea la aspirație, deoarece înălțimea de pompare se calculează din aceste mărimi, conform oricărui standard tehnic.

Deci, fie se măsoară separat cele 2 presiuni (la refulare și la aspirație), fie se măsoară direct diferența lor, cu un traductor diferențial.

Se mai menționează că, în cazul unui grup de pompe care funcționează permanent cu vanele de la refulare complet deschise, având pompe cu aspirație din bazine cu același nivel și refulând în același rezervor, măsurarea înălțimii de pompare se poate simplifica, deoarece presiunile, atât la refularea, cât și la aspirația tuturor pompelor, sunt egale.

Măsurătorile pentru determinarea înălțimii de pompare  $H$  trebuie să fie permanente. Numai astfel se va putea aprecia - chiar dacă aproximativ - și debitul individual  $Q_p$  al fiecărei pompe și se va putea realiza o conducere optimă a procesului de pompare.

#### Măsurarea cuplului la arbore $M$

Măsurarea cuplului  $M$  este necesară pentru separarea pierderilor din pompa de cele din grupul de echipamente electrice. Această separare este necesară în special la pompele cu turație reglabilă, din cauza complexității pierderilor din grupul de echipamente electrice.

La pompele fără reglarea turației, când se cunoaște curba de randament a motorului de antrenare  $\eta_m = f_4(P_{\text{borne}})$ , se admite ca măsurarea cuplului  $M$  să se facă numai pentru verificarea

acestei curbe, deci periodic. Dacă această curbă se verifică și nu se modifică, atunci se poate renunța la măsurarea  $M$ .

### **Determinarea turației $n$**

Se disting două grupe mari de motoare electrice de curent continuu, anume motoare sincrone și motoare asincrone.

*Pompe cu motoare sincrone:*

- în cazul pompelor fără reglarea turației, turația  $n$  este constantă în timp (turația sincronă) și cunoscută de la adoptarea motorului.

- în cazul pompelor cu turație reglabilă trebuie determinată turația  $n$ , fie prin măsurare directă, fie prin măsurarea frecvenței  $f_2$ .

*Pompe cu motoare asincrone* (în acest caz este strict necesară determinarea turației efective  $n$ , atât pentru pompele cu turație reglabilă, cât și pentru cele fără reglarea turației):

- în cazul pompelor fără reglarea turației, turația variază odată cu alunecarea  $s$  a motorului, chiar dacă în limite restrânse. Pentru a conduce optim pomparea este necesară determinarea permanentă a valorii efective a turației  $n$ . Determinarea se poate face fie prin măsurare directă (și continuă) a turației  $n$ , fie prin considerarea curbei de alunecare a motorului asincron  $s=f_6(P_{\text{borne}})$  și măsurarea continuă a puterii la borne  $P_{\text{borne}}$  la motorul de antrenare.

- în cazul pompelor cu reglarea turației, este necesară determinarea turației efective  $n$ , exclusiv prin măsurarea directă și continuă a acesteia. Nu ar fi suficientă cunoașterea în permanență a frecvenței  $f_2$  de ieșire din convertizorul de frecvență, datorită caracterului asincron al motorului, căci ar trebui în acest caz să se cunoască și utilizeze o lege de variație a alunecării  $s$  în funcție de doi parametri - puterea și frecvența  $f_2$ , lege dificil de determinat cu precizie.

### **Măsurarea puterii la borne $P_{\text{borne}}$**

În toate cazurile (pompe antrenate de motoare sincrone și asincrone, cu sau fără reglarea turației) se recomandă măsurarea directă și continuă a puterii electrice  $P_{\text{borne}}$  pentru fiecare motor de antrenare. Determinarea acestor puteri pe cale indirectă este relativ imprecisă.

### **5.3.3 Parametrii urmăriți pentru prevenirea avariilor**

Măsurarea altor parametri cum ar fi temperaturile în lagăre și motoarele electrice, vibrații în lagăre, se face numai pentru a depista precoce apariția unor defecțiuni, pentru protecția mașinilor.

Acești parametri a căror urmărire contribuie exclusiv la depistarea precoce a unor manifestări anormale (temperaturile și vibrațiile în toate lagărele), în scopul evitării unor avarii, nu trebuie neapărat monitorizați. Ei pot fi urmăriți continuu prin mijloace semiautomate, soluție mult mai ieftină, mai fiabilă și cu aceleași funcționalități ca și monitorizarea continuă.

Pentru optimizarea energetică a exploatării unei stații de pompare ajunge determinarea exclusiv a celor 5 parametri menționați anterior, pentru fiecare pompă în parte (debitul  $Q_p$ , înălțimea de pompare  $H$ , cuplul la arbore  $M$ , turația efectivă  $n$  și puterea la borne  $P_{\text{borne}}$ ).

### **5.3.4 Optimizarea urmăririi parametrilor**

Dacă parametrii globali ai stației de pompare sunt necesari în relațiile cu beneficiarii, pentru optimizarea energetică a exploatării unei stații de pompare ajunge determinarea exclusiv a celor 5 parametri menționați anterior, pentru fiecare pompă în parte (debitul  $Q_p$ , înălțimea de pompare  $H$ , cuplul la arbore  $M$ , turația efectivă  $n$  și puterea la borne  $P_{\text{borne}}$ ).

Pentru fiecare agregat de pompare trebuiesc monitorizați minimum doi parametri ( $H$  și  $P_{\text{borne}}$ ); pe baza acestor parametri se poate stabili, în fiecare moment, gradul global de uzură a electropompei respective, pe baza determinării distanței dintre punctele reale de funcționare și caracteristicile funcționale ale echipamentelor. Atunci când distanța este relativ mică, înseamnă că s-a ajuns la o uzură pronunțată, iar curbele funcționale caracteristice mai pot fi considerate valabile. Când distanța este relativ mare, înseamnă că nu mai sunt valabile curbele caracteristice stabilite

anterior și se impune actualizarea (sau reactualizarea) acestora, pe bază de măsurare simultană a mai multor parametri.

Dacă furnizorul de motoare garantează că graficul 5.32  $\eta_m=f_5(P_{arb})$  și graficul 5.33  $s=f_7(P_{arb})$  rămân neschimbate pe toată durata de viață a pompelor, atunci, pentru actualizarea numai a caracteristicilor unei pompe, adică a curbelor Q-H și  $\eta_p=f_1(Q)$ , este suficient ca, pe lângă monitorizarea H și  $P_{borne}$  să se măsoare în plus și debitul pompei  $Q_p$ . Debitul  $Q_p$  se poate măsura periodic, doar pentru a verifica dacă caracteristica internă a pompei, grafic 5.1, a suferit modificări sau nu.

În caz contrar, se impune măsurarea simultan cu H,  $P_{borne}$  și  $Q_p$  și a parametrilor M și n, dar periodic, pentru a putea verifica cele două grafice  $\eta_m=f(P_{arb})$  și  $s=f(P_{arb})$ .

Evident că:

- parametrii suplimentari, care se măsoară numai ocazional, pentru reactualizarea curbelor funcționale ( $Q_p$ , eventual M și n) se pot măsura cu aparatură mobilă, care se mută de la o pompă la alta, chiar din stații diferite;

- parametrii suplimentari se determină la regimuri numeroase (minimum 24 ore), pentru a se determina noile curbe caracteristice pe un domeniu cât mai larg.

În cazul pompelor cu turație reglabilă apar convertizoarele statice de frecvență și uneori și transformatoarele. La optimizarea pomparei se utilizează, în locul curbelor caracteristice ale motorului, legi mai complexe, curbele de variație a randamentelor tuturor echipamentelor electrice în funcție de doi parametri: puterea la arbore  $P_{arb}$  a motorului și frecvența  $f_2$  de ieșire din convertizor, prezentate în capitolul 5.2.2.2.

#### 5.4 Optimizarea exploatării unei stații de pompare

O stație de pompare trebuie să asigure, în fiecare moment, un debit total  $Q_{statie}$  la o înălțime de pompare H. Evident că valorile  $Q_{statie}$  și H variază în timp, conform consumului din rețea. Prin optimizarea exploatării se urmărește ca valorile  $Q_{statie}$  și H să fie satisfăcute în permanență și, în plus, în fiecare moment să se realizeze un randament global al stației de valoare maximă posibilă.

Dar, mai ales la stații cu mai multe tipuri de pompe, valorile  $Q_{statie}$  și H se pot asigura cu mai multe combinații de pompe. Combinațiile pot diferi între ele prin tipul și numărul de pompe, precum și prin turația uneia (sau unora) dintre pompele cu turație reglabilă.

Cu ajutorul sistemului de metode matematice și informatice cunoscute [110] și utilizând caracteristicile funcționale ale echipamentelor (descrise la cap.5.2) se stabilește, cu exactitate, valoarea puterii consumate de fiecare combinație de echipamente. Se adoptă, ca optimă din punct de vedere energetic, combinația care prezintă puterea globală minimă, adică randamentul global maxim.

Deci, practic se simulează funcționarea stației pentru fiecare combinație de pompe disponibile. Adoptându-se în fiecare moment combinația de randament global maxim, se asigură funcționarea optimizată a stației.

Pentru o stație de pompare, echipată cu anumite pompe și anumite echipamente electrice (motoare, iar în cazul pompelor cu reglarea turației - și convertizoare statice de frecvență, eventual și transformatoare) în fiecare moment trebuie distribuit debitul total  $Q_{st}$  între pompele disponibile astfel încât să se asigure înălțimea de pompare H și să se obțină randamentul global maxim posibil al stației. Astfel se realizează optimizarea exploatării.

Într-o stație de pompare automatizată, programele de calcul corespunzătoare, implementate pe calculator care conduce stația, consideră toate combinațiile posibile de pompe disponibile, combinații care asigură, fiecare în parte, debitul total  $Q_{st}$  și înălțimea de pompare H. Pentru fiecare din aceste combinații posibile se calculează, pe baza caracteristicilor funcționale ale pompelor și echipamentelor electrice, randamentul global al stației. Evident se adoptă, ca optimă, combinația de pompe care asigură cel mai mare randament global al stației.

În cazul unei stații cu un singur tip de pompe, toate pompele având rotoare de același diametru, caracteristicile funcționale sau curbele caracteristice sunt aceleași atât pentru toate pompele, cât și pentru toate motoarele. Dacă o singură pompă disponibilă are turația reglabilă, atunci, în principiu, există o singură combinație posibilă de pompe disponibile care să asigure  $Q_{st}$  și  $H$ .

Dar, după un anumit timp de funcționare, unele din caracteristici încep să se modifice. Se ajunge, dacă se actualizează corect curbele caracteristice pentru fiecare pompa în parte, la o situație nouă, în care pompele au caracteristici actualizate diferite.

Dar, pot exista și stații de pompare care, de la început au mai multe tipuri de pompe. În acest caz numărul de pompe disponibile care să asigure  $Q_{st}$  și  $H$  crește.

În fine, după cum s-a menționat la paragraful anterior, pot să se impună, ca soluții optime de echipare, soluții la care, pentru același tip de pompe, se prevăd rotoare cu diametre diferite. Evident că, pentru fiecare valoare a diametrului rotorului, pompele prezintă alte curbe caracteristice. Deci, în aceste cazuri, chiar de la punerea în funcțiune, în fiecare moment, se pot considera mai multe combinații posibile de pompare care să asigure, parametrii necesari  $Q_{st}$  și  $H$ . Evident că, după un timp de exploatare și după actualizarea curbelor caracteristice prin măsurări directe, pentru fiecare pompă în parte, numărul de caracteristici diferite între ele pot să crească. În acest caz, numărul de combinații de pompe disponibile care trebuie considerate, crește și mai mult.

Cu cât numărul de combinații posibile care pot să asigure parametrii globali  $Q_{st}$  și  $H$  crește, cu atât poate să fie mai mare diferența între randamentele globale ale acestor combinații.

Deci, pentru a nu se adopta la întâmplare una din combinații, adică pentru a adopta obiectiv combinația cu randamentul global maxim, este strict necesară cunoașterea caracteristicilor obținute prin măsurări simultane a mai multor parametri.

#### 5.4.1 Modul principal de calcul

Un tip de pompă centrifugă monoetajată, poate să funcționeze cu rotoare de diferite diametre, cuprinse între valoarea maximă  $D_{max}$  și cea minimă  $D_{min}$ . Pentru fiecare tip de asemenea pompă, un furnizor are concentrate caracteristicile sub forma din fig.5.26

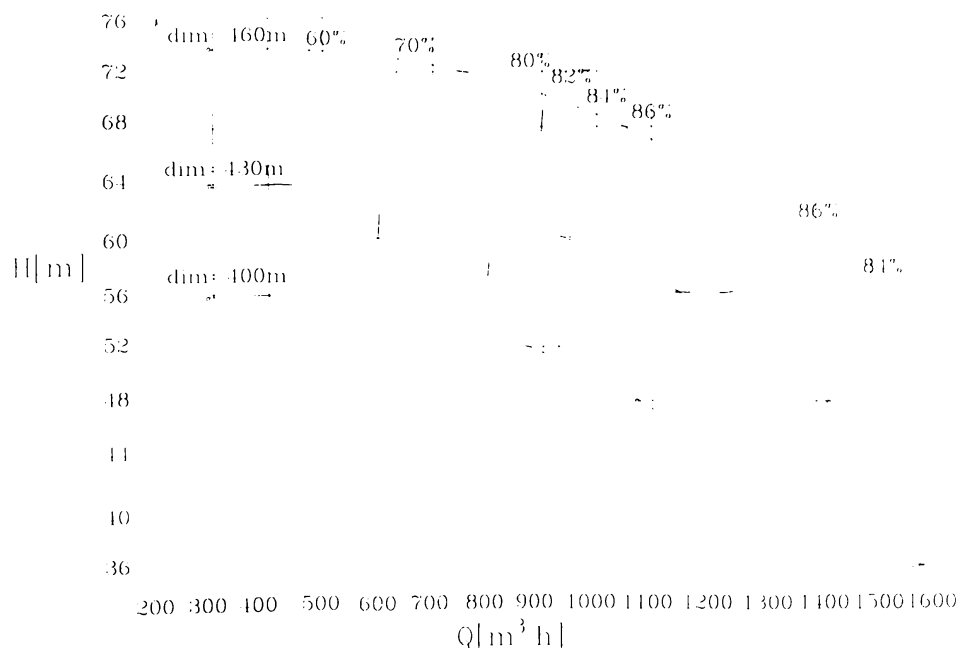


Fig. 5.26: Curbele Q-H și de izorandament  $\eta = \text{const.}$  la turația de 1450 rpm pentru o familie de pompe.

Acestea sunt obținute prin măsurări, pe standul de probă. Pornind de aici, pentru un anumit diametru  $D$  al rotorului, cuprins între valorile extreme  $D_{max}$  și  $D_{min}$ , prin interpolare, se obține curba

debit  $Q$ - înălțime de pompare  $H$ , sau curba  $Q$ - $H$  a pompei și curba de randament  $\eta_p=f_1(Q)$ . Aceste două curbe sunt cele care, în stația de pompare, vor trebui actualizate și reactualizate, prin măsurări directe, pentru a asigura o exploatare optimă. La furnizarea pompelor curbele  $Q$ - $H$  și  $\eta_p=f_1(Q)$  sunt garantate de furnizor. Alte două curbe garantate pentru pompă sunt: curba de putere la arbore  $P_{arb}=f_2(Q)$  și curba de cavitație  $NPSH=f_3(Q)$ .

Curba de putere se poate deduce din curbele  $Q$ - $H$  și  $\eta_p=f_1(Q)$ , iar, la exploatarea unei stații de pompare bine echipată, deci cu o soluție de echipare corectă, nu apar fenomene de cavitație. Deci, la exploatare, se vor verifica, actualiza prin măsurări directe și se vor utiliza pentru optimizarea energetică, dintre curbele caracteristice ale pompelor, numai curbele  $Q$ - $H$  și  $\eta_p=f_1(Q)$ .

Pentru un motor electric având o putere nominală, o tensiune și o turație nominală se prezintă curba de variație a randamentului  $\eta_m$  în funcție de puterea la borne  $P_{borne}:\eta_m=f_4(P_{borne})$ , sau în funcție de puterea la arbore  $P_{arb}; \eta=f_5(P_{arb})$  (fig.5.27).

Majoritatea absolută a pompelor din stațiile de pompare sunt antrenate de motoare electrice asincrone. Aceste motoare mai prezintă o curbă caracteristică necesară la optimizarea procesului de pompare. Aceasta este curba de variație a alunecării  $s$  în funcție de puterea la borne  $P_{borne} : s=f_6(P_{borne})$ , sau în funcție de puterea la arbore  $P_{arb}; s=f_7(P_{arb})$

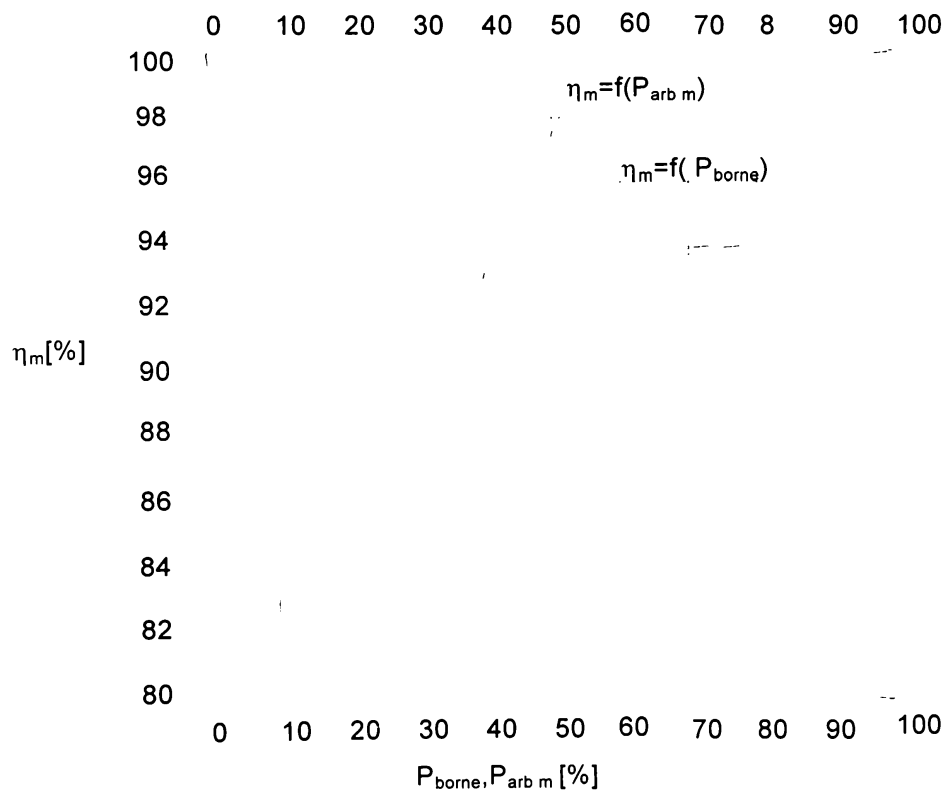


Fig. 5.27: Curbele caracteristice de randament ale motorului în funcție de puterea la borne ( $P_{borne}$ ) și puterea la arbore ( $P_{arb m}$ )

Se menționează că, în cazul antrenării directe, puterea la arbore a motorului  $P_{arb m}$  este egală cu puterea la arbore a pompei  $P_{arb p}$ :

$$P_{arb} = P_{arb m} = P_{arb p} \tag{5.50}$$

Ținând cont de relațiile (5.37) ... (5.42), debitul, înălțimea de pompare și puterea la arbore, variază cu turația, deci și cu alunecarea.

Deoarece, conform relației (5.40), puterea la arbore variază cu cubul turației (iar turația variază liniar cu alunecarea), nu se pot face calcule precise fără a considera influența alunecării  $s$ .

Calculul precis al puterii la borne, pornind de la curbele caracteristice ale pompei și ale motorului asincron, se face într-un program destinat conducerii optime a stației de pompare, pe baza unei iterații descrise în continuare (fig. 5.28).

Se adoptă valoarea  $\epsilon$  a erorii maxime admisibile la calculul puterii efective la arbore, eroare exprimată în % din puterea nominală a motorului  $P_{nom}$ . De exemplu, adoptând  $\epsilon=0,1\%$  eroarea maximă va fi de  $0,001P_{nom}$ .

- Curba  $H(Q)$  la turatia  $n_0$ ;
- Curba  $\eta_p=f_1(Q)$ ;
- Curba  $\eta_m=f_2(P_{arb})$ ;
- Valoarea  $P_{nom}$ ;
- Valoarea  $H_0$ .

$$\epsilon=0.1\%; P_{arb\ init}=0$$

Incepe iteratia

Din curba  $H(Q)$ , avand  $H_0$ , putem obtine  $Q_0$

Din curba  $\eta_p=f_1(Q)$ , avand  $Q_0$ , putem obtine  $\eta_{p0}$

$$P_{arb0}, \text{ conf. (5.41)}$$

$$\Delta P, \text{ conf.(5.51)}$$

$$\Delta P \leq \epsilon P_{nom}$$

DA

N

$$P_{arb\ init} = P_{arb0}$$

Curba  $s=f_3(P_{arb})$

S

$$n = n_0 - s n_0 / 100$$

Calculam o noua curba  $H(Q)$ , cu (5.37)  
si (5.38)

Curba  $\eta_m=f_2(P_{arb})$

$\eta_m$

$$P_{borne} = P_{arb} / \eta_m$$

Fig. 5.28: Schema pentru calculul iterativ al puterii la borne, pentru o înălțime de pompare  $H_0$ , considerând și influența alunecării "s" a motorului asincron.

Se ia în considerare o valoare inițială pentru puterea  $P_{arb\ init}$  (de exemplu  $P_{arb\ init}=0$ ). Având curba  $H(Q)$  la turația de referință  $n_0$  (de exemplu turația sincronă), pentru o valoare măsurată  $H_0$ , rezultă o valoare  $Q_0$ ; pentru această valoare, din curba  $\eta_p = f_1(Q)$  rezultă randamentul pompei  $\eta_{p0}$ .

Cu  $H_0$ ,  $Q_0$  și  $\eta_{p0}$ , utilizând (5.41), rezultă puterea  $P_{arb\ 0}$ . Atunci calculul erorii puterii la arbore va fi :

$$\Delta P = abs(P_{arb0} - P_{arb\ init}) \quad (5.51)$$

Dacă această eroare are o valoare  $\Delta P > \varepsilon \cdot P_{nom}$ , atunci programul intră într-o iterație (fig. 5.28). Se adoptă  $P_{arb\ init}=P_{arb\ 0}$ , apoi din curba  $s=f_7(P_{arb})$ , pentru valoarea  $P_{arb\ 0}$  rezultă valoarea corespunzătoare  $s$ . Valoarea  $n$  rezultă din  $s$ , utilizând (5.42). Pentru această nouă turație  $n$ , din curba  $H(Q)$  la turația  $n_0$ , folosind (5.37), (5.38), rezultă noua curbă  $H(Q)$  corespunzătoare turației  $n$ . Ieșirea din iterație are loc când se obține o valoare  $\Delta P$  suficient de mică. În acest moment este cunoscută valoarea  $P_{arb\ 0}$  și, din curba  $\eta_m = f_5(P_{arb})$  rezultă valoarea efectivă a randamentului  $\eta_m$  pentru motor și în final pentru puterea la borne:

$$P_{home} = \frac{P_{arb0}}{\eta_m} \quad (5.52)$$

Pentru cazul concret al unei pompe antrenate de un motor asincron cu  $n_0=1500$ rot/min, curbele Q-H generate, sunt reprezentate în fig.5.29.

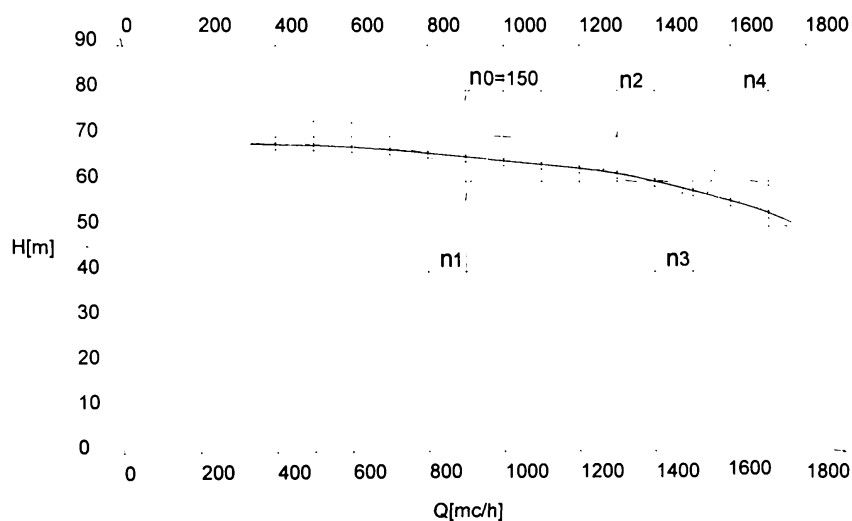


Fig. 5.29: Curbele  $H(Q)$  pentru o pompă acționată de un motor asincron la turațiile  $n_i$  ( $i=0..4$ ) din iterație.

Deci la optimizarea energetică a stațiilor de pompare, pentru pompele fără reglarea turației se utilizează următoarele caracteristici:- curba Q-H (fig. 5.30);

- curba  $\eta_p = f_1(Q)$  (fig. 5.31);
- curba  $\eta_m = f_5(P_{arb})$  (fig. 5.32);
- curba alunecării  $s = f_7(P_{arb})$  (fig. 5.33).

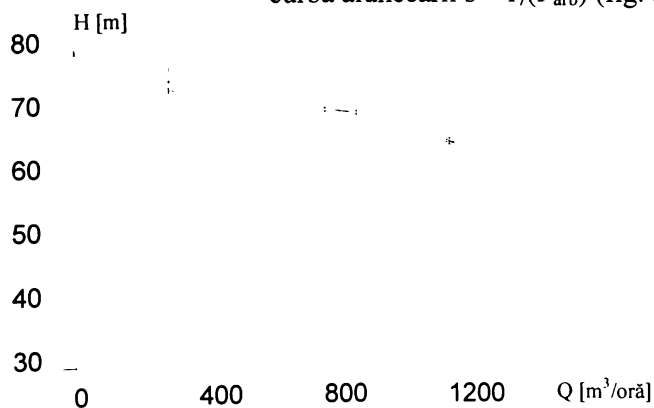


Fig.5.30 Curba Q-H la turația nominală pentru pompe de 315 kW, diam.=460mm, tur=1450rot./min



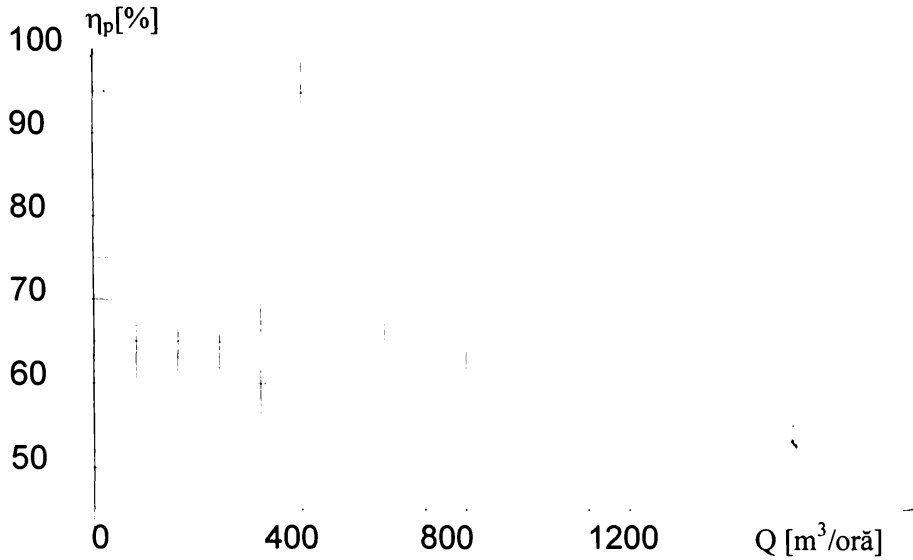


Fig. 5.31 Curba de randament  $\eta_p=f_1(Q)$  pentru o pompă de 315kW, diam.=460mm, tur.=1450rot./min.

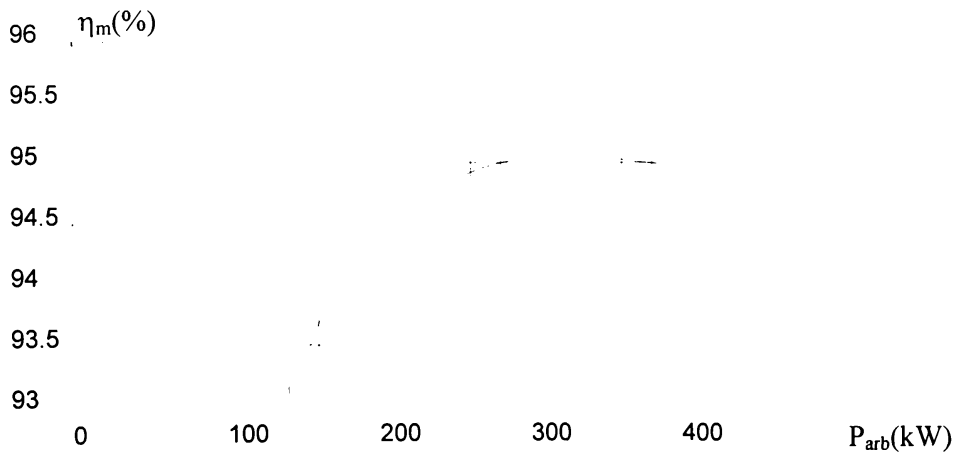


Fig. 5.32 Curba de variație a randamentului în funcție de puterea la arbore pentru un motor asincron de 315kW, 380V, 1485rot./min.

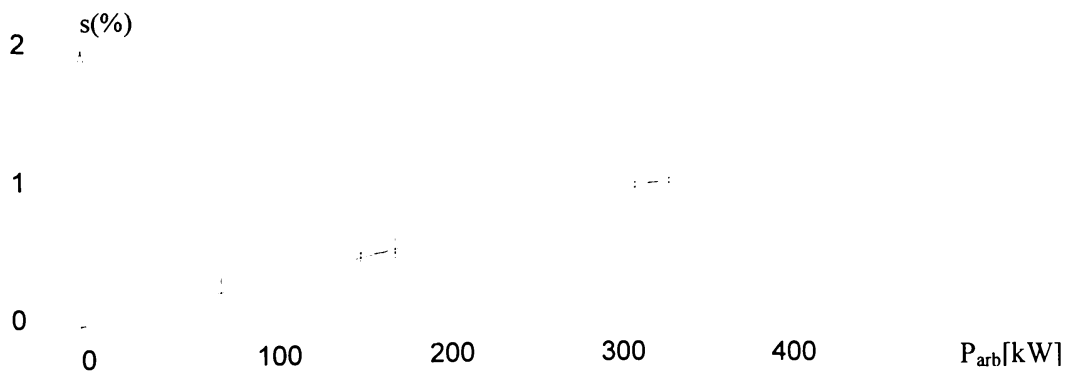


Fig. 5.33 Variația alunecării în funcție de puterea la arbore pentru un motor asincron de 315 kW, 380V, 1485rot./min.

Curba alunecării se utilizează numai în cazul motoarelor asincrone.

### 5.4.2 Descrierea programului de calcul

Programul care asigură optimizarea exploatarei unei stații de pompare trebuie, în principal, să asigure, în fiecare moment un debit total  $Q_{\text{statie}}$  la o înălțime de pompare  $H$  cu un randament global al stației de valoare maxima posibilă. Evident că și  $Q_{\text{statie}}$  și  $H$  variază de la un moment la altul, în funcție de situația concretă în rețeaua de alimentare cu apă.

În situația unei stații de pompare bine proiectate, toate pompele pot funcționa pe tot domeniul de înălțimi de pompare, adică de la  $H_{\text{min}}$  la  $H_{\text{max}}$ , fără cavitație și fără să fie necesare închideri parțiale ale vanelor de la refulare.

Programul trebuie să asigure, în fiecare moment, randamentul global maxim posibil. Pentru aceasta, se parcurg etapele de calcul expuse principial în continuare.

În fiecare moment, pornindu-se de la valoarea nivelului în bazinul de aspirație și de la valoarea presiunii necesare la ieșirea din stația de pompare, se stabilește valoarea înălțimii de pompare  $H$ . Evident este necesar ca :  $H_{\text{min}} \leq H \leq H_{\text{max}}$ .

Cunoscând, pentru un moment dat, valoarea  $H$  necesară, se stabilește, cu ajutorul iterației prezentate la capitolul anterior 5.4.1, pentru fiecare tip  $i$  de electropompă fără reglarea turației din stație:

-valoarea debitului prin pompă  $Q_{pi}$ ;

-valoarea randamentului pompei  $\eta_{pi}$ , a randamentului motorului  $\eta_{mi}$  și a electropompei

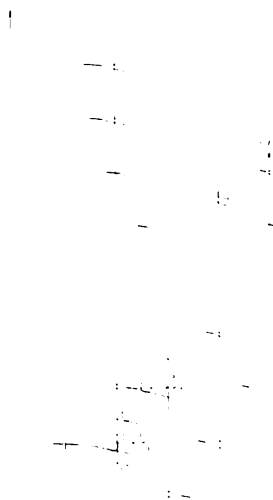
$$\eta_{Epi} = \eta_{pi} \cdot \eta_{mi};$$

-valoarea alunecării  $s$  și a turației efective  $n$ ;

-valoarea puterii la arbore  $P_{arb i}$  și la borne  $P_{b i}$ .

Se consideră toate combinațiile posibile de pompe din stație care pot asigura, la înălțimea de pompare necesară  $H$ , debitul necesar  $Q_{st}$ .

Calculul iterativ prezentat în paragraful 5.4.1, permite realizarea rapidă a curbelor  $Q-H$  la diferite turații (figura 5.34) și a curbei de variație a turației în funcție de debit la presiune constantă (figura 5.35).



### 5.5 Optimizarea soluției de echipare a unei stații de pompare

La proiectarea unei noi stații de pompare, care trebuie să satisfacă regimurile variabile  $Q_{\text{statie}}$ ,  $H$  preliminate pentru o perioadă concludentă - de exemplu un an, se pot considera numeroase soluții de echipare, diferind între ele prin tipul și numărul de pompe, diametrul rotorului pompelor, turație, etc. Pentru fiecare soluție se simulează funcționarea optimizată a stației, calculându-se astfel valoarea energiei anuale consumate de stație.

Evident, se pornește calculul de la curbele caracteristice ale echipamentelor, curbe garantate de ofertanți pentru fiecare tip în parte.

Cunoscând valoarea energiei anuale consumate și costul fiecărei variante de echipare se poate adopta, în mod obiectiv, printr-un calcul tehnico-economic riguros, soluția optimă de echipare.

Achiziția echipamentelor stației funcție de ofertele avute în vedere poate și trebuie să aibă la bază un studiu bazat pe simularea funcționării optimizate în sistemul cunoscut.

Datele pe baza cărora se simulează funcționarea stației sunt:

- regimurile preliminate de debite și înălțimi de pompare  $Q-H$ ;
- caracteristicile funcționale ale echipamentelor.

Se menționează că simularea trebuie să ia în considerare și avariile posibile.

În scopul optimizării soluției de echipare a unei stații trebuie considerate și calculate numeroase soluții posibile, diferind între ele prin tipul și numărul pompelor, diametrul rotorului, numărul de pompe cu turație reglabil, etc. Calculele se pot face cu ajutorul unor programe (I.T.C.-S.A.Timișoara [183]), la care se face referire în continuare.

Programele trebuie ca, pe baza simulării funcționării optime a stației, să calculeze consumurile de energie (de bază, de vârf, totală) pentru toate soluțiile de echipare posibile. Cunoscând astfel consumurile aferente fiecărei variante, se adoptă ca optimă din punct de vedere energetic cea care prezintă un consum de energie de valoare minimă.

Optimizarea echipării unei stații de pompare din alimentarea cu apă, stație aflată în faza de concepție, trebuie să asigure condițiile de mai jos:

- a. satisfacerea în permanență a beneficiarilor, prin asigurarea continuă a valorilor variabile solicitate pentru debitul stației  $Q_{st}$  și înălțimea de pompare  $H$ ;
- b. asigurarea unui cost minim al exploatării, realizat în principal prin micșorarea continuă a consumului de energie (sau creșterea continuă a randamentului global al stației);
- c. asigurarea unei fiabilități maxime a echipamentelor;
- d. costuri minime și termene minime de finalizare ale lucrărilor de modernizare.

Dar, tradițional, a doua condiție se verifică practic numai la punerea în funcțiune. La recepție se verificau caracteristicile funcționale garantate (sau curbele caracteristice) ale echipamentelor. În timpul exploatării însă, aceste curbe se modifică în timp, datorită uzurii fizice a echipamentelor. În aceste condiții, randamentul global al stației  $\eta_{st}$  scade. Concomitent, pe piață pot să apară echipamente mult mai performante; în unele cazuri se merită înlocuite echipamentele vechi cu cele noi, datorită uzurii morale a celor dintâi. Ținând seama de aceste aspecte, în prezent există motive economice, dar și posibilități tehnice eficiente, pentru a se impune încă o condiție, anume:

- e. posibilitatea măsurării permanente sau periodice în stația de pompare, a valorilor parametrilor principali pentru fiecare electropompa.

Prin aceasta se realizează actualizarea permanentă sau periodică a curbelor caracteristice ale echipamentelor, curbe care evoluează în timp, datorită uzurii, mai ales la pompe.

Cunoașterea acestor curbe actualizate, deci reale, permite:

- exploatarea optimă a stației;
- aprecierea obiectivă a uzurii fizice și morale a echipamentelor, ceea ce asigură stabilirea perioadei optime de înlocuire a fiecărui echipament. Utilizarea curbelor caracteristice asigură de altfel și adoptarea obiectivă a soluției optime de echipare a unei stații de pompare.

În scopul optimizării soluției de echipare a unei stații trebuie considerate și calculate numeroase soluții posibile, diferind între ele prin tipul și numărul pompelor, diametrul rotorului pompelor, numărul de pompe cu turație reglabilă, etc.

Programele trebuie ca, pe baza simulării funcționării optime a stației, să calculeze consumurile de energie (de bază, de vârf, totală) pentru toate soluțiile de echipare posibile. Cunosând astfel consumurile aferente fiecărei variante, se ierarhizează din punct de vedere energetic aceste variante. În final, ținând seama și de costul variantelor, se poate adopta în mod obiectiv, varianta optimă.

Rezultă că:

1. La o stație de pompare modernizată se impune conducerea automată, care trebuie să asigure, în fiecare moment, realizarea și a unui randament global al stației de valoare maximă posibilă.
2. Pentru adoptarea soluției optime de echipare se consideră inițial cât mai multe soluții posibile, eliminând dintre acestea pe cele care implică pierderi în vanele de la refularea pompelor. Pentru restul soluțiilor se simulează funcționarea optimizată o perioadă concludentă de timp, adică atingerea continuă a randamentului global maxim posibil al stației.
3. Pentru atingerea randamentului global maxim posibil al stației trebuie realizată o distribuție optimă a debitului stației între pompele disponibile, pe baza utilizării caracteristicilor funcționale ale tuturor echipamentelor (pompe, motoare, eventual convertoare de frecvență și transformatoare).
4. Simulând funcționarea automată optimă a stației, pentru un număr cât mai mare de variante de echipare, se calculează energiile (de vârf, de bază, totală) consumate de stație pentru fiecare variantă. Se ierarhizează din punct de vedere energetic variantele și, considerând și costurile acestora, se poate adopta, în mod obiectiv soluția optimă.

### 5.5.1 Modul principal de calcul

#### Cazul fără reglarea turației pompelor.

Cunosând cota radierului bazinului de aspirație, valoarea înălțimii de aspirație  $h_{asp}$ , cota axului pompei, înălțimea manometrică de refulare  $h_{ref}$ , cota de montare a manometrului de refulare și

valorile vitezelor  $v_1$  și  $v_2$  în secțiunile de aspirație și refulare, rezultă înălțimea de pompare efectivă  $H$  dată de fiecare pompă.

Similar se stabilește și înălțimea de pompare utilă efectivă  $H_u$  a stației.

Considerând caracteristica  $Q$ - $H$  a pompelor, pentru valoarea  $H$  calculată mai sus rezultă valoarea debitului pompei considerate  $Q_p$ .

Din caracteristica de randament a pompei  $\eta_p = f(Q)$ , pentru valoarea  $Q_p$  rezultă randamentul pompei  $\eta$ ; cunoscând debitul  $Q_p$ , înălțimea de refulare  $H$  și randamentul pompei  $\eta$ , rezultă puterea absorbită a pompei  $P_{ap}$ .

Din caracteristica de randament a motorului de antrenare, pentru valoarea puterii  $P_{ap}$  rezultă randamentul motorului  $\eta_m$  și puterea motorului la borne PM.

De menționat că, în cazul pompelor acționate de motoare asincrone (caz majoritar) în calculul puterii se ține seama, printr-o iterație (paragraf 5.2.4) de influența alunecării  $s$ .

### Cazul reglării turației pompelor.

În cazul în care pentru o pompă (sau mai multe) se prevede posibilitatea de a regla turația prin utilizarea unor convertoare de frecvență, pentru a crește randamentul pompelor și a elimina închiderile parțiale ale vanelor de refulare, este evident că trebuie ținut seama și de randamentul acestor convertoare, sau, mai precis, de pierderile suplimentare de energie datorate acestora.

Precizarea este necesară deoarece, în unele cazuri, aceste convertoare impun și utilizarea unor transformatoare suplimentare, anume, în cazul motoarelor la tensiuni medii (6kV sau 10kV). De regulă, la nivelul actual al industriei, din motive tehnice și economice, se fabrică convertoare de 380V asociate cu transformatoare coborâtoare și ridicătoare de tensiune. Evident că fiecare din cele 2 trepte suplimentare de transformare are pierderi. Mai mult, datorită faptului că, în principiu, convertoarele de frecvență au ca efect secundar o deformare a curentului electric (pot să apară anumite armonici, curentul se depărtează de forma normală, sinusoidală) apar pierderi suplimentare în motorul electric (și în transformatorul ridicător de tensiune dintre convertor și motor - atunci când e cazul).

Deci, în cazul turației reglabile, calculele energetice țin seama și de:

- randamentul motorului, în funcție și de putere, dar și de frecvență;
- pierderile în convertorul de frecvență propriu-zis;
- pierderile suplimentare induse de convertor în motor (și în transformator).

Toate aceste pierderi trebuie garantate, ca valoare maximă admisă, de furnizorul convertoarelor de frecvență. Pentru faza de studiu și proiectare, când pot exista doar preoferte de asemenea convertoare, s-au pregătit programele de calcul care să țină seama de cât mai multe moduri posibile de a da aceste pierderi (respectiv randamente) de către diverși ofertanți. Astfel, s-a considerat că acestea se pot da în mod variat, după două criterii. După primul s-a ținut seama că acestea se pot da:

- în funcție de puterea relativă (sau încărcarea procentuală a echipamentului);
- în funcție de frecvență;
- în funcție și de încărcarea relativă și de frecvență.

După al doilea criteriu s-a ținut seama că numărul de pierderi succesive (sau echipamente electrice) poate fi diferit, după cum urmează:

- 1 echipament (când toate pierderile sau randamentele tuturor echipamentelor electrice aferente unei pompe se dau global, ca pentru un singur echipament);
- 2 echipamente (motor și convertor; curbele de pierderi se dau astfel încât să includă și pierderile suplimentare din motor induse de convertor);
- 3 echipamente (din punct de vedere fizic sunt 2 echipamente - motor și convertor, dar, pe lângă pierderile sau randamentele lor proprii se dau distinct și pierderile suplimentare induse de convertor în motor, datorită regimului deformant);
- 4 echipamente (motor, convertor și 2 transformatoare, pierderile dându-se astfel încât pierderile suplimentare induse de convertor sunt incluse);

- 5 echipamente (motor, convertor și 2 transformatoare, dar, spre deosebire de cazul anterior, pierderile suplimentare datorate regimului deformant se dau separat pentru un echipament - fie motor, fie transformator);

- 6 echipamente (fizic tot 4 echipamente-motor, convertor și 2 transformatoare, dar pierderile suplimentare datorate regimului deformant se dau separat, atât pentru motor, cât și pentru transformator, ca și cum ar mai fi încă 2 echipamente distincte).

Rezultă că:

1. La o stație de pompare modernizată se impune conducerea automată, care trebuie să asigure, în fiecare moment, realizarea și a unui randament global al stației de valoare maximă posibilă.
2. Pentru atingerea randamentului global maxim posibil al stației trebuie realizată o distribuție optimă a debitului stației între pompele disponibile, pe baza utilizării caracteristicilor funcționale reale, actualizate periodic, ale tuturor echipamentelor (pompe, motoare, eventual convertoare de frecvență și transformatoare).
3. Urmărind în permanență, pentru fiecare electropompă din stație, prin măsurări directe, numai 2 parametri (înălțimea de pompare  $H$  și puterea la borne  $P_{\text{borne}}$ ) se poate determina momentul de la care începând, sunt necesare măsurări mai complexe, pentru actualizarea curbelor caracteristice ale pompelor [curbele  $Q-H$  și  $\eta_p = f(Q)$ ] și ale motoarelor [ $\eta_m = f_4(P_{\text{borne}})$ ] și, numai pentru motoare asincrone,  $s = f_6(P_{\text{borne}})$ ].
4. Pentru fiecare pompă din stație, determinarea, prin măsurări directe și simultane, a înălțimii de pompare  $H$ , a debitului  $Q_p$ , a puterii la borne  $P_{\text{borne}}$ , a momentului la arbore  $M$  (și a turației efective  $n$ , dar numai în cazul motoarelor electrice asincrone precum și în cazul turației reglabile), pentru domenii cât mai largi, asigură actualizarea caracteristicilor pompelor și motoarelor.
5. Simulând funcționarea automată optimă a stației, pentru un număr cât mai mare de variante de echipare, se calculează energiile (de vârf, de bază, totală) consumate de stație pentru fiecare variantă. Se adoptă ca variantă optimă din punct de vedere energetic varianta ce prezintă valoarea minimă a energiei consumate pentru 1 an.

### 5.5.2 Descrierea programului de calcul

Ca date de intrare sistemul de programe consideră pe de o parte regimurile de debite  $Q$  și de înălțimi de pompare  $H$  preliminate ale stației pentru o perioadă concludentă, iar pe de altă parte, caracteristicile funcționale ale echipamentelor considerate (pompe, motoare, eventual convertoare și transformatoare).

O perioadă concludentă pentru regimurile  $Q - H$  ar fi cea de un an.

Pentru stația de pompare, valorile preliminate  $Q-H$  pentru perioada concludentă se pot stabili principial pe două căi:

- prin măsurări directe, presupunând că regimurile  $Q-H$  determinate se vor repeta și în viitor, cu considerarea eventual și a unor corecții;

- prin calcul, cu ajutorul unor programe care să considere și toate variantele de optimizare ale rețelei; calculele computerizate pot stabili repartitia debitelor și presiunilor preliminate pe zone de consumatori - considerând și inter condiționarea lor - și, dacă e cazul, repartizarea lor optimă între electropompe, indiferent de poziția acestora față de rețea.

În continuare fiecare perioadă concludentă de timp se consideră divizată în numeroși pași de timp; fiecare pas este caracterizat printr-o pereche de valori  $Q-H$ . Pentru fiecare pas se calculează puterile; acestea, înmulțite cu durata pasului de timp dau energiile (utilă, respectiv pierdută în pompe, în motoare, etc.).

## 6. OPTIMIZAREA ENERGETICĂ A SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE

### 6.1 Optimizarea energetică a sistemelor de distribuție prin separarea rețelelor pe zone de presiune

#### 6.1.1 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  $H_{\max} = 60 \text{ m H}_2\text{O}$ , dar se poate aplica și pentru a asigura o optimizare energetico-economică a sistemului [86], [111], [125], [131], [139], [149].

Se analizează procedee și soluții propuse pentru optimizarea structurală și funcțională a sistemelor de distribuție prin zonarea rețelelor, determinându-se eficiența energetico-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. 6.1-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. 6.1-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.

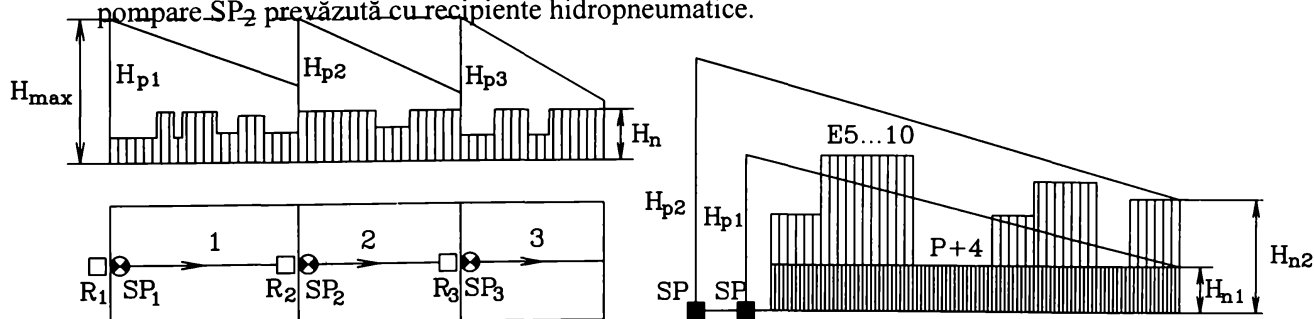


Fig. 6.1 Schema de principiu a separării rețelelor pe zone de presiune  
a - zonare orizontală; b - zonare verticală

La rețelele alimentate prin pompare, atât zonarea orizontală cât și cea verticală se poate realiza *în serie* sau *în paralel*, în figurile 6.2 și 6.3 prezentându-se aceste două procedee tehnice pentru zonarea verticală.

#### 6.1.2 Particularitățile zonării în serie

La zonarea în serie (fig. 6.2), 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 înălțime 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  $R_2$ .

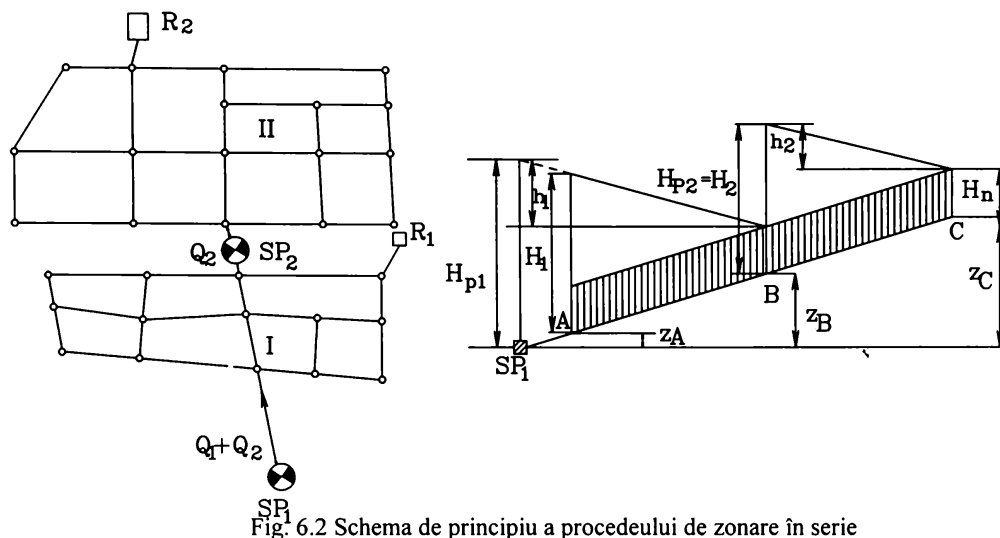


Fig. 6.2 Schema de principiu a procedurii de zonare în serie

Presiunea maximă, în zona inferioară I (A-B), este dată de relația (6.1), iar în zona superioară II (B-C) se determină cu relația (6.2):

$$H_1 = H_n + (z_B - z_A) + h_1 \leq H_{\max} \quad (6.1)$$

$$H_2 = H_n + (z_C - z_B) + h_2 \leq H_{\max} \quad (6.2)$$

în care:  $H_n$  este presiunea necesară;  $z_A, z_B, z_C$  - înălțimile geodezice în punctele A, B, C;  $h_1, h_2$  - pierderile de presiune în zonele I și II.

Dacă fiecare zonă are prevăzut rezervor propriu de compensare, volumele acestora rezultă din repartitia 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.

### 6.1.3 Particularitățile zonării în paralel

La zonarea în paralel (fig. 6.3), fiecare stație de pompare livrează debitul corespunzător zonei

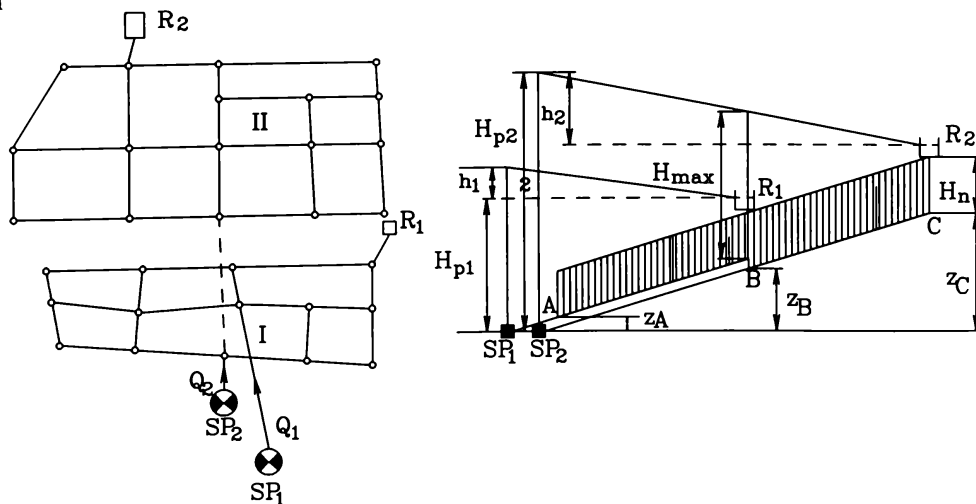


Fig 6.3 Schema de principiu a procedurii de zonare în paralel



pe care o deservește  $Q_1$  și  $Q_2$  în câte o rețea prevăzută fiecare cu rezervor ( $R_1, R_2$ ) și având astfel o mai mare independență decât în cazul zonării în serie.

Conducta de refulare a stației de pompare  $SP_2$  trece prin zona I fără să facă serviciu, distribuind apa numai în zona II și putând avea presiunea nelimitată de condiția de funcționare (6.2).

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 urmând 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.

### 6.1.4 Eficiența energetico-economică a procedurilor de zonare

Presupunând, 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:

$$W_e = k V_a H_p \quad (6.3)$$

în care:  $V_a$  este volumul de apă distribuit anual;  $H_p$  - înălțimea medie de pompare;  $k$  - factor de proporționalitate.

Asimilând reprezentarea liniilor piezometrice reale cu diagrame cvasitriunghiulare (fig. 6.4), se exprimă consumul anual de energie electrică pentru pomparea apei în sistemul zonat cu ajutorul relațiilor:

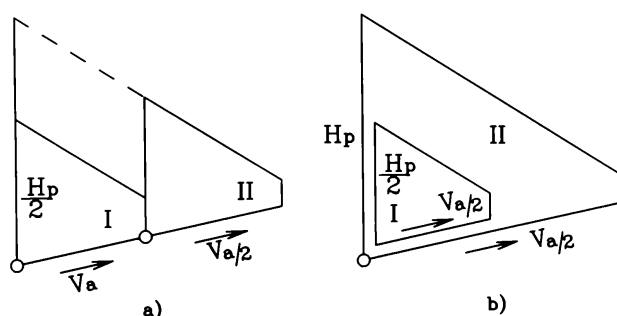


Fig. 6.4 Aproximarea liniilor de presiune  
a - zonare serie; b - zonare paralel

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, reprezentând 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 sunt mai costisitoare prin faptul că necesită mai multe stații de pompare și rezervoare sau camere de rupere a presiunii, ele sunt mai economice în exploatare prin consumul redus de energie.

Trebuie studiate comparativ soluția cu rețea nezonată având înălțimea de pompare mare, ce necesită o investiție  $I_1$  mică, însă cheltuieli anuale de exploatare  $C_1$  mari și soluția cu rețea zonată, având sarcini mai reduse la stațiile de pompare, investiția  $I_2$  mai mare și cheltuieli anuale de exploatare  $C_2$  scăzute.

- pentru sisteme zonate în serie:

$$W_e = k \left( V_a \frac{H_p}{2} + \frac{V_a}{2} \frac{H_p}{2} \right) = \frac{3}{4} k V_a H_p \quad (6.4)$$

- pentru sisteme zonate în paralel:

$$W_e = k \left( \frac{V_a}{2} H_p + \frac{V_a}{2} \frac{H_p}{2} \right) = \frac{3}{4} k V_a H_p \quad (6.5)$$

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

Pentru a determina economicitatea soluției cu rețeaua zonată, se aplică relația timpului de recuperare comparativ:

$$T_r = \frac{I_1 - I_2}{C_2 - C_1} \leq T_n \quad (6.6)$$

în care  $T_n$  este durata normală de amortizare.

### 6.1.5 Exemplificări numerice ale evaluării energetice și economice a procedeelelor de zonare

#### 6.1.5.1 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. 6.5), atât în alternativa ramificată cât și inelară, considerând debitul de alimentare  $Q_p = 2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , iar presiunea necesară  $H_n = 15 \text{ mH}_2\text{O}$  în zonele periferice și  $H_n = 30 \text{ mH}_2\text{O}$  în zona centrală.

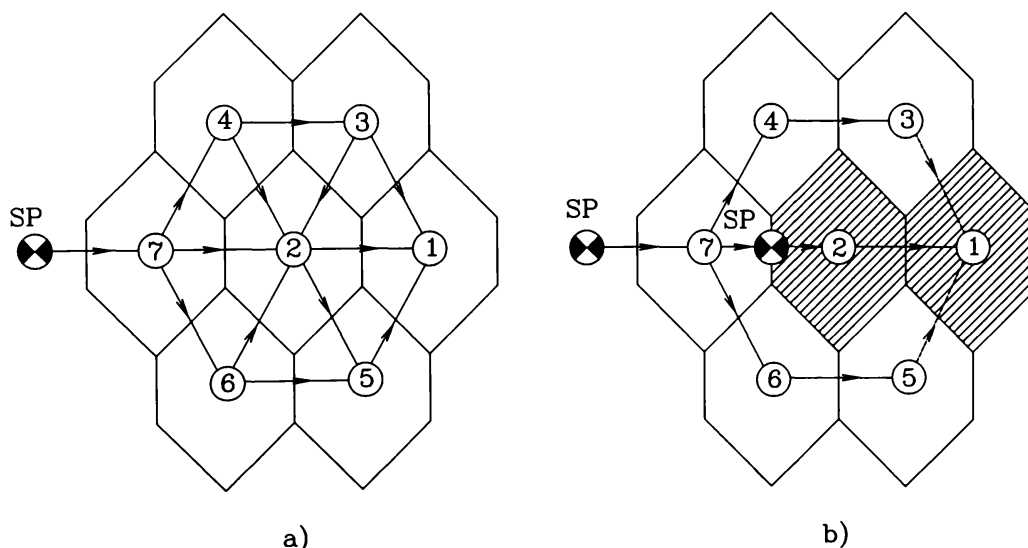


Fig. 6.5 Schema unei rețele circulare ideale echivalente  
a - distribuție nezonată; b - distribuție zonată

Traseul arterelor trece prin centrele de greutate ale ariilor consumatorilor considerați punctiformi în vârfurile grafului rețea.

Zonarea în serie (fig. 6.5-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 sunt prezentate în tabelul 6.1.

Tabelul 6.1

## Caracteristicile energetice comparative ale sistemului circular de distribuție

Nr. crt.	Soluția pentru distribuție	Alternativa de rețea	Stația de pompare SP <sub>1</sub>			Stația de pompare SP <sub>2</sub>			Energia consum., W <sub>e</sub> [MWh/an]
			Q <sub>1</sub> [m <sup>3</sup> /s]	H <sub>p</sub> [m]	W <sub>e2</sub> [MWh/an]	Q <sub>2</sub> [m <sup>3</sup> /s]	H <sub>p</sub> [m]	W <sub>e2</sub> [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
<i>Econom de energ.</i>		ramificată	18,6						
$\Delta W_e$ [%]		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 %.

#### 6.1.5.2 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 grădină, 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 SP<sub>1</sub> și reprezentată în figura 6.6 cu linie plină, corespunzătoare presiunii maxime necesare H<sub>n</sub> = 42 mH<sub>2</sub>O.

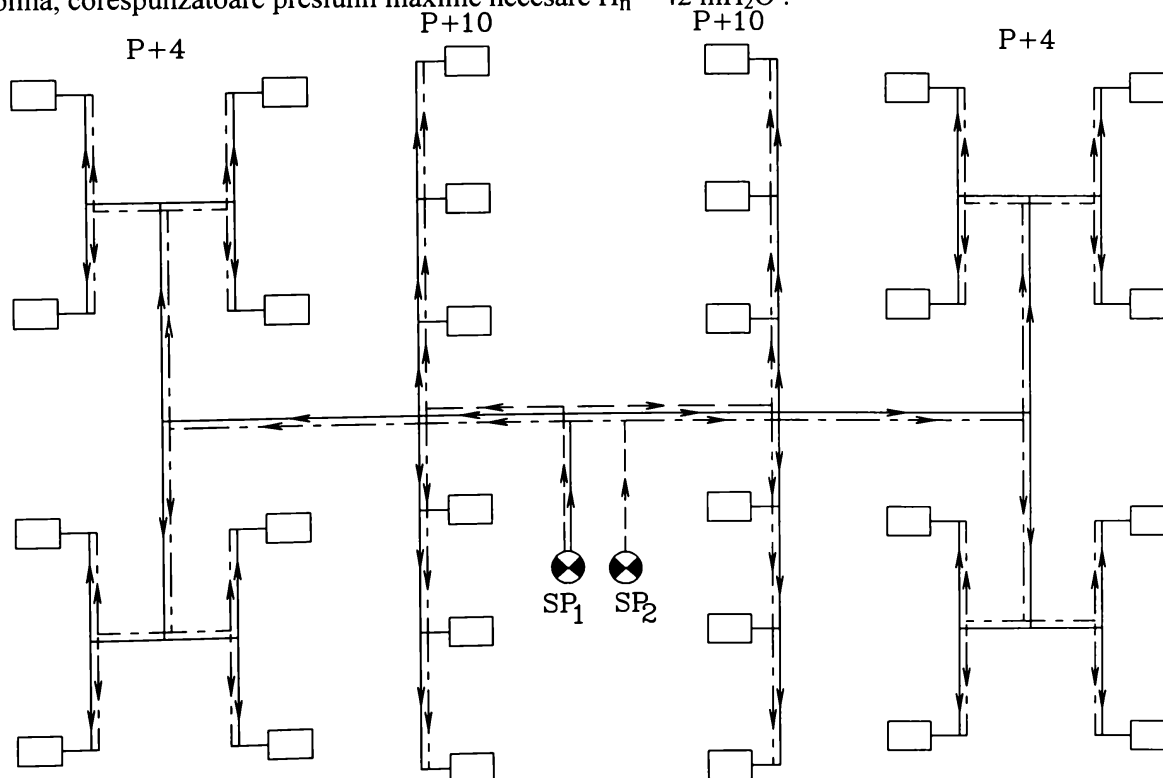


Fig. 6.6 Schema rețelelor de distribuție a apei în ansamblul de clădiri

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 sunt  $H_{n1} = 42 \text{ mH}_2\text{O}$  și  $H_{n2} = 21,5 \text{ mH}_2\text{O}$ , să fie alimentate de la câte o stație de pompare cu recipiente hidropneumatice ( $SP_1$ ,  $SP_2$ ) prin câte o rețea de distribuție separată reprezentată în figura 6.6 cu linie întreruptă și respectiv punctată.

Rezultatele calculelor energetico-economice obținute în urma dimensionării rețelelor cu ajutorul programului FOXPRO D1 pentru cele două soluții analizate, sunt prezentate în tabelul 6.2.

Tabelul 6.2

**Caracteristicile energetico-economice 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 <sup>3</sup> /s]	$H_p$ [m]	$W_{e1}$ [kWh/an]	$Q_2$ [dm <sup>3</sup> /s]	$H_p$ [m]	$W_{e2}$ [kWh/an]			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Rețea nezonată	43,98	42,66	70133	-	-	-	70133	585600	39300
2	Rețea zonată	23,50	42,69	37500	20,48	22,28	17050	54550	457500	30500
Economia de energie, $\Delta W_e$				[kWh/an]	15583					
				[%]	22,2					
Durata de recuperare, $T_r$				[ani]	5					

Calculule efectuate 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, reprezentând 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 decât durata de recuperare normată.

## 6.2 Optimizarea energetică a sistemelor de distribuție folosind elemente potențiale interioare

### 6.2.1 Procedee de optimizare structurală și funcțională cu elemente potențiale interioare

Sistemele mari de distribuție a apei, echipate exclusiv cu stații exterioare de pompare, sunt 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 100 MWh/zi, îndeosebi datorită faptului că orele de vârf ale necesarului de apă caldă corespund cu cele ale consumului de energie electrică.

De aceea, pe lângă problema reducerii consumului de energie electrică în mod absolut, prezintă interes însăși micșorarea consumului de energie electrică în orele de vârf 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

vârf, 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 procedului 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 energetic-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.

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 repompare 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], [136] din elemente prefabricate asamblate 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 vârf 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 vârf.

### 6.2.1.1 Folosirea rezervoarelor subterane zonale și a stațiilor de repompare 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:

$$\sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} = \sum_{j=1}^{NP} Q_{pr,j} + \sum_{k=1}^{NR} Q_{pa,k} \quad (6.7)$$

- 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 (6.8) sau (6.9), după cum se realizează aducții gravitaționale sau funcționând prin pompare:

$$P = \frac{\gamma}{\eta} \left( \sum_{j=1}^{NP} Q_{pr,j} h_{pe,j} + \sum_{k=1}^{NR} Q_{pa,k} H_{pi,k} \right) \quad (6.8)$$

$$P = \frac{\gamma}{\eta} \left( \sum_{j=1}^{NP} Q_{pr,j} h_{pe,j} + \sum_{k=1}^{NR} Q_{pa,k} H_{pa,k} + \sum_{k=1}^{NR} Q_{pa,k} H_{pi,k} \right) \quad (6.9)$$

în care:  $\gamma$  este greutatea specifică a apei;  $\eta$  - randamentul general al stațiilor de pompare;  $Q_{pa,k}$  - debitul pompat 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  $h_{pe,j}$  sunt mult mai mici decât înălțimile de pompare  $H_{pe,j}$ , dat fiind faptul că pierderile de presiune se modifică cu pătratele rapoartelor  $Q_{pr,j}/Q_{p,j} < 1$ , astfel încât puterea stațiilor de pompare exterioare scade atât prin micșorarea debitului cât și de pe urma reducerii presiunii, iar puterea totală se micșorează cu:

$$\Delta P = \frac{\gamma}{\eta} \left( \sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} H_{pe,j} - P \right) \quad (6.10)$$

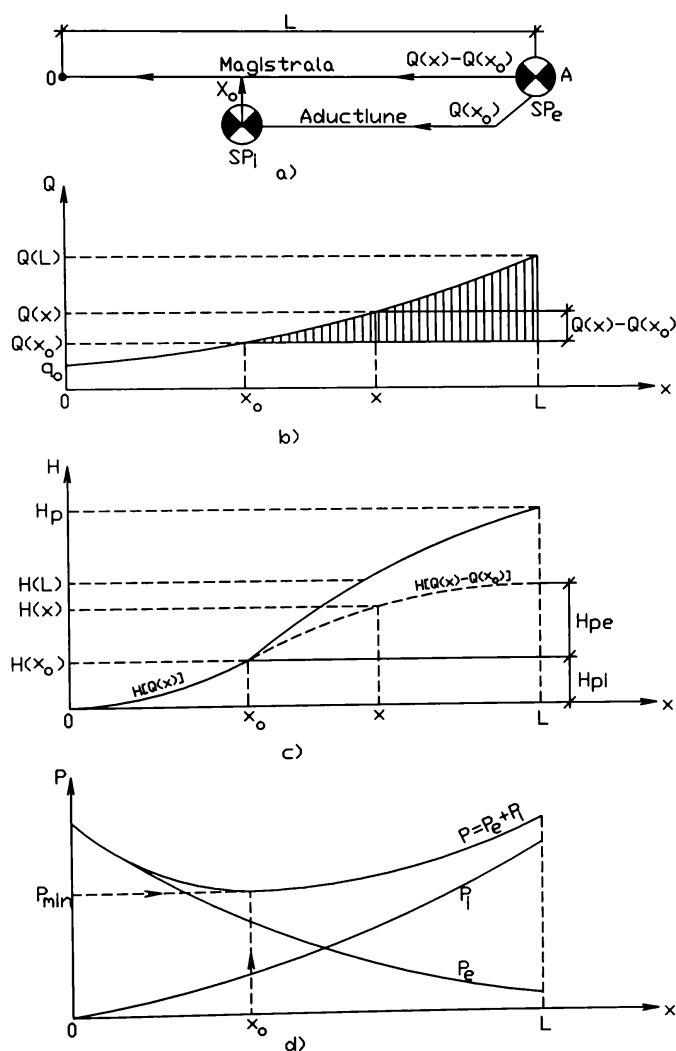


Fig. 6.7 Amplasamentul optim al unui rezervor interior

mult, întrucât prin descărcarea tronsoanelor amonte ale magistralei, pierderile de presiune scad după legea pătratică a lui Darcy-Weisbach. Rezultă că amplasamentul optim al rezervorului este dat de minimul sumei puterilor stațiilor de pompare exterioară și interioară (fig. 6.7), pentru a cărei 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  $O$ .

cea ce conduce la reducerea consumului energetic în sistem, realizându-se pe durata de exploatare  $T_p$ , economia de energie electrică:

$$\Delta W_e = \Delta P T_p \quad (6.11)$$

Apare dubla funcție compensatoare, aceea de uzină și de rețea, cu volumul rezervoarelor dat respectiv de relațiile:

$$V_{uz} = \int_0^T (Q_{uz} - Q_p) dt \quad (6.12)$$

$$V_r = \int_0^T (Q_{pa} - Q_{pr})_t dt \quad (6.13)$$

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 înălțimilor 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

Se folosesc notațiile:  $x$  - abscisa secțiunii de calcul, raportată la extremitatea aval a magistralei;  $Q(x)$  - debitul de calcul în secțiunea  $x$  (fig. 6.7-b);  $S_0(x)$  - rezistența hidraulică specifică în secțiunea de calcul.

În nodul A magistrala se descarcă de debitul  $A(x_0)$  printr-o aducție situată între secțiunile A și , în care este amplasat rezervorul subteran și stația de pompare interioară.

Pierderea de presiune până într-o secțiune de calcul (fig. 6.7-c) este dată de relația:

$$H(x) = \int_0^x S_0(x) Q^\beta(x) dx \quad (6.14)$$

Variațiile debitului  $Q(x)$  și a rezistenței hidraulice specifice  $S_0(x)$  se exprimă respectiv prin relațiile:

$$Q(x) = q_0 + ax^\alpha \quad (6.15) \quad S_0(x) = s_0 - bx^2 \quad (6.16)$$

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  $\alpha$  se stabilesc statistic, cu ajutorul metodei celor mai mici pătrate, fiind cunoscută repartiția debitelor în lungul magistralei.

Introducând expresiile (6.15) și (6.16), relația (6.14) se pune sub o formă aproximativă cu bune rezultate practice pentru integrarea până în secțiunea  $X_0$ :

$$H(x_0) = s_0 q_0^\beta x_0 - \frac{b q_0^\beta}{3} x_0^3 + \frac{s_0 a^\beta}{\beta\alpha + 1} x_0^{\beta\alpha + 1} - \frac{b a^\beta}{\beta\alpha + 3} x_0^{\beta\alpha + 3} \quad (6.17)$$

Pentru descrierea regimului hidraulic în amonte de secțiunea  $X_0$ , relația debitului se scrie sub o formă mai simplă:

$$Q'(x) = Q(x) - Q(x_0) = a(x^\alpha - x_0^\alpha) \quad (6.18)$$

rezultând înălțimea piezometrică în nodul de alimentare al magistralei:

$$H(L) = H(x_0) + \frac{s_0 a^\beta}{\beta\alpha + 1} L^{\beta\alpha + 1} - \frac{b a^\beta}{\beta\alpha + 3} L^{\beta\alpha + 3} - \frac{s_0 a^\beta}{\beta\alpha + 1} x_0^{\beta\alpha + 1} + \frac{b a^\beta}{\beta\alpha + 3} x_0^{\beta\alpha + 3} \quad (6.19)$$

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  $Q(x_0)$ .

Neglijând componenta geodezică și de utilizare a înălțimii de pompare întrucât este aproximativ aceeași atât pentru stația de pompare exterioară cât și pentru cea interioară, expresiile restrânse ale puterilor corespunzătoare stațiilor de pompare sunt:

$$P_i = \frac{\gamma}{\eta} Q(x_0) H(x_0) \quad (3.20) \quad P_e = \frac{\gamma}{\eta} [Q(L) - Q(x_0)] [H(L) - H(x_0)] \quad (6.21)$$

care în urma înlocuirilor și efectuării calculelor devin:

$$P_i = \frac{\gamma}{\eta} (s_0 q_0^{\beta+1} x_0 + s_0 a q_0^\beta x_0^{\alpha+1} - \frac{b q_0^{\beta+1}}{3} x_0^3 - \frac{a b q_0^\beta}{3} x_0^{\alpha+3} + \frac{s_0 q_0 a^\beta}{\beta\alpha + 1} x_0^{\beta\alpha+1} + \frac{s_0 a^{\beta+1}}{\beta\alpha + 1} x_0^{\alpha+\beta\alpha+1} - \frac{q_0 b a^\beta}{\beta\alpha + 3} x_0^{\beta\alpha+3} - \frac{b a^{\beta+1}}{\beta\alpha + 3} x_0^{\alpha+\beta\alpha+3}) \quad (6.22)$$

$$P_e = \frac{\gamma}{\eta} \left[ \frac{s_0 a^{\beta+1}}{\beta\alpha + 1} L^{\alpha+\beta\alpha+1} - \frac{ba^{\beta+1}}{\beta\alpha + 3} L^{\alpha+\beta\alpha+3} + \left( \frac{ba^{\beta+1}}{\beta\alpha + 3} L^{\beta\alpha+3} - \frac{s_0 a^{\beta+1}}{\beta\alpha + 1} L^{\beta\alpha+1} \right) x_0^\alpha - \right. \\ \left. - \frac{s_0 a^{\beta+1}}{\beta\alpha + 1} L^\alpha x_0^{\beta\alpha+1} + \frac{s_0 a^{\beta+1}}{\beta\alpha + 1} x_0^{\alpha+\beta\alpha+1} + \frac{ba^{\beta+1}}{\beta\alpha + 3} L^\alpha x_0^{\beta\alpha+3} - \frac{ba^{\beta+1}}{\beta\alpha + 3} x_0^{\alpha+\beta\alpha+3} \right] \quad (6.23)$$

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:

$$P = \frac{\gamma}{\eta} (c_0 + c_1 x_0 + c_2 x_0^\alpha + c_3 x_0^{\alpha+1} + c_4 x_0^3 + c_5 x_0^{\alpha+3} + c_6 x_0^{\beta\alpha+1} + c_7 x_0^{\alpha+\beta\alpha+1} + c_8 x_0^{\beta\alpha+3} + c_9 x_0^{\alpha+\beta\alpha+3}) \rightarrow \min, \quad (6.24)$$

coeficienții funcției obiectiv având expresiile:

$$c_0 = \frac{s_0 a^{\beta+1}}{\beta\alpha + 1} L^{\alpha+\beta\alpha+1} - \frac{ba^{\beta+1}}{\beta\alpha + 3} L^{\alpha+\beta\alpha+3} \quad (6.25) \quad c_1 = s_0 q_0^{\beta+1} \quad (6.26)$$

$$c_2 = \frac{ba^{\beta+1}}{\beta\alpha + 3} L^{\beta\alpha+3} - \frac{s_0 a^{\beta+1}}{\beta\alpha + 1} L^{\beta\alpha+1} \quad (6.27) \quad c_3 = s_0 a q_0^\beta \quad (6.28)$$

$$c_4 = -\frac{bq_0^{\beta+1}}{3} \quad (6.29) \quad c_5 = -\frac{abq_0^\beta}{3} \quad (6.30)$$

$$c_6 = \frac{s_0 a^\beta}{\beta\alpha + 1} (q_0 - aL^\alpha) \quad (6.31) \quad c_7 = 2 \frac{s_0 a^{\beta+1}}{\beta\alpha + 1} \quad (6.32)$$

$$c_8 = \frac{ba^\beta}{\beta\alpha + 3} (aL^\alpha - q_0) \quad (6.33) \quad c_9 = -2 \frac{ba^{\beta+1}}{\beta\alpha + 3} \quad (6.34)$$

Minimul funcției obiectiv (6.24) se evaluează utilizând metoda numerică a interpolării, pe baza algoritmului de căutare cu pas accelerat cuplat cu interpolare pătratică.

Pe măsură ce amplasamentul stației interioare se deplasează de la extremitatea aval a magistralei înspre amonte, înălțimea 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 nefiind justificate.

Procedeul 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.

### 6.2.1.2 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  $p_2$ , înălțimea de pompare fiind  $H_{pi}=(p_2-p_1)$

Utilizarea stațiilor intermediare de pompare montate în serie pe unele artere (fig. 6.8) amplifică debitul de tranzit al acestor conducte, provocând o zonă de mică presiune amonte, în nodul dinspre aspirație, dar asigură o creștere însemnată a presiunii aval în nodul de refulare, creându-se deci creșteri locale, favorabile, ale înălțimilor piezometrice în sistem. Stația de repompare astfel integrată se prevede 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:

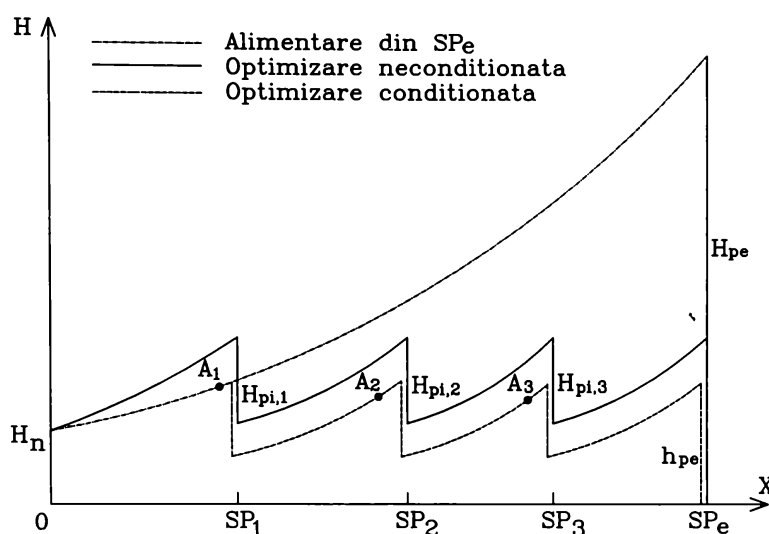


Fig. 6.8 Schema optimizării prin integrarea stațiilor de repompare pe artere

$$P = \frac{\gamma}{\eta} \left( \sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} h_{pe,j} + \sum_{k=1}^{NA} Q_{pa,k} H_{pi,k} \right) \quad (6.35)$$

în care:  $Q_{p,j}$ ,  $h_{pe,j}$  sunt debitul și înălțimea 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  $k$ .

Întrucât 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:

$$\Delta P = \frac{\gamma}{\eta} \left( \sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} H_{pe,j} - P \right), \quad (6.36)$$

cea ce conduce și la micșorarea consumului energetic în sistem, realizându-se economia de energie electrică  $\Delta W_e$  dată de relația (6.11).

În cazul *optimizării necondiționate*, așa cum se arată în figura 6.8, 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 încât în artere presiunea să scadă practic chiar sub valorile asigurate  $H_n$ , obținându-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, realizate la noi în țară, 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 până la valorile înscrise în tabelul 6.3.

*Tabelul 6.3*

**Numărul de agregate necesare în funcție de debit**

Nr. agreg.	Debitul arterei, $Q_{pa}$ [m <sup>3</sup> /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 decât 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 presiune 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 atât mai mari cu cât numărul de agregate este mai mare.

De aceea sunt 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.

### 6.2.1.3 Amenajarea castelilor 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 castelilor de apă date de relațiile (6.12) și (6.13).

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 [136] pentru a se realiza indicatori tehnico-economici cât 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 înălțimilor 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 vârf. La vârfurile programului de pompare, între orele 7-9 și 17-21, când tariful energiei electrice este mai ridicat, este recomandabil să se livreze debite mai mici prin stațiile de pompare exterioare, diferențele compensatoare completându-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 vârf se pierde de obicei prin creșterea consumului energetic global.

### 6.2.2 Eficiența economică a procedeelelor 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:

$$T_r = \frac{\Delta I}{C_e - C_i} \leq T_n \quad (6.37)$$

în care:  $\Delta I$  este investiția suplimentară necesară în cazul sistemului optimizat;  $C_e$  - cheltuielile anuale de exploatare pentru sistemul de distribuție referențial cu rețea alimentată prin pompă 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  $\Delta I$  are expresia generală:

$$\Delta I = I_a + \sum f_i P_i + \sum r_i V_i \quad (6.38)$$

în care:  $I_a$  este investiția necesară realizării aducțiilor;  $f_i$  - costul de instalare a unității de putere în stațiile de pompă 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 înălțimile de amortizare, reparații și întreținere și costul energiei necesare la pompă, se exprimă prin relațiile:

$$C_e = pI_e + \sum eP_e T_{pe} \quad (6.39) \quad C_i = p(I_e + \Delta I) + \sum eP'_e T'_{pe} + \sum eP_i T_{pi} \quad (6.40)$$

unde:

$$I_e = I_c + \sum f_e P_e + \sum r_e V_e \quad (6.41)$$

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 vârf și restul orelor de consum energetic;  $T_{pe}$  - timpul de funcționare a stațiilor de pompă exterioare cu puterile  $P_e$ , în sistemul referențial;  $T'_{pe}$  - timpul de funcționare a stațiilor de pompă exterioare cu puterile  $P'_e$ , în sistemul optimizat;  $T_{pi}$  - timpul de funcționare a stațiilor de pompă 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 pompă exterioare;  $r_e$  - costul unitar pentru investiții în rezervoarele uzinale ale sistemului, cu volumele  $V_e$ .

Ținând seama de relațiile (6.39), (6.40) și folosind notațiile:

$$C_{we} = \sum eP_e T_{pe} \quad (6.42) \quad C_{wi} = \sum eP'_e T'_{pe} + \sum eP_i T_{pi} \quad (6.43)$$

$$\Delta C_w = C_{we} - C_{wi}, \quad (6.44)$$

expresia (6.37) a timpului de recuperare diferențial primește forma:

$$T_r = \frac{\Delta I}{\Delta C_w - p\Delta I} \leq T_n \quad (6.45)$$

în care  $\Delta C_w$  este diferența dintre costul energiei  $C_{we}$  în sistemul de distribuție referențial și costul energiei  $C_{wi}$  în sistemul optimizat.

### 6.2.3 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, respectându-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 încât 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 rămân în funcțiune în etapele de perspectivă, întrucât 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 vârf, pe cât este posibil la înălțimi 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.

### 6.2.4 Exemplificări numerice ale aplicării procedeelelor de optimizare funcțională cu elemente potențiale interioare

#### 6.2.4.1 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 răspândire redată în mărimi relative în tabelul 6.4, 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  $45^\circ$  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 având încărcarea medie orară egală cu debitul maxim zilnic de  $3,49 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Programul pomparii este astfel întocmit încât în orele de vârf ale consumului energetic alimentarea cu apă a sistemului să fie mai redusă.

Tabelul 6.4

## Evaluarea volumului compensator de rețea al castelelor de apă

Ora	Coef. consum, [%]		Coef. pompare, [%]		Coef. compens, [%]		Vol. comp.
	$\alpha_c$	$\sum \alpha_c$	$\alpha_p$	$\sum \alpha_p$	$\alpha_r$	$\sum \alpha_r$	
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	<b>8,20</b>
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

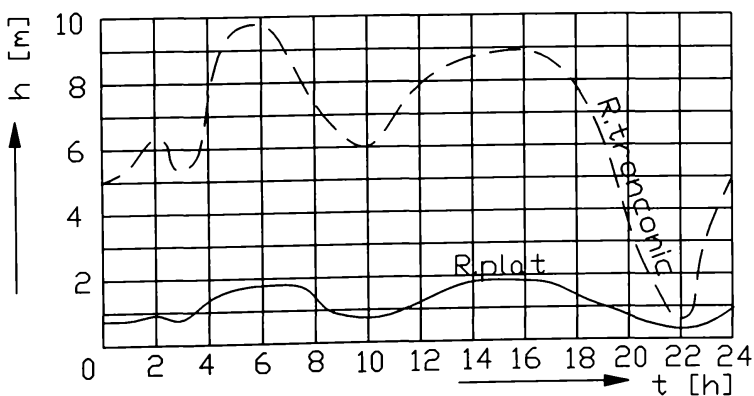


Fig.6.9. Oscilația nivelului apei în castelele de apă  
 cazul rezervorului plat de mică înălțime a apei, realizându-se în cea de a doua soluție o economie de energie electrică de 2662 MWh/an, reprezentând o micșorare a consumului energetic de 11 %.

Prin transpunerea volumelor compensatoare din procente în mărimi absolute s-a calculat înălțimea apei în fiecare moment pentru ambele tipuri de rezervoare și s-a reprezentat grafic variația acestuia în figura 6.9, pe baza căreia s-a efectuat în tabelul 6.5 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

Tabelul 6.5

## Calculul consumului energetic la distribuția apei folosind rezervoarele înalte

Ora	Pompare		Rezervor tronconic			Rezervor plat		
	$\alpha_p$ [%]	$Q_p$ [m <sup>3</sup> /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				
2-3	4,50	4,25	53,6	2980				
3-4	4,50	4,25	56,8	3160				
4-5	4,50	4,25	57,2	3180				
5-6	4,50	4,25	57,7	3205				
6-7	4,50	4,25	56,8	3155				
7-8	2,50	2,36	56,4	1740				
8-9	3,00	2,83	56,3	2085				
9-10	4,50	4,25	54,0	3000				
10-11	5,50	5,20	54,5	3705				
11-12	5,20	4,91	55,7	3580				
12-13	5,25	4,96	56,2	3645				
13-14	5,25	4,96	56,7	3680				
14-15	5,00	4,73	56,8	3515				
15-16	4,50	4,25	56,9	3160				
16-17	4,25	4,02	56,8	2985				
17-18	2,50	2,36	56,5	1745				
18-19	2,50	2,36	55,3	1705				
19-20	2,85	2,03	54,2	1440				
20-21	3,00	2,83	53,8	1990				
21-22	3,50	3,30	49,4	2130				
22-23	4,25	4,02	50,4	2650				
23-24	4,50	4,25	52,8	2935				
<i>Economia de energie, <math>\Delta W_e</math></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 calculului 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.

#### 6.2.4.2 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, considerând un centru populat industrial având rețeaua de distribuție de mare extindere, cu schema din figura 6.10.

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, asigurându-se debitul  $Q_{\text{orar max}} = 4,30 \text{ m}^3/\text{s}$  și înălțimea medie de pompare  $H_{pe} = 60 \text{ mH}_2\text{O}$ .

Ținând seama de graficul variației orare a debitului pompat (fig. 6.11), se determină energia electrică consumată zilnic  $W_{ee}$ , cu relația:

$$W_{ee} = \frac{\gamma}{\eta} H_{pe} \sum_i Q_{oi} t_i \quad (6.46)$$

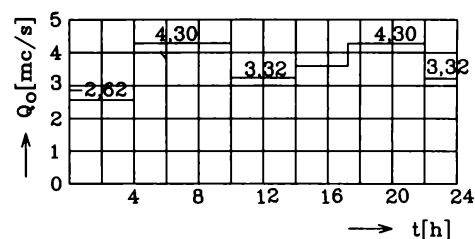
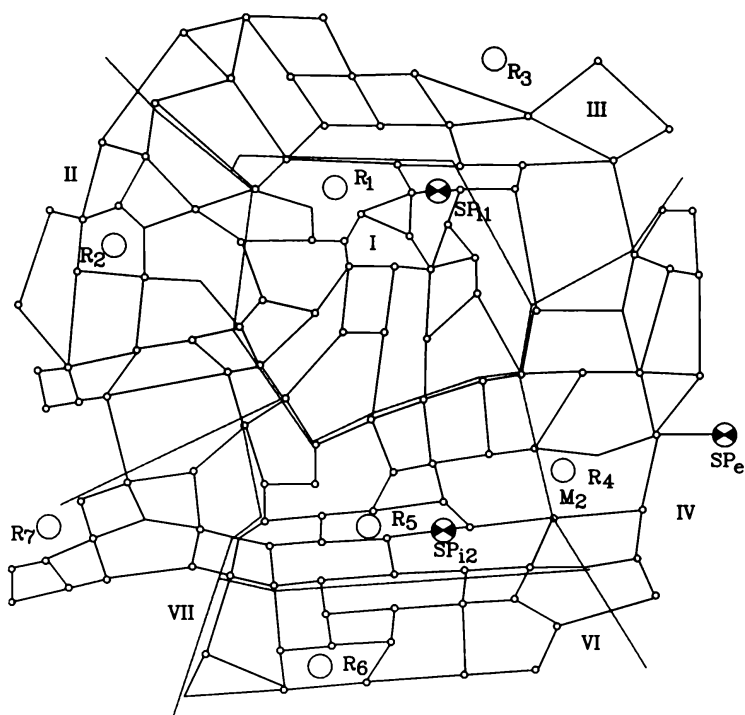


Fig.6.11 Graficul de pompare al SP<sub>e</sub> în soluția de referință

Fig. 6.10 Schema rețelei de distribuție analizate

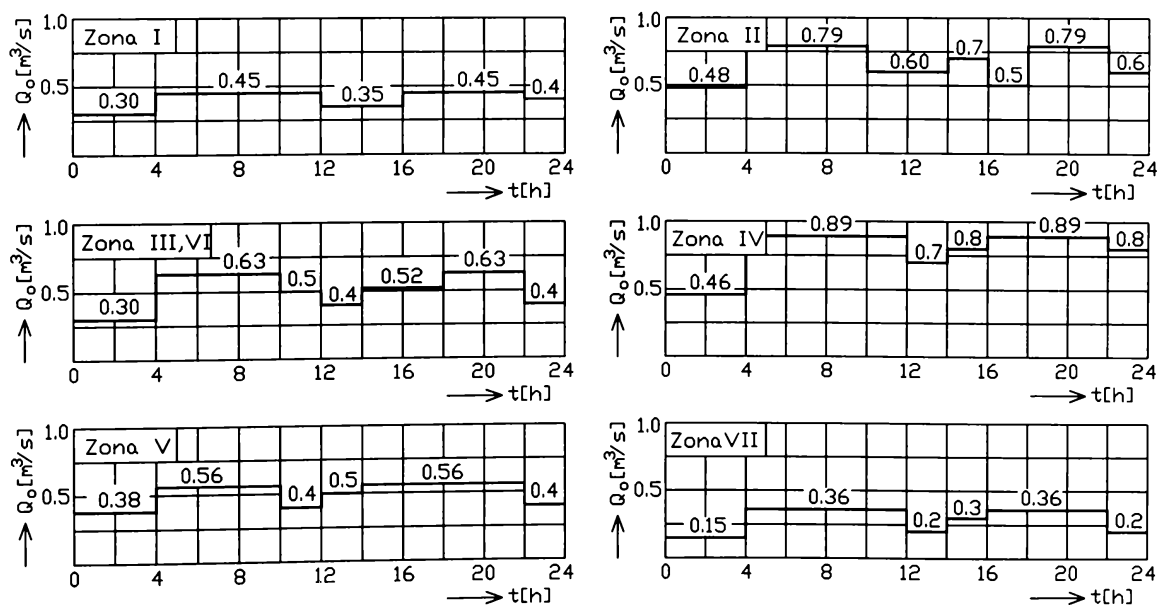


Fig. 6.12 Graficul de pompare din rezervoarele zonale

în care:  $\gamma$  este greutatea specifică a apei;  $\eta$  - 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  $Q_o$  conform graficelor din figura 6.12 și presiunea necesară pentru zonele de consum. Stația de pompare exterioară  $SP_e$ , printr-o rețea inelară de conducte de mică presiune (fig. 6.13), alimentează rezervoarele  $R_k$  ( $k=1,\dots,7$ ), asigurând în mod continuu în afara orelor de vârf ale consumului energetic debitul  $Q_{zimax} = 3,94 \text{ m}^3/\text{s}$  și înălțimea medie  $h_{pe} = 15 \text{ m H}_2\text{O}$  pentru învingerea pierderilor de energie în conducte și a diferenței maxime între înălțimea nivelului apei în bazinul de aspirație al pompelor și a nivelului maxim al apei în rezervoare.

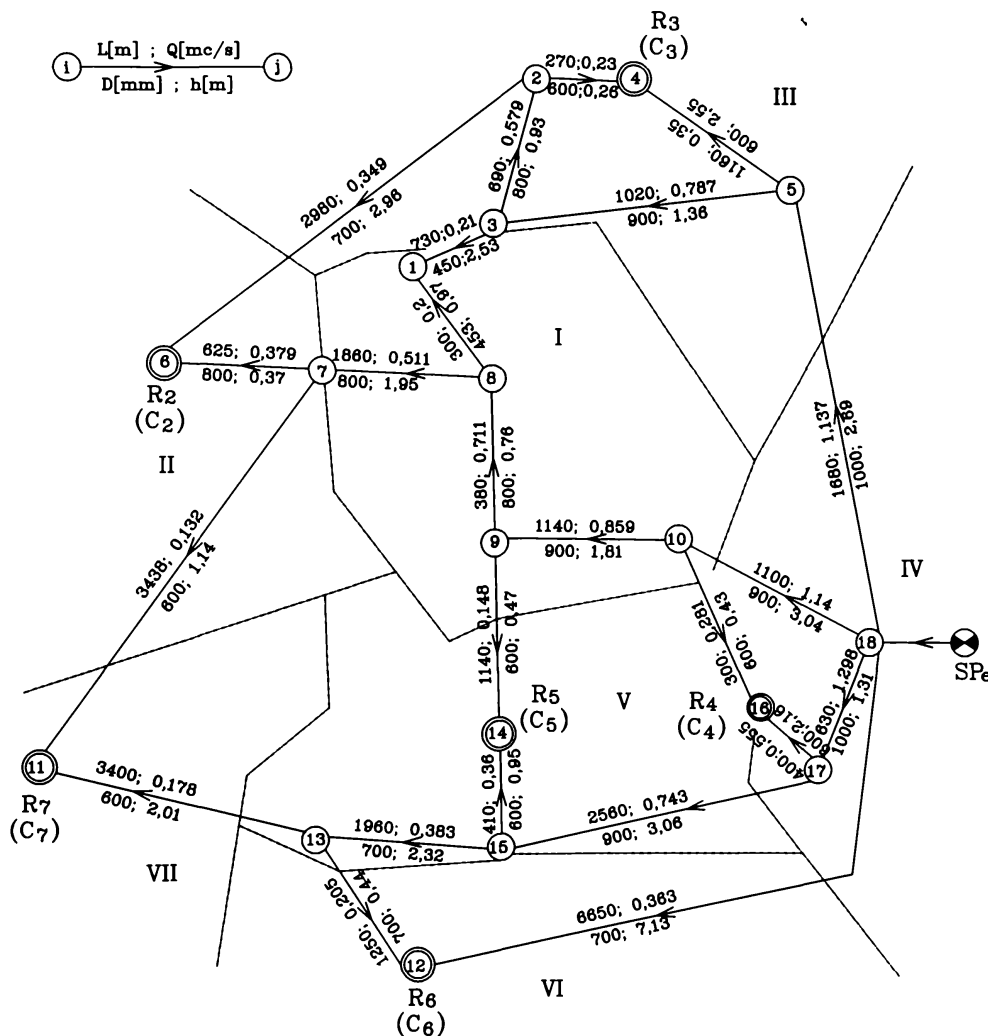


Fig. 6.13 Schema rețelei de alimentare a rezervoarelor zonale

Energia totală consumată zilnic în această soluție  $W_e$  se determină cu relația:

$$W_e = W_{ec} + W_{ei} \tag{6.47}$$

unde:

$$W_{ec} = \frac{\gamma}{\eta} h_{pc} Q_{zimax} t \tag{6.48}$$

$$W_{ei} = \frac{\gamma}{\eta} \sum_{k=1}^{NR} H_{pi,k} \sum_i Q_{oi,k} t_{i,k} \tag{6.49}$$



în care:  $W_{ee}$  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  $k$ , având 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 castele de apă  $C_k$  ( $k=1, \dots, 7$ ) cu oscilații mici de nivel (fig. 6.13), care asigură în zonele respective distribuția gravitațională. De la stația de pompare exterioară se pompează la înălțimea medie  $h_{pe} = 49$  mH<sub>2</sub>O, debitul  $Q_{zimax} = 3,94$  m<sup>3</sup>/s, conform programului din tabelul 6.5 care prevede pompări reduse în orele de vârf ale consumului energetic.

d) *soluția a patra* presupune repomparea directă a apei prin stațiile intermediare  $SP_{i1}$  și  $SP_{i2}$  (fig. 6.10) în ipoteza racordării conductelor de serviciu imediat aval de acestea. Stația de pompare exterioară livrează debitul  $Q_{orar\ max} = 4,30$  m<sup>3</sup>/s, la înălțimea medie de pompare  $h_{pe} = 40,5$  mH<sub>2</sub>O, iar stațiile de pompare integrate dotate cu două și respectiv trei agregate, funcționează cu debite de 0,94 m<sup>3</sup>/s și respectiv 1,78 m<sup>3</sup>/s la sarcinile medii de refulare  $H_{pi,1} = 13,0$  mH<sub>2</sub>O și  $H_{pi,2} = 11,4$  mH<sub>2</sub>O, astfel încât energia electrică consumată zilnic se poate determina cu relația de forma (6.47).

Regimul debitelor și al presiunilor în rețea pentru toate soluțiile analizate s-a determinat cu ajutorul programului FOXPRO AN1, iar dimensionarea rețelei de alimentare a rezervoarelor zonale s-a efectuat folosind programul FOXPRO D1.

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 vârf.

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 pompare 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 referențial nezonată și cu timpul de recuperare diferențial acceptabil, de 10 ani.

Introducerea în sistemul de distribuție a unor rezervoare zonale cuplate cu stații de pompare interioare și integrarea pe unele artere a stațiilor de pompare intermediare asigură o uniformizare și o mai mare stabilitate a liniilor de presiune, cu efecte energetico-economice favorabile.

### **6.3 Optimizarea condițiilor energetice ale distribuției apei în sistemele centralizate de alimentare cu apă prin reducerea consumului de energie în instalațiile tehnico-sanitare din interiorul clădirilor de locuit**

#### **6.3.1 Soluții pentru reducerea consumului de energie în instalațiile tehnico-sanitare din interiorul clădirilor de locuit**

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 industriei 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 distribuire 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 acestuia și se prezintă unele procedee pentru reducerea consumului de energie în instalațiile tehnico-sanitare din interiorul clădirilor de locuit.

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 pompare 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 pompare interioare pentru etajele superioare, respectiv mai redusă pentru etajele inferioare (până la P+4E), atât pentru apa rece cât 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 (2.1), 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 presiune 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 (2.1) în loc de  $H_p$  se introduce  $H_p - H_d$ , iar în consecință această relație devine:

$$w_{ph} = 0,00272 \frac{H_p - H_d}{\eta_h} \quad (6.50)$$

în care  $\eta_h$  este randamentul mediu al pompelor stației de hidrofor.

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 pomparii, 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 contorizare a acestora la utilizatori;

- perfecționarea armăturilor obiectelor sanitare în scopul diminuării debitelor specifice și a pierderilor locale de presiune, 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;

### 6.3.1.1 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.

Astfel, în literatura tehnică franceză se precizează pentru diferitele obiecte sanitare în mod diferențiat temperaturile de utilizare și debitele specifice de apă caldă (tab. 6.6). De asemenea, în tabelul 6.7 sunt prezentate valorile necesarului de apă corespunzător diferitelor obiecte sanitare în raport cu structura apartamentelor și pentru o temperatură echivalentă de 50 °C.

Tabelul 6.6

**Temperaturile de utilizare și debitele specifice de apă caldă ale obiectelor sanitare**

Nr. crt.	Obiect sanitar	Temperatură [°C]	Debit specific [dm <sup>3</sup> /zi]
0	1	2	3
1	Spălător	65	30
2	Lavoar	35	10
3	Duș	42	45
4	Bideu	40	5

Tabelul 6.7

**Necesarul zilnic de apă caldă al obiectelor sanitare, în dm<sup>3</sup>/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 dm<sup>3</sup>/(om.zi) apă caldă (cu temperatura de 60 °C) față de consumul prevăzut în STAS-ul 1478, de 110 dm<sup>3</sup>/(om.zi). Valori similare, de ordinul a 40 dm<sup>3</sup>/(om.zi), sunt 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.

Comparând 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 dm<sup>3</sup>/(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.

Luând în calcul și posibilitatea reconsiderării normelor de consum în sensul reducerii lor de la 110 dm<sup>3</sup>/(om.zi) până la 60 dm<sup>3</sup>/(om.zi), cât 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, indicând o economie potențială de energie față de condițiile actuale de până 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.

### 6.3.1.2 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. 6.14) 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.

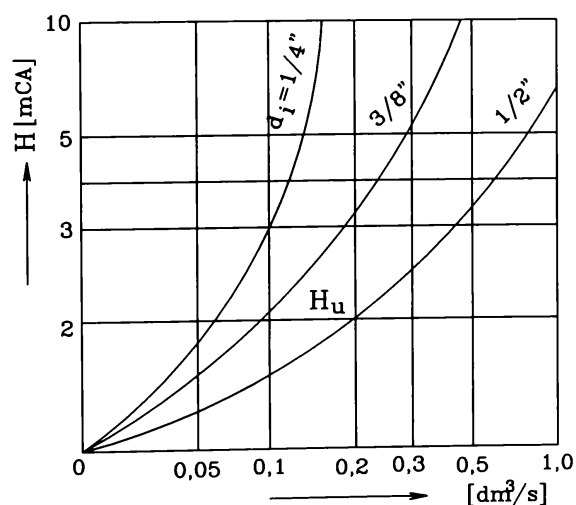


Fig. 6.14 Caracteristica funcțională a unei armături la diametre diferite

Această soluție se poate aplica imediat la noile clădiri, iar cu timpul se înlocuiesc odată cu expirarea duratei lor de utilizare și armăturile de 1/2 " existente.

Realizarea armăturilor după alt standard conduce inevitabil la modificarea prevederilor STAS-ului 1478-90 referitoare la noile debite specifice  $q_s$ .

O soluție perfecționată, ce conduce la economii de apă și de energie de până la 80 % față de armăturile tradiționale ar fi realizarea unor robinete automate, prevăzute cu sisteme de percepție optoelectronică sau ultrasonică, care debitează numai în prezența utilizatorului în câmpul de acțiune al detectoarelor.

Având în vedere importantele pierderi de apă ce se produc prin rezervoarele de spălare ale vaselor de closet,

reprezentând 20 ... 40% din necesarul zilnic al unui apartament mediu convențional, se impune ameliorarea funcțională a acestora și folosirea unor rezervoare de spălare sub presiune [121], [159].

### 6.3.1.3 Recircularea apei calde menajere din instalațiile interioare

Figura 6.15 prezintă o instalație sanitară clasică pentru producerea apei calde menajere cu ajutorul unei instalații de încălzire centrală. Acest lucru se poate face la fel de bine , cu un boiler, cu un schimbător de căldură sau cu o pompă de căldură.

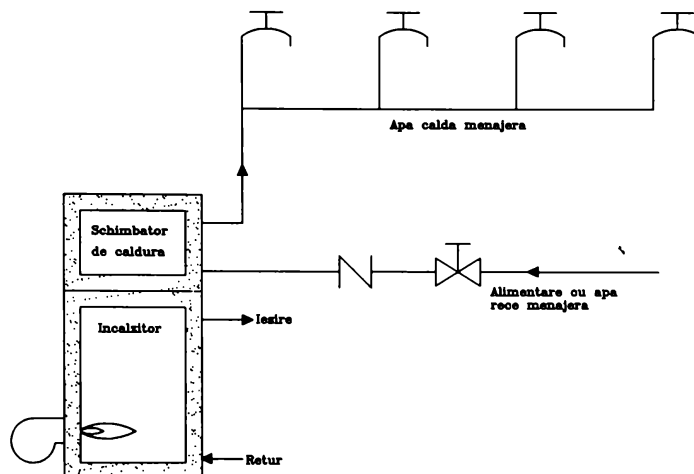


Fig.6.15 Schemă instalație sanitară clasică

Apa rece intră în sursa de căldură și este purtată la temperatura respectivă, prin conducție precum și de presiunea de alimentare cu apă (presiunea apei rețelei din oraș), prin conducte , până la robinetii de apă caldă.

Dacă cineva deschide un robinet de apă caldă , apa rece de alimentare împinge apa încălzită de-a lungul conductelor către robinetii.

Aceste conducte circulă de-a lungul pereților și anumitor piese mai puțin bine încălzite. În consecință, primii litri de apă care ies din robinet sunt reci. Această carență poate fi înlăturată printr-un circuit sanitar dotat cu o pompă de circulație.

Figura 6.16 prezintă aceeași instalație ca și în figura 6.15 dar dotată cu un circuit secundar cu pompă pentru apă caldă menajeră.

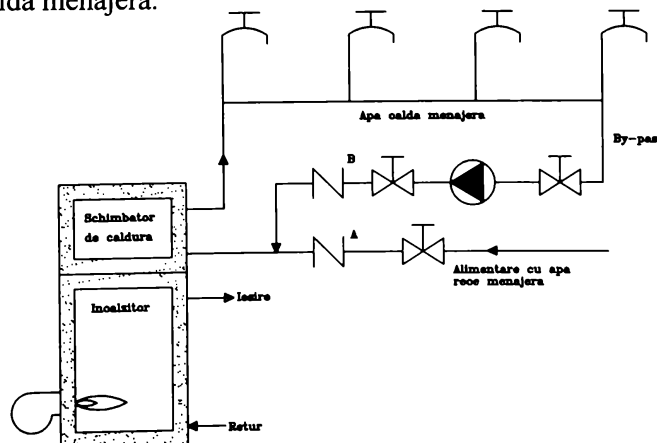


Fig.6.16 Schema instalației sanitare cu recirculare

Ultimul utilizator de apă caldă este racordat la punctul de sosire al apei reci sanitare.

Dacă nu există nici un consumator de apă caldă deschis, pompa de circulație deschide supapa anti-retur "B" și închide supapa anti-retur "A". Apa caldă menajeră circulă de la sursa de apă

caldă către consumatori și prin pompa de circulație se întoarce la sursa de apă caldă. Apa caldă va circula deci tot timpul prin conducte și această recirculare va compensa pierderile de căldură.

Dacă apa caldă se consumă , apa rece de la rețeaua de alimentare cu apă a orașului intră , deschide supapa anti-retur “**A**” și închide supapa anti-retur “**B**”. Apa circulă prin sursa de căldură la consumatori.

Într-o rețea de apă menajeră , există totdeauna o circulație de apă proaspătă în care se găsește clor, calcar, ,etc. Pentru a evita depunerea calcarului în pompa de circulație, se pot lua mai multe măsuri, ca de exemplu:

- carcasa pompei se va realiza , de preferință din materiale cu suprafață cu rugozitate foarte mică(lustruite), ca de exemplu bronz sau inox;

- circulația normală de apă în motorul pompei va trebui limitată cu ajutorul etanșării ameliorate la axul pompei.

Debitul pompei nu se va calcula niciodată în funcție de volumul sursei de căldură. Debitul se va calcula ținând seama de pierderile de temperatură în conducte și accesorii, pierderi ce vor trebui compensate de către pompa de circulație .

Aceste pierderi depind de lungimea conductelor, de diametrul lor, precum și de izolația lor. Lungimea și diametrul conductelor dau suprafața lor. Foarte adesea circuitele menajere sunt confecționate din țevă de mai multe diametre.

Conductele de pornire au un diametru mai mare, deoarece apa caldă trebuie utilizată direct la consumatori ( robinete, dușuri, băi) și deci trebuie vehiculată în cantitatea necesară la consum. Conductele de retur nu servesc decât la readucerea apei la sursa de căldură și, deci pot fi confecționate cu diametru mai mic.

## 7. CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE

Economia de energie, atât pe plan intern cât și pe plan extern este o problemă de mare actualitate și în domeniul alimentărilor cu apă potabilă.

În prezenta lucrare am studiat teoretic întregul sistem de alimentare cu apă potabilă în totalitatea lui: surse de apă, rețele de distribuție, stații de pompare. Verificarea rezultatelor teoretice obținute cu instrumentul matematic și cu ajutorul calculatoarele IBM-PC se poate realiza numai prin luarea în considerare a unui sistem existent de alimentare cu apă potabilă, cu regimurile lui de funcționare. Pentru studiul de caz am analizat sistemul de alimentare cu apă potabilă a municipiului Timișoara, un sistem complex ce prezintă deficiențe în funcționare.

Sistemului centralizat modern de alimentare cu apă pentru Timișoara datează de la 1 iunie 1914 când intră în funcțiune Uzina de apă nr.1, ce avea asigurată apa de subteran din 3 grupuri de fântâni, aducțiunea având o lungime de cca.15,8 km. În anul 1916 s-a pus în funcțiune alimentarea cu apă industrială, Uzina de apă nr.3, constând din captare de mal din Bega (amonte de uzina hidroelectrică), aducțiune, decantare, stație de pompare, o distribuție de cca. 16 km și un castel de echilibru cu rezervor de 250 m<sup>3</sup>. Creșterea necesarului de apă a determinat studierea altor posibilități de alimentare cu apă decât cel din sursă subterană și astfel în ziua de 16 decembrie 1959, intră în funcțiune instalațiile de potabilizare a apei din Bega care, până în prezent, constituie principala sursă de apă pentru Timișoara (Uzinele de apă 2+4). Apa din canalul Bega este suficientă din punct de vedere cantitativ, dar cu probleme din punct de vedere al calității apei. Am luat astfel în studiu sistemul de alimentare cu apă potabilă a municipiului Timișoara acum după o lungă perioadă de funcționare, cu intercalarea unor modificări, îndeobște inoportune.

Contribuțiile personale teoretice și practice, pot fi sintetizate după cum urmează:

1. Din studiul efectuat pe baza măsurătorilor din sistemul de alimentare cu apă potabilă în totalitatea lui, atât în rețeaua de distribuție a apei, cât și în uzinele de apă, rezultă o funcționare necorespunzătoare a sistemului în anumite perioade.

Astfel am obținut un coeficient de neuniformitate zilnică  $K_{zi}=1,17$  față de 1,10 cât este impus de STAS 1343/1-1995, respectiv un coeficient de neuniformitate orară  $K_o=1,25$  față de 1,15 conform aceluiași STAS 1343/1-95. Aceasta înseamnă o subevaluare a necesarului de apă, a cerinței de apă, a debitelor caracteristice (debitul zilnic mediu, debitul zilnic maxim și debitul orar maxim) precum și a debitului de calcul pentru canalizare. Din graficele pentru înmagazinare s-a constatat insuficiența capacităților de înmagazinare.

Am determinat consumul mediu de energie la uzinele de apă, obținând un consum de 104 MWh. Forma curbei de variație a presiunii apei în rețea este asemănătoare cu cea a presiunii de refulare a pompelor din stațiile de pompare treapta a-II-a de la Uzinele de apă Nr.2+4, care este de fapt sursa principală de apă.

În capitolele 1.1, 1.2 și anexa 1 sunt prezentate detaliat rezultatele măsurătorilor efectuate și deficiențele actuale ale sistemului de alimentare cu apă potabilă a municipiului Timișoara.

2. Datorită dezvoltării orașului, a creșterii consumului specific de apă, sursele de apă au devenit insuficiente. La aceasta se adaugă și faptul că, din punct de vedere a calității apei, situația este necorespunzătoare [175], [177], [182] la o serie de indicatori, la sursa de suprafață (Uzinele de apă 2 și 4) în anumite condiții. Soluția la care s-a recurs în 1959, prin alegerea principalei surse de apă pentru Timișoara, apa de suprafață din canalul Bega, s-a dovedit inadecvată.

Pentru studiul de caz, municipiul Timișoara, datorită aspectelor sale complexe, rezolvarea completă a deficiențelor sistemului de alimentare cu apă potabilă se poate realiza doar în etape.

Din punct de vedere al sursei de apă, renunțarea la sursa de apă de suprafață se poate face doar prin extinderea Uzinei de apă nr.1 (500 l/s din frontul de captare zona Albina-Sacoșu Turcesc, refacerea capacității de 210 l/s la Uzina de apă nr.1 veche Urseni), precum și a Uzinei de apă nr.5 cu 216 l/s (32 foraje), cumulat cu extinderea Uzinei de apă industrială (Uzina de apă nr.3) cu 300 l/s, separând astfel marii consumatori industriali. Debitel concentrat reprezintă, conform datelor pe care le-am prelucrat, aproximativ 76 % din necesarul de apă repartizat astfel: 40 % puncte termice sau centrale termice care produc apă caldă menajeră, 6 % puncte termice sau centrale termice care produc apă caldă menajeră dar și apa rece trece prin stația de hidrofor, iar 30 % reprezintă marii consumatori industriali. Din această cauză, separarea consumatorilor industriali și alimentarea lor printr-o rețea proprie având ca sursă Uzina de apă nr.3 este o soluție ce nu poate fi neglijată. Extinderea Uzinei de apă nr.5 este benefică datorită poziționării acestei surse, în partea diametral opusă celorlalte surse, realizând astfel nu numai asigurarea necesarului de apă ca sursă ci și ridicarea presiunii apei în zonele actualmente deficitare, din N-E, N și N-V municipiului. Execuția unei magistrale de diametre 1000 mm și 800 mm, în partea de nord a municipiului, în lungime totală de 11,5 km, ar îmbunătăți funcționarea rețelei în această zonă deficitară, rezolvată parțial prin compensările asigurate de Uzina de apă nr.5, corelată cu extinderea la capacitatea maximă a acestei uzine.

Pentru 3 perioade de timp (an, iarnă și vară) și pentru fiecare uzină de apă am determinat graficele de variație a presiunii de refulare și a numărului pompelor în funcțiune în stațiile de pompare treapta a-II-a. Prin prelucrarea datelor cu ajutorul programelor de calcul am determinat debitel de calcul, energii hidraulice, pierderile de energie, frecvențele de apariție a debitel, presiunilor și randamentel (anexa 4). Am constatat că pe timp de iarnă consumul de apă este mai mare, fapt justificat de funcționarea rețelei de termoficare în sezonul rece și de întreruperea furnizării apei calde în sezonul cald, datorită reparațiilor din punctel și centralele termice.

3. Am determinat rugozitatea absolută reală, a conductel rețelei, după procedura prezentată detaliat în capitolul 3.4.3. și am obținut valoarea  $k=21\text{mm}$ , care este mult mai mare decât cea teoretică  $k=1,95\text{mm}$  determinată cu relația lui Kamerstein. Această valoare mare implică necesitatea înlocuirii conductel rețelei de distribuție cu conducte noi, dar care să nu favorizeze depunerile pe pereții conductel, ca și în cazul oțelului. Pentru determinarea rugozității absolute reale a conductel rețelei de distribuție a apei potabile, am utilizat: programul de calcul FOXPRO AC2, graficele din anexa 4 și presiunile determinate în cele 10 puncte de măsurare ale rețelei.

4. Am propus soluția înlocuirii întregii rețele de distribuție cu conducte din polietilenă de înaltă densitate (PE). Gradul ridicat de uzură a conductel din rețeaua de distribuție (peste 270 km din rețea au o vechime de peste 50 ani), duce la necesitatea înlocuirii conductel deci se impune și un calcul economic comparativ între conductele de polietilenă și cele din oțel. Efectuând calculul economic (capitolul 3.4.4.) am obținut o perioadă de amortizare de 6,87 ani pentru polietilena de înaltă densitate și 10,69 ani pentru cele din oțel. În plus, în cazul conductel din polietilenă, comparativ cu cele din oțel, se poate scădea presiunea la surse pentru asigurarea presiunilor necesare la toate punctel de consum, respectiv pentru aceeași presiune la surse se pot diminua corespunzător diametrele conductel. În cazul unei rețele de distribuție din polietilenă, consumul de energie din rețea reprezintă 7,68% din consumul energetic total al sistemului de alimentare cu apă, față de 12,66% cât este în prezent. Excluderea conductel de oțel devine inevitabilă.

5. Rețeaua de distribuție a apei potabile în municipiul Timișoara are o lungime de 540,60 km și asigură apa pentru consum menajer pentru cca. 327000 de locuitori dar și pentru consumatorii importanți (puncte termice, centrale termice, industrie), de aceea am propus înlocuirea conductel rețelei de distribuție pe etape. Aceasta presupune înlocuirea la început a conductel cu diametre mari, 1000 mm și 800 mm, ce însumează 25,455 km, adică 4,7% din întreaga lungime a rețelei, deoarece pierderile de presiune în aceste conducte sunt de 60,5 mH<sub>2</sub>O, adică 27% și efectul favorabil va fi resimțit în întreaga rețea de distribuție și nu pe zone restrânse. Prima etapă de



înlocuire a conductelor magistrale cu polietilenă de înaltă densitate, conform calculului economic efectuat în capitolul 3.4.4.(44,42% din valoarea totală a investiției), înseamnă o investiție cu o perioadă de amortizare de 3,05 ani.

6. Utilizarea conductelor de polietilenă de înaltă densitate (PE) prezintă pe lângă marile avantaje prezentate anterior (rugozitatea absolută  $k$  a conductelor de numai 0,007 mm, durata de viață minim 50 de ani dar se pot utiliza chiar 100 de ani, ușor de montat și necesită șanțuri înguste, deci și o execuție rapidă, nu sunt corosive și nu se crapă la înghețarea apei în conducte, etc.) și posibilitatea utilizării presiunilor mari în rețea. Astfel în urma calculelor efectuate (capitolul 3.4.4.) utilizând programul de calcul de analiză bazat pe metoda ciclurilor, pentru o presiune la surse de 10bar am obținut presiuni disponibile în toate nodurile rețelei mai mari decât presiunile necesare, fără a mai utiliza stații de hidrofor pe vatra municipiului și nici în subsolurile clădirilor mai înalte decât P+4. Utilizarea presiunilor mari în rețea impune montarea reguletoarelor de presiune pe fiecare branșament. De asemenea se reduc considerabil pierderile de presiune din rețea cu 74,5 % față de cazul existent și cu 42 % față de pierderile de presiune în cazul utilizării conductelor din polietilenă de înaltă densitate dar cu o presiunea la surse de 5bar, adică un consum de energie în rețea de 2,25% din consumul energetic total al sistemului de alimentare cu apă.

Până la înlocuirea conductelor din oțel cu conducte din polietilenă de înaltă densitate (PE), ce exclud formarea ruginii și a nămolurilor interioare din țevi, branșamentele consumatorilor importanți (puncte termice, centrale termice, etc.) trebuiesc prevăzute cu filtre (capitolul 3.4.4.).

7. Propun o nouă metodă de verificare a funcționării eficiente în timp a rețelelor de apă prin efectuarea unor măsurători zonale a coeficientului de rugozitate absolută  $k$  și care să reprezinte un indiciu asupra stării funcționale a acestor rețele. La depășirea valorilor optime aceste rețele vor trebui să fie schimbate (capitolul 3.4.3.).

8. În urma unui studiu amplu, pe baza datelor măsurate în cadrul regiei R.A. Apă Canal AQUATIM Timișoara ce administrează în prezent întregul sistem de alimentare cu apă a municipiului și utilizând programe de calcul pentru stații de pompare, elaborate de Institutul pentru Tehnica de Calcul ITC, Filiala Timișoara, am obținut debitele la surse cu frecvența cea mai mare de repetiție, presiunile de refulare și randamentele globale ale stațiilor de pompare treapta a-II-a cu frecvența cea mai mare de repetiție (paragraful 3.4 și anexa 4). Am realizat și graficele de repetiție a acestor mărimi, pentru fiecare Uzină de apă și pentru 3 perioade de timp: an, iarnă (când sistemul de termoficare funcționează), vară(când sistemul de termoficare nu funcționează și distribuirea apei calde menajere este întreruptă temporar pentru curățarea schimbătoarelor de căldură din punctele și centralele termice). De remarcat că am obținut debitele cu frecvența cea mai mare de repetiție după cum urmează:-400 l/s pentru Uzina de apă nr.1; -2500 l/s pentru Uzina de apă nr.2; -1450 l/s pentru Uzina de apă nr.4; -410 l/s pentru Uzine de apă nr.5 (cu rol de compensare, acumulând la minim consum). Am obținut randamente globale mici pentru Uzinele de apă nr.1 și nr.5, sub valorile scontate, ceea ce a impus o analiză mai atentă a funcționării stațiilor de pompare treapta a-II-a și de la aceste uzine de apă și propunerea unor soluții (capitolul 5).

9. Conform STAS 1343/1-1995 dimensionarea unei rețele de distribuție se face pentru debitul orar maxim  $Q_{\text{orar maxim}}$ , iar verificarea rețelei de distribuție se face pentru debitul de incendiu  $Q_{\text{incendiu}}$ . În lucrare am propus verificarea sistemului de alimentare cu apă (rețea - stații de pompare) pentru debitele la surse cu frecvența cea mai mare de repetiție. Este important de analizat funcționarea sistemului de alimentare cu apă potabilă pentru debitele cu frecvența cea mai mare de repetiție deoarece acest regim reprezintă peste 60% din perioada de funcționare.

10. Pe parcursul lucrării (capitolele 3 și 4) am descris un pachet de 7 programe ordinatoare elaborate în limbaj VISUAL FOX PRO 3.0 PROFESSIONAL și implementate pe microcalculatoare IBM - PC, pentru analiza și proiectarea rețelelor de distribuție a apei, care se constituie într-un instrument de lucru eficace în activitatea de cercetare, proiectare și didactică din domeniul alimentărilor cu apă. Limbajul de programare, pe care l-am ales, este compatibil cu utilitarele MATHCAD PLUS 6.0 și AUTOCAD 14, în care se realizează partea grafică (topologia rețelei, înfășurătoarea înălțimilor piezometrice din nodurile rețelei, etc.).

Din cele 7 programe de calcul, 5 programe se utilizează pentru analiza rețelei, considerând ca date topologia rețelei (lungimea tronsoanelor, cotele terenului), diametrele conductelor și debitele concentrate în noduri și determinând debitele reale în conducte și înălțimile piezometrice. Celelalte 2 programe de calcul se utilizează pentru dimensionarea rețelelor, având ca date de intrare topologia rețelei și debitele concentrate în noduri, iar ca rezultate se obțin diametrele conductelor și debitele în conducte, urmate de o verificare hidraulică a sistemului. Dar toate cele 7 programe de calcul, indiferent de metoda de calcul folosită, au la bază rezolvarea a două grupe mari de ecuații și anume, ecuațiile de continuitate a debitelor în noduri și ecuațiile de conservare a energiei pe inele.

Acest pachet de programe permite 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.

Cu ajutorul programelor de analiză a rețelelor inelare de distribuție a apei potabile, am efectuat studiul de caz ales, pentru rețeaua de alimentare cu apă potabilă a municipiului Timișoara, analizând această rețea în diverse ipoteze de calcul, prezentate pe larg în capitolul 3. Utilizarea programelor de calcul, pentru studiul de caz ales, a prezentat marele avantaj că după implementarea pe calculator a datelor de intrare, ceea ce a presupus un volum mare de muncă, am analizat cu ușurință diversele ipoteze de calcul. Am analizat astfel funcționarea rețelei de distribuție a apei potabile: la maxim consum, la minim consum, pentru debitele cu frecvența cea mai mare de apariție la surse în diverse ipoteze în ceea ce privește natura materialului din care este realizată rețeaua de distribuție (cazul real, cazul teoretic, conducte noi din oțel, conducte noi din polietilenă de înaltă densitate atât pentru o presiune la surse de 5 bar cât și pentru o presiune de 10 bar). De asemenea am determinat rugozitatea reală a conductelor, am efectuat calculul economic pentru rețeaua de distribuție nouă din oțel, respectiv polietilenă de înaltă densitate. Am obținut datele necesare pentru vizualizarea grafică a învelitorii înălțimilor piezometrice din rețeaua de distribuție, utilizând utilitarul MATHCAD 6.0 în următoarele ipoteze de calcul:

- rețeaua de distribuție existentă pentru debitele cu frecvența cea mai mare de repetiție și rugozitatea absolută reală ( $k=21\text{mm}$ );
- rețeaua de distribuție existentă pentru debitele cu frecvența cea mai mare de repetiție, dar considerând rugozitatea absolută teoretică a conductelor ( $k=1,95\text{mm}$ );
- rețeaua de distribuție existentă pentru debitele cu frecvența cea mai mare de repetiție, dar în care toate conductele sunt înlocuite cu conducte noi din polietilenă de înaltă densitate ( $k=0,007\text{mm}$ ) în două ipoteze: presiunea la surse de 5 bar respectiv 10 bar .

11. Pe harta vectorială a municipiului Timișoara, am trasat rețeaua de alimentare cu apă potabilă folosind utilitarul AUTOCAD 14. Rețeaua de distribuție a apei potabile în municipiul Timișoara este realizată din conducte oțel, fontă și pe mici porțiuni din azbociment, cu diametrele cuprinse între 80 mm și 1000 mm și este alcătuită din 114 inele independente, 293 tronsoane și 180 noduri. Debitul total distribuit de rețeaua de apă potabilă, iar consumatorii uniform distribuiți, branșați la conductele de serviciu, sunt luați în calcul prin debitele concentrate din noduri.

Trasarea rețelei de distribuție a apei potabile în AUTOCAD 14, pe harta vectorizată a municipiului prezintă, pe lângă compatibilitatea cu limbajul de programare ales și marele avantaj că AUTOCAD (AutoDesk) este un mediu de programare specific GIS-urilor (Geographical Information Systems), adică sistemelor informatice geografice. Aceste sisteme informatice geografice, absolut necesare în domeniul evidenței tehnice a rețelelor edilitare (rețele de alimentare cu apă, rețele termice, rețele de distribuție a energiei electrice, rețele de gaze, în cadastrul general și de specialitate, în cartografie, în sisteme de asistare în luarea deciziilor), pot prelucra computerizat un volum mare de baze de date ce se pot introduce prin transmisii cu faxmodemuri evitând astfel erorile de citire ce apar în cazul utilizatorilor manuali. De asemenea, aceste sisteme permit actualizarea rapidă și corectă a rețelelor luate în evidență.

12. Pentru menținerea constantă a parametrilor funcționali (debit, presiuni de utilizare) ai rețelei, trebuie cunoscute de furnizorul de apă, pentru studiul de caz ales R.A. Apă Canal

AQUATIM Timișoara, graficul piezometric. Utilizând rezultatele obținute cu ajutorul programelor de calcul elaborate, pentru studiul de caz, am realizat în MATHCAD PLUS 6.0 învelitoarea înălțimilor piezometrice pentru diferite ipoteze de calcul, prezentate detaliat în capitolul 3.4. Pornind de la învelitoarea înălțimilor piezometrice din nodurile rețelei de distribuție a apei potabile în Timișoara din anul 1956, am urmărit evoluția în timp a acestei rețele de distribuție. Din învelitoarea înălțimilor piezometrice din nodurile rețelei de distribuție pentru soluția propusă, conducte noi din polietilenă de înaltă densitate și presiuni mari în rețea, se observă că presiunea necesară este asigurată la toate punctele de consum fără a mai fi nevoie de stații de hidrofor zonale. Se poate remarca linia de cumpănă între sursa de apă de subteran (Uzina de apă nr.1) și sursa de apă de suprafață (Uzinele de apă 2+4). Am determinat această învelitoare și pentru cazul real, pentru o urmărire corectă a presiunilor disponibile în rețea ce implică acționarea corespunzătoare a pompelor din stațiile de pompare treapta a-II-a dar, lucru foarte important, și pentru stabilirea condițiilor de racordare a noilor consumatori pe rețea, realizându-se astfel o extindere corectă a rețelei de distribuție existentă.

13. Inima sistemului de alimentare cu apă în ansamblul său o reprezintă stațiile de pompare treapta a-II-a de la Uzinele de apă. Cu ajutorul programelor de calcul elaborate și măsurătorile efectuate am determinat regimurile de funcționare ale stațiilor de pompare și randamentele globale ale acestora. În capitolele 3 și 5 sunt prezentate detaliat valorile obținute, menționez însă plaja de randamente: -pentru Uzina de apă nr.1 randamente între 42,3 % și 65,5 %; -pentru Uzina de apă nr.2 randamente între 53 % și 72 %; -pentru Uzina de apă nr.4 randamente între 53 % și 72,2 %; -pentru Uzina de apă nr.5 randamente între 31,4 % și 42,5 %.

Valorile minime sunt cu frecvență foarte mică de apariție, iar valorile maxime au frecvența cea mai mare de apariție. Aceste valori minime au impus necesitatea analizării mai atente a modului de funcționare a stațiilor și stabilirea unor soluții de echipare corespunzătoare a stațiilor de pompare, de monitorizare a acestora, sau de modificare (retrofitare - paragraful 5.2) a diametrelor rotoarelor pompelor în vederea aplatizării caracteristicilor interne a pompelor (pentru a evita funcționarea stațiilor de pompare cu vanele închise pe refularea pompelor).

14. Pierderile de energie din stațiile de pompare treapta a-II-a rezultate din închiderea vanelor de pe refularea pompelor reprezintă 30%, iar la Uzina de apă nr.5 chiar 40% din energia motorului de antrenare. Astfel în urma colaborării cu R.A. Apă Canal AQUATIM Timișoara, Institutul pentru Tehnica de Calcul ITC Filiala Timișoara și firma AS-PO București, s-a retrofilit la Uzina de apă nr.1 rotorul unei pompe 18NDS, iar la Uzina de apă nr.5 s-a retrofilit rotorul unei pompe 12NDS. Această retrofitare a rotorului pompei duce la creșterea debitului de apă pompată în rețea cu 22%, reducerea puterii electrice necesare antrenării pompelor cu 15% și reducerea consumului specific de energie pentru pomparea apei astfel încât durata recuperării valorii investite este în medie 1 lună (costul total al retrofitării pompelor nu depășește 10% din economia realizată într-un an de funcționare).

15. Pentru optimizarea energetică a exploatării unei stații de pompare (capitolul 5) ajunge determinarea exclusiv a celor 5 parametri, pentru fiecare pompă în parte (debitul  $Q_p$ , înălțimea de pompare  $H$ , cuplul la arbore  $M$ , turația efectivă  $n$  și puterea la borne  $P_{\text{borne}}$ ). Dacă furnizorul de motoare garantează că cele două grafice  $s = f_7(P_{\text{arb}})$  și  $\eta_m = f_5(P_{\text{arb}})$  rămân neschimbate pe toată durata de viață a pompelor, rezultă că este suficient să se monitorizeze doar 3 parametri ( $Q_p$ ,  $H$  și  $P_{\text{arb}}$ ); în caz contrar este necesară măsurarea periodică și a parametrilor  $M$  și  $n$  pentru verificarea celor două grafice.

16. Pentru furnizarea debitelor și presiunilor de utilizare, a tuturor consumatorilor rețelei de distribuție a apei, în orice moment, este necesară cunoașterea cantităților de apă captată, pompată în rețeaua de distribuție și consumată ceea ce impune echiparea în totalitate a sistemului de alimentare cu apă cu contoare de înaltă calitate, fiabile, iar cele existente uzate să fie înlocuite. De asemenea, este necesară realizarea unei stații de verificare și calibrare a contoarelor de apă. O contorizare corespunzătoare ar diminua semnificativ pierderile de apă din instalațiile sanitare interioare

(paragraful 6.3), beneficiarul devenind mai receptibil la remedierea instalațiilor interioare ce de multe ori funcționează defectuos.

Rezultatele studiului optimizării energetice a sistemului de alimentare cu apă potabilă în ansamblul său, prezentate anterior, reprezintă contribuții ale autorului la rezolvarea celor mai importante probleme din acest domeniu. Desigur că, tematica deosebit de complexă a optimizării rețelelor de distribuție și a stațiilor de pompare, rămâne deschisă unor viitoare cercetări teoretice și experimentale.

Rezultatele obținute și verificate în bună măsură în practică, în studiul de caz pentru municipiul Timișoara, vor contribui la modernizarea rețelelor de distribuție și a instalațiilor de pompare și implicit la ridicarea serviciilor în alimentarea cu apă a consumatorilor, la un preț acceptabil pentru majoritatea populației.

**BIBLIOGRAFIE**

1. **ABRAMOV, N.N.** - "Teoria i metodica rasceta sistem podaci i raspredelenia vodi", Stroizdat, Moskva, 1972.
2. **ABRAMOV, N.N. ș.a.** - "Rascet vodoprovodnii setei", Stroizdat, Moskva, 1976.
3. **ALEXANDRESCU, A. RUSU, I.**- "Contribuții privind determinarea randamentului global al stației de pompare - hidrofor - rețea - consumatori", Hidrotehnica, 42 (1997), 1.
4. **ANTON, V. POPOVICIU, M. FITERO, I.**- "Hidraulică și mașini hidraulice", Editura didactică și pedagogică, București, 1978.
5. **ANTON, A. CIOC, D.**- "Câteva aspecte legate de rețelele de distribuția apei". A IV-a Conferință Internațională de Mașini Hidraulice, Timișoara, 1994.
6. **ANTON, A.**- "Mașini hidraulice", Curs an III, Facultatea de Instalații, UTCB.
7. **ANTON, A. MOSULET, A. GRUIA, S.** - "Pomparea cu randament maxim a apei în rețelele de distribuție.", Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", București, 10-11 aprilie 1997.
8. **ANTON, A.** - "Monitorizarea unei stații de pompare de alimentare cu apă.", Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", București, 10-11 aprilie 1997.
9. **ANTONOVICH, M.D.** - "Utilizare VISUAL FOX PRO 3.0 PROFESSIONAL pentru WINDOWS", Editura Teora, București, 1997.
10. **ARSENIE, M. ARSENIE, D.**- "Considerații privind calculul hidraulic al conductelor cu debit uniform distribuit". Simpozionul "Probleme actuale în gospodărirea apelor". Timișoara, vol.I, 1982.
11. **ARSENIE, D.**- "O formulă pentru calculul coeficientului de rezistență Darcy-Weisbach de utilizat la proiectarea conductelor sub presiune", Hidrotehnica, nr.12, 1983.
12. **ARTINA, S.**- "The use of mathematical programming techniques in designing hydraulic networkes", Meccanica, nr.9, 1973.
13. **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.
14. **BABBIT, E.H.**- "Watter supply engineering". McGraw- Hill, New York, 1962.
15. **BARGLAZAN, M. MILOS, T.** - "Utilizarea metodei elementului finit în proiectarea unor paletaje optime energetic și cavitațional pentru rotorul impulsor al pompelor centrifuge din sistemele de alimentare cu apă.", Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", București, 10-11 aprilie 1997.
16. **BÂRSAN, E. GAVRILAȘ, G. VÂSCU, V.** - "Realizarea economiilor de energie printr-un control optimizat al sistemului de distribuție a apei.", Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", București, 10-11 aprilie 1997.
17. **BIENIEK, K. GRONING, N.**- "Die regelung der forderleistung von Kreiselpumper nuttelselektronischer drehzahlverstellung", Technische Berichte, nr.6, 1987.
18. **BEVERIDGE, G. SCHECHETER, R.**- "Optimization: Theory and practice", McGraw- Hill, New York, 1962.
19. **BERBECARU, D.**- "Considerații asupra consumurilor de apă dintr-un ansamblu de locuințe din București". Studiu și referat la Conferința de Instalații, Sinaia, 1993.

20. BLEYER, W.- "Instalații de ridicarea presiunii". Fachzeitschrift für Sanitär und Heizungstechnik, IKZ, nr.18, 1971.
21. BLOCH, H.P.- "Practical Machinery Management for Process Plant". Gulf Publishing Company, 1982.
22. BOLCU, M. LUPSA, G. DINU, D. VERTAN, G. PELIAN, I. DANU, D. ABRAHAM, I. - "Optimizarea monitorizării stațiilor de pompare" Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", București, 10-11 Aprilie 1997.
23. BOLDEA, I. MUNTEAN, N. MUNTEAN, O. HEDES, A. GOIA, A. - "Controlul automat al sistemelor de pompare prin acționări de curent alternativ cu turație reglabilă.", Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", București, 10-11 aprilie 1997.
24. BRATER, E.F. KING, W.H.- "Handbook of hydraulics", Mc Graw Hill, New York, 1976.
25. BURCHIU, V. SANTAU, I. ALEXANDRESCU, O.- "Instalații de pompare", Editura Didactică și pedagogică, București, 1982.
26. CARLIER, M.- "Hydraulique generale et applique", Eyrolles, Paris, 1980.
27. CARTE, I.- "Hidraulica și mașini hidraulice", IPTV, Timișoara, 1985.
28. CARTE, I. - "Simularea mișcării plane potențiale în jurul rețelelor de profile axiale utilizând Metoda Elementului Finit", Conferința de mașini hidraulice și hidrodinamică, Timișoara, 18-19 oct. 1985.
29. CARTE, I. - "Simularea numerică a mișcării fluidelor incompresibile și ideale printr-un cot plan prin metoda elementului finit", Simpozion Național cu participare internațională "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", Ediția 1, 2-3 aprilie 1992, Timișoara.
30. CARTE, I. - "Golirea rezervoarelor prin orificii de secțiune variabilă", Simpozion Național cu participare internațională "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", Ediția 1, 2-3 aprilie 1992, Timișoara.
31. CARTE, I. - "Simularea numerică a mișcării axial-simetrice a fluidelor incompresibile și ideale într-un confuzor prin metoda elementului finit", Simpozion Național cu participare internațională "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", Ediția 1, 2-3 aprilie 1992, Timișoara.
32. CARTE, I. DUMITRU, G. - "Simularea numerică a mișcării axial-simetrice printr-un distribuitor liniar cu ajutorul metodei elementului finit", Simpozion Național cu participare internațională "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", Ediția 1, 2-3 aprilie 1992, Timișoara.
33. CENEDESE, A. MELE, P.- "Optimal design of water distribution networks", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY2, 1978.
34. CHANDRASHEKAR, M.- "Extended set of component in pipe networks", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY1, 1980.
35. CHIMION, G. ILISU, D. BRĂNIȘTEANU, M.- "Pompe centrifugale", Editura Tehnică, București, 1964.
36. CIOC, D.- "Hidraulică", Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
37. CIOC, D.- "Funcționarea pompelor în rețele de conducte.", Conferința de mașini hidraulice și hidrodinamică, Timișoara, 1984.
38. CIOC, D.- "Programul RETF pentru calculul regimului permanent în rețele complexe de conducte", Hidrotehnica, nr. 35, 1990.
39. CIOC, D.- "Pachet de programe pentru calculul rețelelor de conducte", UTCB, Catedra de Hidraulică și Protecția Mediului, ver. 4.0, 1994.
40. CIOMOCOȘ, T.- "Considerații asupra calității apei în funcție de consumatori", Simpozionul "Probleme actuale în gospodărirea apelor", vol.III, Timișoara, 1982.
41. COLLINS, M. ș.a.- "Multiple operating points in complex pump network", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY3, 1979.
42. COLOMBO, U. - "The world at a turning point: Signs of hope, Priority Issues", The Club of Rome Annual Conference 1996 Ponce, Puerto Rico 9 November - 1 December.
43. COULTER, C.A.- German Patent DE 3736983.0 Int. Cl. G01L3/02 registered date 31.10. 1987 publishing date 05. 05. 1988.
44. CREANGA, C. RETEZAN, A. VERTAN, G. CUC, C. MIHUTESCU, I. NAVLIGU, V. SANDOR, T.L. CUJBA, GH. - "Optimizarea exploatarei stațiilor de pompare" Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", București, 10-11 Aprilie 1997.

45. **CROSS,H.-** "Analysis of flow in networks of conduit and conductors", Univ. of Illinois, Bul. nr.286, 1936.
46. **CUC,C. LAZĂR,G.-** "Soluții pentru reducerea consumului de energie în instalațiile tehnico-sanitare din interiorul clădirilor de locuit", Simpozion Național cu participare internațională "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", Ediția 5, 28-29 martie 1996, Timișoara, ISBN 973-9192-46-7 ISBN 973-9192-47-5.
47. **CUC,C.-** "Analiza funcționării sistemului de alimentare cu apă potabilă în municipiul Timișoara pentru debitul cu frecvența cea mai mare de apariție", Conferința Națională cu participare internațională "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", Ediția 7, 23-24 aprilie 1998, Timișoara.
48. **CUC,C.-** "Utilizarea polietilenei de înaltă densitate (PE) pentru rețeaua de distribuție a apei potabile în municipiul Timișoara", Conferința Națională cu participare internațională "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", Ediția 7, 23-24 aprilie 1998, Timișoara.
49. **CUC,C.-** "Considerații privind utilizarea presiunilor mari în rețeaua de distribuție a apei potabile în municipiul Timișoara", Conferința Națională cu participare internațională "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", Ediția 7, 23-24 aprilie 1998, Timișoara.
50. **CUC,C.-** "Determinarea rugozității reale la conductele de alimentare cu apă potabilă pentru municipiul Timișoara", Conferința Națională cu participare internațională "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", Ediția 7, 23-24 aprilie 1998, Timișoara.
51. **DAMIAN,R. ANTON,A. MACRI, M.V.-** "Rehabilitation of Water Supply Systems in Romania." Techware Assambly, Rome, 1997.
52. **DEAC, I. VERTAN, G. -** "Optimizarea echipării stației de pompare Uzina de Apa 2+4 Timișoara", Universitatea Politehnică din Timișoara, Facultatea de Hidrotehnică, Sesiunea de Comunicări Științifice 19-20 octombrie 1995, vol II, Secțiunea Inginerie Sanitara, pag. 108-113.
53. **DEAC,I.-** "Contorizarea apei captate și distribuite la uzinele de apă din municipiul Timișoara", Simpozion Național cu participare internațională "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", Ediția 5, 28-29 martie 1996, Timișoara, ISBN 973-9192-46-7 ISBN 973-9192-47-5.
54. **DEB,A.K. ASCE,M. SARKAR,A.K.-** "Optimization in design of hydraulic network", Journal of the Sanitary Engineering Division, nr.4, 1971.
55. **DIMA, M. -**"FOX PRO 2.6 sub Windows", Editura Teora, București, 1995.
56. **DINICĂ,G.-** "Metode variaționale și aplicații", Editura tehnică, București, 1980.
57. **DIVENOT,A.-** "Une nouvelle methode de calcul des reseaux mailles", La Houille Blanche, nr.6, 1980.
58. **DODESCU,GH.-** "Metode numerice în algebră", Editura tehnică, București, 1979.
59. **DUMITRESCU,L.-** "Instalații sanitare pentru ansambluri de clădiri", Editura tehnică, București, 1980.
60. **DUMITRESCU,L.-** "Metodă de dimensionare a rețelelor inelare de alimentare cu apă cu coeficienți variabili de neuniformitate orară", Conferința de instalații, Sinaia, 1995.
61. **FAUTICH,H.-** "Noi baze de calcul pentru rețele de alimentare cu apă. Considerații critice la proiectul Normei DIN 1988". Revista Sanitar und Heizungstechnik nr. 9/1985.
62. **FLETCHER,R.-** "Optimization". Academic Press, London, 1969.
63. **FOX,J.A.-** "Hydraulic Analysis of Unsteady Flow in Pipe Networks". Surrey, Great Britain, 1977.
64. **GANEAN,N.-** "Alegerea, exploatarea, întreținerea și repararea pompelor". Editura Tehnică, București, 1981.
65. **GEORGESCU,I.-** "Economii de energie prin acționarea cu turație variabilă a pompelor și ventilatoarelor în automatizarea proceselor tehnologice", Energetica, nr.3, 1988.
66. **GILL,P.E. MURRAY, W. WRIGHT,M.H.-** "Practical optimization". Academic Press, New York, 1981.
67. **GIURCONIU,M. MIREL,I. RETEZAN,A. SÂRBU,I.-** "Îndrumar pentru calculul construcțiilor și instalațiilor hidroedilitare", Litografia I.P. Timișoara, 1982.
68. **GIURCONIU,M. MIREL,I. RETEZAN,A. SÂRBU,I.-** "Hidraulica construcțiilor și instalațiilor hidroedilitare", Editura Facla, Timișoara, 1989.
69. **GOFMAN,E. RODEH,M.-** "Loop equation with unknown pipe characteristics, Journal of the Hydraulics Division", ASCE, nr. HY9, 1981.
70. **GRABOW,G.-** "Ein Beltrag zur Regelung und Schaltung von Kreiselpumpen". In: Freiburger Forschung - Shefte A 783/1989.

71. GRECU, M.- "Pachet de programe pentru calculul de simulare a funcționării unei stații de pompare", UTCB, Catedra de Hidraulică și Protecția Mediului, ver.2.0, 1995.
72. GRUIE, L. POPA, T.- "Optimizarea consumului de apă în instalațiile interioare- Proiectul pilot de la Brașov", Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", 10-11 aprilie 1997, București.
73. IAMANDI, C. PETRESCU, V.- "Mecanica fluidelor", Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978.
74. IAMANDI, C. - "Hidraulica instalațiilor- elemente de calcul și aplicații", Editura Tehnică, București, 1985.
75. IAMANDI, C. ș.a.- "Hidraulica instalațiilor", Editura tehnică, București, 1994.
76. ION, I.I.- "Instalații de pompare reglabile", Editura Tehnică, București, 1976.
77. ION, I.I.- "Pumps and pumping", Elsevier. Amsterdam - Oxford - New York - Tokyo, 1986.
78. IONESCU, D. MATEI, P. ANCUSA, V. TODICEANU, M. BUCULEI, M.- "Mecanica fluidelor și mașini hidraulice", Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
79. JACKSON, C.- "The Practical Vibration Primer". Gulf Publishing Company, 1979.
80. JACOBY, L.S.- "Design of optimal hydraulic networks", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY5, 1968.
81. JEPSON, R.- "Equivalent hydraulic pipe for parallel pipes", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY1, 1982.
82. JURA, C.- "Studii tehnico-economice pentru alimentarea cu apă a municipiului Timișoara", Hidrotehnica, nr.1, 1976.
83. JURA, C.- "Alimentări cu apă", Litografia I.P Timișoara, 1984.
84. JURA, C. FILIMON, E. GIURCONIU, M.- "Asupra sistemelor de distribuție a apei în vederea micșorării consumului de energie electrică". Simpozionul "Soluții noi și eficiente în proiectarea și execuția structurilor", Timișoara, 1986.
85. JURA, C.- "Optimizarea rețelelor de distribuție cu stații de pompare integrate", Simpozion Național cu participare internațională "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", Ediția 5, 28-29 martie 1996, Timișoara, ISBN 973-9192-46-7 ISBN 973-9192-47-5.
86. JURA, C.- "Probleme ale optimizării sistemelor regionale de alimentare cu apă", Simpozion Național cu participare internațională "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", Ediția 5, 28-29 martie 1996, Timișoara, ISBN 973-9192-46-7 ISBN 973-9192-47-5.
87. JURCA, I. ș.a.- "Programarea calculatoarelor", Litografia I.P. Timișoara, 1989.
88. LEKANE, T.- "Modele de calcul de l'ecoulement en regim permanent dans reseau d'eau mailles", Journal de Recherches Hydraulics, nr.2, 1979.
89. LEMIEUX, F.- "Efficient algorithm for distribution networks", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY1, 1972.
90. LOBACEV, V.G. - "Novii metod vviazki koleț pri rasciote vodoprovodnih setei", Sanitarnaia Tehnika, nr.2, 1934.
91. LYNCH, T.- "Variable-speed drives for pumping". World Pumps, nr.5, 1987.
92. MACRI, M.V.- "Probleme actuale privind instalațiile de pompare a apei cu hidrofor și rezervoare tampon deschise." ROMAQA nr.3-4, 1996.
93. MACRI, M.V.- "Considerații teoretice legate de funcționarea pompelor la turație variabilă". ROMAQA nr.3-4, 1996.
94. MACRI, M.V. - "Soluții de optimizare a funcționării instalațiilor de pompare în rețelele hidraulice", Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", București, aprilie 1997.
95. MACRI, M.V.- "Optimizarea instalațiilor de pompare a fluidelor în rețelele hidraulice", Teză de doctorat, București, 1997.
96. MĂNESCU, AL. SANDU, M. IANCULESCU, O.- "Alimentări cu apă", Editura didactică și pedagogică, București, 1994.
97. MATEESCU, T.- "Considerații asupra normelor de consum și a debitelor pentru dimensionarea rețelelor de distribuție". Studiu și Referat la Conferința de Instalații, Sinaia, 1994.
98. MATEESCU, T. - "Calculul instalațiilor sanitare". Editura "Gh. Asachi", Iași, 1996.
99. MATEESCU, T.- "Disfuncționalități generale de necorelarea ipotezelor de calcul cu condiții reale de exploatare a sistemelor de distribuție a apei", Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", București, aprilie 1997.



100. **MATEESCU, T. NECHITA, G.**- "Aspecte tehnice și economice privind exploatarea și reabilitarea rețelelor de distribuție a apei", Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", 10-11 aprilie 1997, București.
101. **MIREL, I. RETEZAN, A. SUMA, C.** - "Acumulări locale pentru asigurarea debitelor de consum", Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", 10-11 aprilie 1997, București.
102. **MIREL, I. RETEZAN, A. POPESCU, D.** - "Defecțiuni ale instalațiilor interioare de alimentare cu apă", Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", 10-11 aprilie 1997, București.
103. **PATTERSON, W.** - "Reconstrucția României" - Echinoc - Cluj, 1995.
104. **PFLIEDERER, C. PETERMAN, H.** - "Stromungsmaschinen", Springer, Berlin, 1986.
105. **PICARD, C.F.** - "Graphes et questionnaires", Gauthier-Willars, Paris, 1971.
106. **PÎSLĂRAȘU, I. ROTARU, N. TEODORESCU, M.**- "Alimentări cu apă", Editura tehnică, București, 1981.
107. **POIATĂ, T.**- "Optimizarea funcționării în paralel a pompelor centrifugale radiale", al III-lea Colocviu Național SOCER, Craiova, 1995.
108. **POIATĂ, T. MUNTEANU, V. COJOCARU, M.**- "Pompe cu canal: metode de evaluare a soluțiilor optime în acționările cu reglaj variabil", al III-lea Colocviu Național SOCER, Craiova 1995.
109. **POPESCU, G. BERBECARU, D. DINU, D. VERTAN, G. RETEZAN, A. DEAC, I. WALTER, R.** - "Optimizarea stațiilor de pompare din sistemele de alimentare cu apă și termoficare a localităților", a XXX Conferința a Asociației Inginerilor din Instalații din România, Sinaia, 16-18 octombrie 1996, vol.I.
110. **POPESCU, G. CĂLINESCU, L.C. DINU, D. VERTAN, G. MIHUTESCU, I. MARTA, F. RETEZAN, A. DOBANDA, E.** - "Sistem de prelucrare a curbelor caracteristice ale echipamentelor", Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", București, 10-11 Aprilie 1997.
111. **PREDA, I.** - "Centrale hidroelectrice și stații de pompare", Litografia Institutul Politehnica Timișoara, 1979, volumul I și volumul II.
112. **PREDA, I.**- "Rețea de distribuție apă potabilă în municipiul Timișoara - plan de situație", I.P. Timișoara, 1956.
113. **PREDA, I.**- "Rețea de distribuție apă potabilă în municipiul Timișoara - repartitia procentuală a consumului", I.P. Timișoara, 1956.
114. **PREDA, I.**- "Repartitia pe linii a debitelor și a pierderilor de sarcină în ziua de maxim consum, în rețeaua de distribuție a apei potabile în municipiul Timișoara -", I.P. Timișoara, 1956.
115. **PUGGIONI, E.**- "Nuovo metodo di calcolo per gli autoclavi metaliquidi in impianti di distribuzione acqua. Condizionamento dell'aria, Riscaldamento, Refrigerazione", 7/72.
116. **RADU, I.**- "Efectele reglării caracteristicilor pompelor asupra reducerii consumului de energie", Energetica nr. 4, 1988.
117. **RADU, I.**- "Reabilitarea stației de pompare Drumul Taberei", proiect de diplomă, 1994.
118. **RADU, L.** - "De ce este necesară o strategie a reducerii intensității energetice în sistemele de alimentare cu apă.", Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă, București, 10-11 aprilie 1997.
119. **RAFIROIU, M.** - "Modele ale cercetării operaționale aplicate în construcții", Editura tehnică, București, 1980.
120. **RAIKAR, A.R.**- "Function demand diribution method for design of economic networks.", Journal of the Instiution of Engineering, nr.6, 1968.
121. **RETEZAN, A. SÂRBU, I.**- "Dispozitiv de spălare sub presiune a vaselor de closet", Certificat inovație nr. 766, MEI București, 1988.
122. **RETEZAN, A. VERTAN, G. CUC, C.** - "Optimum solution for Equipping a Pumping Station", Buletinul Științific al Universității "Politehnica" din Timișoara, Tomul 41(55) 1996, Fascicola 2, ISBN 1224-6026.
123. **RETEZAN, A. CUC, C.** - "Analiza funcționării stației de pompare de la Uzina de apă nr.4 Timișoara", Simpozion Național cu participare internațională "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", Ediția 5, 28-29 martie 1996, Timișoara, ISBN 973-9192-46-7 ISBN 973-9192-47-5.
124. **RETEZAN, A. CUC, C. RETEZAN, R. BALINT, A.** - "Caracteristici funcționale ale sistemului de alimentare cu apă potabilă din municipiul Timișoara", Conferința Națională cu participare internațională "

- Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental”, Ediția 6, 16-18 aprilie 1997, Editura SUDURA, Timișoara, ISBN 973-98049-0-X.
125. **RETEZAN, A. CUC, C.** - *„Influența funcționării stațiilor de hidrofor asupra rețelei de distribuție a apei”*, Conferința Națională cu participare internațională ” Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental”, Ediția 6, 16-18 aprilie 1997, Timișoara, ISBN 973-98049-0-X.
126. **RETEZAN, A. DUNĂ, Ș. CUC, C.**- *„Măsuri pentru reducerea pierderilor de apă în instalațiile interioare”*, Simpozionul Național CNPDAR ”Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă, București, 10-11 aprilie 1997.
127. **SÂRBU, I.**- *„Model de calcul al regimului hidraulic în rețele complexe de distribuție a apei”*, Hidrotehnica, nr.8, 1987.
128. **SÂRBU, I.**- *„Optimizarea sistemelor centralizate de alimentare cu apă în scopul reducerii consumului energetic și a pierderilor de apă”*, I.P. Timișoara, 1993.
129. **SÂRBU, I.**- *„Calculul instalațiilor pentru construcții \* Metode numerice și de optimizare”*, Editura Tehnică, București, 1994.
130. **SÂRBU, I.**- *„Proiectarea asistată de calculator a instalațiilor”*, Litografia U.T. Timișoara, 1995.
131. **SÂRBU, I.**- *„Optimizarea energetică a sistemelor de distribuție a apei”*, Editura Academiei Române București, 1997.
132. **SÂRBU, I. CUC, C.** - *„Analiza și evaluarea pierderilor și risipei de apă în instalații interioare ale utilizatorilor”*, Simpozionul Național CNPDAR ”Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă”, București, 10-11 aprilie 1997.
133. **SHAMIR, U. HOWARD, C.D.**- *„Water distribution systems analyses*, Journal of the Hydraulics Division”, ASCE, nr. HY1, 1968.
134. **SPIRCU, T.**- *„Introducere în informatică”*, Editura Teora, București, 1993.
135. **SUCEVEANU, I.**- *„Analiza posibilităților de reglare a parametrilor tehnologici prin variația turajiei agregatelor”*, Energetica, nr.4, 1988.
136. **SUMA, C.**- *„Contribuții la realizarea castelelor de apă”*, Teză de doctorat, I.P. Timișoara, 1983.
137. **TOMESCU, I.**- *„Grafuri și programare liniară”*, Editura didactică și pedagogică, București, 1975.
138. **TROFIN, P.Ș.a.**- *„Metode și procedee pentru reducerea consumului de apă potabilă în centre populate”*, Hidrotehnica, nr.10, 1982.
139. **TROFIN, P.**- *„Alimentări cu apă”*, Editura didactică și pedagogică, București, 1983.
140. **TUFIȘ, I.**- *„Posibilități noi de creștere a randamentului la instalațiile de pompare din alimentarea cu apă a localităților”*, al III-lea Colocviu Național SOCER, Craiova 1995.
141. **VERTAN, Gh., DINU, D., RETEZAN, A., STRÂMBEI, I., DEAC, I., MIHUȚESCU, I., NAVLIGU, V.** - *„Corelarea domeniului de funcționare al unei stații de pompare cu caracteristicile funcționale ale pompelor”*, a XXXI Conferință Națională de Instalații ”Instalații pentru începutul mileniului trei”, Sinaia, 22-24 octombrie 1997, vol. I.
142. **VERTAN, Gh., STANCULESCU, D.**- *„Dispozitiv pentru măsurarea cuplului”*. Romanian Patent nr.111391 B1, Int. Cl. G01L3/14 registered date 25. 08. 1994 publishing date 30. 09. 1996.
143. **VERTAN, G. MIHUȚESCU, I. RETEZAN, A. DEAC, I.**- *„Optimizarea echipării unei stații de pompare”*, Simpozionul Național CNPDAR ”Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă, București, 10-11 aprilie 1997.
144. **VERTAN, G. RETEZAN, A. TENOVICI, I. TOMESCU, D.**- *„Soluție optimă de echipare a unei stații de pompare”*, Simpozionul Național CNPDAR ”Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă”, București, 10-11 aprilie 1997.
145. **VERTAN, Gh., NAVIGLU, V., SANDOR, T.L., ABRAHAM, I., MARTA, F., DOBÂNDĂ, E., DEAC, I.**- *„Measurements of operational and energy optimization of pumping ”*, 8<sup>th</sup> International Conference on Computational Methods and Experimental Measurements CMEM 97, 21-23 mai 1997, Rhodes, Greece, Computational Methods and Experimental Measurements VIII, Computational Mechanics Publications Southampton, UK and Boston, USA.
146. **VERTAN, G. RETEZAN, A. BALINT, A. DEAC, I.**- *„Modernizarea stațiilor de pompare a rețelelor de distribuție a apei”*, Conferința Națională cu participare internațională ” Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental”, Ediția 6, 16-18 aprilie 1997, Editura SUDURA, Timișoara, ISBN 973-98049-0-X.
147. **VINGAN, D.**- *„Contribuții la optimizarea rețelelor de distribuție a apei”*, Teză de doctorat, I.P. Timișoara, 1987.

148. VINTILĂ, S. CRUCERU, T. ONCIU, L.- "Instalații sanitare și de gaze", Editura Didactică și Pedagogică, București, 1995.
149. VINTILĂ, S. CRUCERU, T. BANDRABUR, C. ș.a.- "Soluții de reabilitare a instalațiilor de pompare a apei, cuplate cu recipiente de hidrofor și rezervoare tampon deschise, din clădiri individuale și ansambluri de clădiri". Studiu 1995.
150. VINTILĂ, S.- "Probleme actuale privind instalațiile de pompare cuplate cu recipiente de hidrofor și rezervoare tampon deschise.", Simpozion Național cu participare internațională "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", Ediția 5, 28-29 martie 1996, Timișoara, ISBN 973-9192-46-7 ISBN 973-9192-47-5.
151. VINTILĂ, Ș.- "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în instalațiile de utilizare a apei" - Referat de sinteză, Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", București, 10-11 aprilie 1997.
152. VINTILĂ, Ș.- "Analiza rezultatelor măsurătorilor experimentale asupra consumurilor specifice de apă potabilă din București. Măsuri pentru reducerea pierderilor și risipei de apă", Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", București, 10-11 aprilie 1997.
153. VITONE JUN, E.T., COULTER, C.A.- German Patent DE 3737007A1 Int. Cl. G01L3/04 registered date 31.10. 1987 publishing date 05. 05. 1988.
154. YEDIDIAH, S.- "Centrifugal Pump Problems", Petroleum Publishing Company, 1980.
155. WALSH, G.R.- "Methods of optimization", John Wiley, London, 1975.
156. WALTER, L.- "Handbuch der Energiewirtschaft", Bd. I. VEB Verlag Technik, Berlin, 1957.
157. WOOD, D.- "An analytic representation of Moody diagram", Civil engineering, nr.731, 1966.
158. WOOD, D.- "Reliability of algorithms for pipe network analyses", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY10, 1981.
159. ZAVATI, C. ș.a.- "Noi tipuri de armături pentru obiecte sanitare", Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1982.
160. ZARCULA, E. - "ASPOFIT - Procedeu necostisitor de modernizare a instalațiilor de pompare", Simpozionul Național CNPDAR "Reducerea pierderilor de apă și a consumurilor energetice în sistemele de alimentare cu apă", București, 10-11 aprilie 1997.
161. \* \* \* "Instalații sanitare. Alimentarea cu apă la construcții civile și industriale. Prescripții fundamentale", STAS 1478-1990.
162. \* \* \* "Hydraulic Institute Standards for Centrifugal, Rotary & reciprocating pumps. Cleveland, Ohio, 1983.
163. \* \* \* "Alimentări cu apă. Determinarea cantităților de apă de alimentare. Prescripții generale", STAS 1343/0-1989.
164. \* \* \* "Determinarea cantităților de apă de alimentare pentru centre populate", STAS 1343/1-1991.
165. \* \* \* "Alimentări cu apă. Determinarea cantităților de apă de alimentare pentru unități industriale", STAS 1343/2-1989.
166. \* \* \* "Alimentări cu apă. Determinarea cantităților de apă de alimentare pentru unități zootehnice", STAS 1343/3-1986.
167. \* \* \* "Alimentări cu apă și canalizări. Terminologie", STAS 10898-1985.
168. \* \* \* "Les economies d'énergie électrique dans les systemes de pompage". Hydro-Quebec, 1993.
169. \* \* \* "Operating instruction". VOGEL PUMPEN, 1997.
170. \* \* \* "Energy Savings Calculator for Pumps Drivers - User's Manual". ABB, 1994.
171. \* \* \* "Frequency converter drive maintains constant water pressure". ABB, 1996.
172. \* \* \* "Echipamente de supraveghere, protecție și comandă destinate monitorizării sistemelor de pompare". PROBIT, 1997.
173. \* \* \* "Studiu privind reabilitarea rețelei de distribuție a apei în municipiul București". UTCB, 1995.
174. \* \* \* "Studiu experimental privind ameliorarea funcționării stației de pompare București Sud". AS-PO București, 1995.
175. \* \* \* ICPCA contract nr.144 "Cercetări pentru alimentarea cu apă a orașului Timișoara", 1996.
176. \* \* \* Lucrările colocviului tehnico-științific "Instalațiile pentru construcții și economia de energie", Iași, 1992.
177. \* \* \* "Perspective în alimentarea cu apă a municipiului Timișoara", IPROTIM, Timișoara, 1996.

178. \* \* \* “Pompe pentru instalații - Principii moderne de alegere și utilizare”, Editura Everest, București, 1995.
179. \* \* \* “Perspective în alimentarea cu apă a municipiului Timișoara”, IPROTIM Timișoara, 1996.
180. \* \* \* “Studiu privind investiția specifică și consumul specific de energie în conductele rețelelor de alimentare cu apă”, IPROTIM Timișoara, 1982.
181. \* \* \* “K.S.B. Technische Berichte, Heft Juni 1987.
182. \* \* \* “ Studiu pentru alimentarea cu apă a municipiului Timișoara pentru etapa anului 2010”, IPROTIM, Timișoara, 1991.
183. \* \* \* “Programe de calcul pentru optimizarea unei stații de pompare”, Institutul pentru Tehnica de Calcul ITC, Filiala Timișoara.
184. \* \* \* “Instrucțiuni tehnice privind proiectarea rețelelor exterioare de distribuție a apei potabile în localități”, ISLGC București, 1980.
185. \* \* \* “Catalog general pompe GRUNDFOS”, GRUNDFOS Pumpen Vertrieb Ges.m.b.H., Austria, 1995
186. \* \* \* “Catalog de pompe”, Uzina Aversa, București, 1975.
187. \* \* \* “Catalog pompe Pumpen und Systeme WILO Pumpen-Perfektion”, Germania, 1997.
188. \* \* \* Cataloage de produse ale firmelor UPONOR (Plastic Pipe Systems LLC), WAVIN, UNIDELTA, POLITUB, VALROM, PETROTUB S.A. ROMAN, ZIMTUB S.A. ZIMNICEA, DELABIE, ROCA, PRANDELLI, ZENNER.
189. \* \* \* “AUTOCAD 13”, Que Development Group, Editura Teora, București, 1996.
190. \* \* \* “AUTOCAD 14”, Que Development Group, Editura Teora, București, 1997.
191. \* \* \* “MATHCAD 6.0”, Que Development Group, Editura Teora, București, 1997.

## CUPRINS

<b>1.Introducere. Problemele distribuției apei potabile într-un obiectiv local.</b>	Pag. 3
1.1. Prezentarea sistemului de alimentare cu apă a municipiului Timișoara	Pag. 5
1.1.1. Sursele de apă	Pag. 5
1.1.2. Structura consumului de apă, rețeaua de alimentare cu apă potabilă	Pag. 9
1.1.3. Stații de pompare	Pag.11
1.2. Analiza caracteristicilor actuale ale sistemului de alimentare cu apă potabilă în municipiul Timișoara	Pag.16
1.2.1. Mărimi măsurate	Pag.16
1.2.2. Prelucrarea datelor	Pag.17
1.2.3. Interpretarea rezultatelor	Pag.19
1.2.4. Optimizarea monitorizării și a organizării măsurătorilor în stațiile de pompare	Pag.26
1.3. Perspectivele modernizării sistemului de alimentare cu apă în municipiul Timișoara	Pag.34
<b>2.Probleme fundamentale ale calculului hidraulic al rețelelor inelare</b>	Pag.36
2.1. Bazele calculului hidraulic în regim permanent de curgere a apei	Pag.36
2.2. Relația funcțională pierdere de presiune-debit în conductele rețelei. Repartiția debitelor în rețea	Pag.38
2.3. Utilizarea calculatoarelor electronice în calculul rețelelor de distribuție	Pag.41
<b>3.Analiza rețelelor complexe de distribuție</b>	Pag.46
3.1. Generalități	Pag.46
3.2. Metoda ciclurilor	Pag.46
3.2.1. Principiile metodei	Pag.46
3.2.2. Model de analiză ciclică în formulare clasică-FOXPRO AC1	Pag.47
3.2.3. Model de analiză ciclică în formulare clasică perfecționată-FOXPRO AC2	Pag.48
3.2.4. Model de analiză ciclică în formulare variațională-FOXPRO AC3	Pag.53
3.3. Metoda nodurilor	Pag.55
3.3.1. Principiul metodei	Pag.55
3.3.2. Model de analiză nodală în formulare clasică-FOXPRO AN1	Pag.56
3.3.3. Model de analiză nodală în formulare variațională-FOXPRO AN2	Pag.59
3.4. Studiu de caz pentru rețeaua de alimentare cu apă potabilă a municipiului Timișoara	Pag.60
3.4.1. Analiza stării de presiune în rețea pentru maxim consum (3 surse) folosind programul de calcul FOXPRO AC2	Pag.62
3.4.2. Analiza stării de presiune în rețea pentru minim consum (2 surse) folosind programul de calcul FOXPRO AN1	Pag.62

3.4.3. Determinarea rugozității reale a conductelor pornind de la debitele cu frecvența cea mai mare de apariție și presiunile din cele 10 puncte de măsurare prevăzute pe rețeaua de alimentare cu apă potabilă.	Pag.62
3.4.4. Analiza sistemului de alimentare cu apă potabilă în cazul utilizării conductelor cu rugozitate mică (PE). Comparație consum energetic pentru cele 2 cazuri (cazul real și cazul utilizării polietilenei de înaltă densitate reticulară PE).	Pag.72
3.5. Determinarea comparativă a sarcinii de pompare și a repartiției debitelor și presiunilor într-o rețea simplă prin aplicarea programelor FOXPRO AC1, FOXPRO AC3 și FOXPRO AN2.	Pag.82
<b>4. Modele de optimizare a dimensionării rețelelor complexe de distribuție a apei</b>	Pag.84
4.1. Generalități	Pag.84
4.2. Model de optimizare Moșnin (program de calcul FOXPRO D1)	Pag.87
4.3. Model de optimizare liniară (program de calcul FOXPRO D2)	Pag.91
4.4. Aplicații numerice	Pag.95
<b>5. Optimizări ale stațiilor de pompare</b>	Pag.105
5.1. Generalități	Pag.105
5.1.1. Situația stațiilor de pompare	Pag.105
5.1.2. Analiza tehnico-economică comparativă a diferitelor variante de instalații de pompare a apei	Pag.107
5.1.3. Funcționarea pompelor în paralel	Pag.109
5.1.4. Regimurile Q-H ale unei stații de pompare	Pag.114
5.2. Caracteristicile funcționale ale echipamentelor stațiilor de pompare	Pag.117
5.2.1. Caracteristicile funcționale pentru pompe	Pag.117
5.2.2. Caracteristicile funcționale pentru motoarele electrice	Pag.119
5.2.3. Variația debitului, înălțimii de pompare, puterii și randamentului în funcție de turația pompei	Pag.119
5.2.4. Influența alunecării motorului asincron asupra curbelor caracteristice ale pompelor	Pag.120
5.2.5. Cazul cu reglarea turației	Pag.121
5.2.6. Caracteristicile funcționale și pierderile pentru echipamentele electrice, în cazul cu reglarea turației	Pag.125
5.2.7. Pierderile în vanele închise parțial	Pag.128
5.2.8. Pierderile și randamentele globale ale unei stații de pompare	Pag.135
5.3. Parametrii funcționali la o stație de pompare și măsurarea lor	Pag.135
5.3.1. Parametrii globali ai stației	Pag.136
5.3.2. Parametrii funcționali ai echipamentelor	Pag.137
5.3.3. Parametrii urmăriți pentru prevenirea avariilor	Pag.138
5.3.4. Optimizarea urmăririi parametrilor	Pag.138
5.4. Optimizarea exploatarei unei stații de pompare	Pag.139
5.4.1. Modul principal de calcul	Pag.140
5.4.2. Descrierea programului de calcul	Pag.145
5.5. Optimizarea soluției de echipare a unei stații de pompare	Pag.146
5.5.1. Modul principal de calcul	Pag.147
5.5.2. Descrierea programului	Pag.149
<b>6. Optimizarea energetică a sistemelor de distribuție</b>	Pag.150
6.1. Optimizarea energetică a sistemelor de distribuție prin separarea rețelelor pe zone de presiune	Pag.150

---

6.1.1. Procedee de zonare	Pag.150
6.1.2. Particularitățile zonării în serie	Pag.150
6.1.3. Particularitățile zonării în paralel	Pag.151
6.1.4. Eficiența energetică-economică a procedeelelor de zonare	Pag.152
6.1.5. Exemplificări numerice ale evaluării energetice și economice a procedeelelor de zonare	Pag.153
6.2. Optimizarea energetică a sistemelor de distribuție folosind elemente potențiale interioare	Pag.155
6.2.1. Procedee de optimizare structurală și funcțională cu elemente potențiale interioare	Pag.155
6.2.2. Eficiența economică a procedeelelor de distribuție a apei în rețele cu elemente potențiale interioare	Pag.162
6.2.3. Principii de bază pentru dezvoltarea structurală a sistemelor de distribuție cu elemente potențiale interioare	Pag.163
6.2.4. Exemplificări numerice	Pag.163
6.3. Optimizarea condițiilor energetice ale distribuției apei în sistemele centralizate de alimentare cu apă prin reducerea consumului de energie în instalațiile tehnico-sanitare din interiorul clădirilor de locuit	Pag.168
6.3.1. Soluții pentru reducerea consumului de energie în instalațiile tehnico-sanitare din interiorul clădirilor de locuit	Pag.169
<b>7. Concluzii. Contribuții personale</b>	Pag.174
<b>8. Bibliografie</b>	Pag.179