CONSIDERAŢII PRIVIND MODERNIZAREA REŢELEI DE APĂ A METROULUI DIN BUCUREŞTI

Dumitru ION[1] , Culiță GRAUR[2]
[1] Membru corespondent al Academiei de Ştiințe Tehnice din România
[2] S.C. Metrorex S.A. – Bucureşti

Rezumat. În lucrare sunt prezentate unele probleme stringente privind starea şi funcționarea şi stemului de alimentare cu apă a rețelei metroului din Bucureşti (SAAR-Metrorex). După evaluarea şi analiza mai multor variante tehnico-economice, care să permită o funcționare fiabilă şi cât mai eficientă din punctul de vedere al costurilor de exploatare, s-a procedat la reproiectarea şi modernizarea şi stemului SAAR. A existat o constrângere serioasă privind optimizarea soluției finale şi datorită faptului că îmbunătățirile care se vor aduce instalației de alimentare cu apă trebuie să se facă cu modificări minime ale acesteia, date fiind unele restrictii greu de eliminat în totalitate: apa nu poate fi oprită niciodată, conducerea companiei nu admite interventii tehnice în instalațiile metroului decât după aprobarea unor studii tehnico-economice complexe şi, în general, dificil de aprobat, date fiind costurile deosebit de mari în astfel de interventii etc. Ideea de bază a s-a axat pe introducerea unor „servovalve dedicate" în acele noduri de circuit care pot fi reconfigurate prin intervenții minime asupra acestora, avându-se în vedere faptul că în prezent nu există decat varianta unor reglaje manuale, în cele mai multe cazuri intervențiile făcându-se după ce s-a produs o avarie, iar „baza de date" privind evoluția parametrilor din sistem fiind practic imposíbil de exploatat pentru stabilirea funcțiilor de transfer. Din motive de optimizare a raportului cost/performanțe şi în urma unor simulări cu parametrii de sistem din exploatare pe mai multe perioade de funcționare a rezultat că soluția propusă de către autori este nu numai eficientă, dar şi absolut necesară date fiind şi conditiile de securitate totală impuse de astfel de sisteme.

Cuvinte cheie: metrou, rețea, apă, sistem automat.

Abstract. In this paper, several pressing issues on the state and functioning of the water supply network in Bucharest subway (SAAR-Metrorex). Following evaluation and analysis of several technical and economic options, enabling a reliable and efficient as of cost of exploitation proceeded to redesign and modernization SAAR. There was a serious constraint on the optimization of the final solution and because the solutions that will bring water supply system, should be done with minimal changes it, given some restrictions entirely eliminatinat difficult: water can not be stopped or same time, the company does not allow technical interventions underground installations only after approval of technical-economic complex and generally difficult approved, given the extremely high costs in such interventions etc. The basic idea focused on the introduction of "dedicated servo valves" in those nodes of the circuit can be reconfigured with minimal intervention on them, taking into account the fact that currently there is only the prospect of manual settings, in most cases interventions being made after a fault has occurred, and "database" on the evolution of the system parameters is virtually impossible to exploit to establish transfer functions. For reasons of optimizing cost / performance and a result of simulation with the operating system parameters over several periods of operation revealed that the solution proposed by the authors is not only efficient, but also absolutely necessary given the overall security and conditions imposed by such systems.

Keywords: subway, network, water automatic system.

1. INTRODUCERE

Începând cu a doua jumătate a secolului al XIX-lea, dezvoltarea tehnologică fără precedent a dus implicit la formarea de mari aglomerări urbane,marile orașe dezvoltandu-se atât pe orizontală, cît

şi pe verticala. Acestea au crescut din ce în ce mai mult, ceea ce a facut ca şi numărul problemelor care trebuiau rezolvate de catre edilii acestora sa creasca proporţional.O problema stringenta a devenit asigurarea serviciilor urbane, care trebuiau să deservească populaţia în continuă expansiune. Astfel au apărut reţelele de canalizare, de alimentare cu apă, cu gaze naturale, reţelele de alimentare cu energie electrică, reţelele de telefonie, telegrafie, radioficare etc.

În acelasi timp,nevoia de deplasare eficientă a forţei de muncă dinspre zonele rezidenţiale către locurile de muncă şi înapoi, a dus la apariţia conceptului de transport urban public.Marele neajuns al reţelelor de transport public urban s-a dovedit a fi spaţiul si singura soluţie viabila s-a dovedit a fi translatarea acestora către structuri de tip subteran, sau, mai tîrziu, de tip estacadă. Astfel, în anul 1890 ,la Londra, s-a inaugurat prima linie de metrou din lume, pe care circulau exclusiv trenuri acţionate cu motoare electrice.Studiile Fondului Naţiunilor Unite pentru Populaţie comunicate în 1960 la simpozionul cu tema „Populaţia şi viitorul mediului urban" de la Barcelona au arătat că în anul 2100, din cele circa 10,5 miliarde de locuitori ai Terrei, cel puţin 50%, adică 5,25 miliarde vor locui în mediile urbane suprapopulate.Lucrările acestui simpozion au condus la cristalizarea unor concluzii , perfect valabile şi în ziua de azi, în legătură cu transportul public urban :in oraşul cu populaţie peste 100000 de locuitori, tramvaiul este indispensabil;in oraşul cu populaţie peste 500 000 de locuitori, metroul sau orice alt sistem de transport urban de mare capacitate devine o necesitate;in oraşul cu populaţie peste 1 000 000 de locuitori, metroul este o condiţie esenţială pentru a stăpâni angrenajul urbanistic al transportului în comun.

Bucureştiul, aşezare seculară atestată istoric încă din anul 1459, cu o populaţie de circa 2000 de locuitori, ajunsese în anii 70 ai secolului trecut, la o populaţie de peste 1,5 milioane de locuitori. Numărul locuitorilor crescut exploziv şi aglomerarea stradală deosebit de mare, au generat mari probleme în privinţa transportului rutier şi în mod special transportul public de călători. Ca urmare, s-a impus introducerea sistemului de transport cu metroul, soluţie optimă atât pentru descongestionarea traficului de suprafaţă, câştigul de timp, reducerea poluării, cât şi pentru transportul călătorilor în condiţii de confort, siguranţă şi rapiditate sporită. La data de 15 februarie 1972 s-a hotarat începerea studiilor preliminare pentru construirea metroului bucureştean.Ca repere în timp, trebuie amintit anul 1975, când au început efectiv lucrările la primul tronson al magistralei 1 şi anul 1979 când s-a dat în folosinţă acest prim tronson. La finele anului 2011 metroul bucureştean număra nu mai puţin de 51 de staţii (fig. 1.1), distribuite pe patru magistrale însumând 69,25 km cale dublă şi deservite de patru depouri şi o uzină de reparaţii pentru materialul rulant.

Faptul că investiţia a fost rentabilă este ilustrat si de numărul de călători transportaţi în primele trei decenii de exploatare: 4.400.000.000.

Fig. 1 – Harta retelei de metrou.

Este evident faptul că o întreprindere de o asemenea anvergură are nevoie de nişte servicii foarte bine organizate, care să satisfacă atât cererile proprii impuse de procesele tehnologice, cât şi necesităţile publicului călător, paleta serviciilor fiind foarte mare: asigurarea energiei electrice a tuturor categoriilor de consumatori tehnologici şi netehnologici,a ventilaţiei în toate spaţiile subterane,a comunicaţiilor prin

fir, radio, internet etc.În cadrul acestor servicii un loc deosebit de important îl ocupă asigurarea alimentării cu apă potabilă și cu apă industrială, atât în situații normale, cât și în situații speciale. Apa potabilă trebuie să fie asigurata pentru publicul călător, buna funcționare a grupurilor sanitare și sociale pentru personalul propriu și, să satisfacă consumul agenților comerciali care desfășoară activități productive în incintele subterane (patiserii, covrigării, magazine alimentare etc.). Apa industrială trebuie să asigure condițiile pentru intervenția eficientă în toate cazurile de urgență, în stații și în tunelurile metroului, trebuie să satisfacă cerințele activității de salubrizare, dar și să susțină consumurile tehnologice (de exemplu, răcirea și umidificarea aerului ventilat în instalațiile de condiționare a aerului).

Având în vedere și rolul important jucat de metrouri în sistemele de apărare civilă (este de notorietate adăpostirea populației londoneze în stațiile de metrou în timpul celui de-al doilea război mondial), în situațiile de război convențional sau NBC, când stațiile trebuie să îndeplinească funcția de adăpost pentru populație, necesarul de apă pentru persoanele adăpostite trebuie asigurat de asemenea prin serviciile de alimentare cu apă ale metroului.

2 . SISTEMUL DE ALIMENTARE CU APĂ AL UNUI METROU

2.1 Considerații generale

În lucrare s-au facut referi în mod special la metrourile subterane, deoarece sistemele supraterane, de tip estacadă sau metrou ușor, nu impun atâtea rigori tehnice și organizatorice în legătură cu asigurarea serviciilor de alimentare cu apă incât să se justifice generalizarea sistemelor de alimentare cu apă dedicate.Cu toata diversitatea soluțiilor tehnice constructive adoptate pe plan mondial la realizarea metrourilor subterane, toate respecta un numar de principii comune, în legătură cu proiectarea și realizarea sistemelor de alimentare cu apă ale acestora. Se consideră că ele se constituie în „instalații de vitalitate”, care trebuie să funcționeze la capacitatea proiectată atât în situații de exploatare normale, cât și în situații speciale,ca de exemplu: situațiile de urgență, situații de apărare civilă etc. Din acest motiv si instalațiile electrice care deservesc aceste sisteme trebuie să posede dublă alimentare cu energie electrică. De asemenea, este obligatoriu ca pe întreg traseul metroului,in toate zonele critice (fig. 1.1) să existe instalații de intervenție cu apă sub presiune (hidranți), absolut necesare pentru stingerea eventualelor incendii, cît și pentru salubrizarea periodică a tunelurilor,precum si instalații de stingere cu apă pulverizată prevăzute a deservi în caz de incendiu toate gospodăriile de cabluri din dotare. De asemenea, stațiile trebuie să posede instalații de branșament la rețelele de alimentare cu apă potabilă orășenești, pentru alimentarea grupurilor sanitare și sociale, cât și pentru consumatorii agenți comerciali.

O condiție de bază a alimentării eficiente permanente cu apă în metrouri este asigurarea în fiecare stație a cel puțin unui puț de mare adâncime, care sa asigure independența fata de sursele de apă orășenești, care , în anumite situații speciale,devin inoperabile (avarii, situații de urgență, război convențional sau NBC etc.). In acelasi timp si puțurile de mare adâncime trebuie să poată asigura la rândul lor alimentarea cu apă a rețelei orășenești, în situații deosebite, cum ar fi secarea surselor de apă ale orașului în situația unei secete prelungite.

Toate instalațiile de alimentare cu apă din metrouri trebuie să fie dotate cu armături de închidere, reglare sau reținere, cât și cu aparate de măsură a presiunii și debitului. De regula,acționarea acestora se face manual, de către operatorii rețelei de alimentare cu apă a metroului, sau automatizat, de către un dispecer general sau zonal. În acest sens este obligatorie folosirea unui sistem performant de traductoare de presiune sau debit, montate în zonele critice din instalație (puțurile de mare adâncime, nodurile de distribuție etc.). Automatizarea poate fi de tip analogic, digitală (asistată de computere) sau se pot imagina sisteme mixte.În figura 2 se prezintă schema bloc a unui sistem de alimentare cu apa specific unui metrou, sursa de apă fiind un puț de mare adâncime care alimentează cu apă două categorii principale de consumatori: cei cu caracter tehnologic și cei cu caracter netehnologic.

Din prima categorie de consumatori fac parte utilajele pentru climatizare, care tratează aerul ventilat folosind ca agent de răcire și umidificare apa (așa numitele camere de umidificare, descrise într-un capitol anterior) și instalațiile prevăzute pentru operațiuni de intervenție în situații de urgență, respectiv hidrofoare, grupuri electrogene cu motoare termice a căror răcire se face cu apă, rețelele de stingere dedicate, cum ar fi cele din gospodăriile de cabluri, dar și rețelele de hidranți de incendiu din stații și tuneluri.

Categoria consumatorilor netehnologici cuprinde grupurile sanitare prevăzute pentru personalul propriu, grupurile sanitare pentru publicul călător, utilajele și instalațiile pentru salubrizarea stațiilor și tunelurilor, precum și agenții comerciali consumatori de apă din stațiile de metrou.

Se poate observa că în vreme ce consumatorii tehnologici consumă apa de regulă, în cantități constante, determinate de procesele tehnologice pe care le susțin, cei netehnologici prezintă un consum variabil, în funcție de necesitățile de la un moment dat (de exemplu, grupurile sanitare consumă apă în funcție de cât sunt de solicitate, grupul electrogen consumă apă numai când este necesară completarea apei în sistemul de răcire sau când se umple sistemul cu apă, instalațiile de salubrizare consumă apă numai în timpul curățeniei stațiilor și tunelurilor, agenții comerciali din stațiile de metrou - cofetării, patiserii, magazine alimentare – consumă apă în limitele proceselor de producție specifice desfășurate și ale programului de funcționare stabilit etc.).

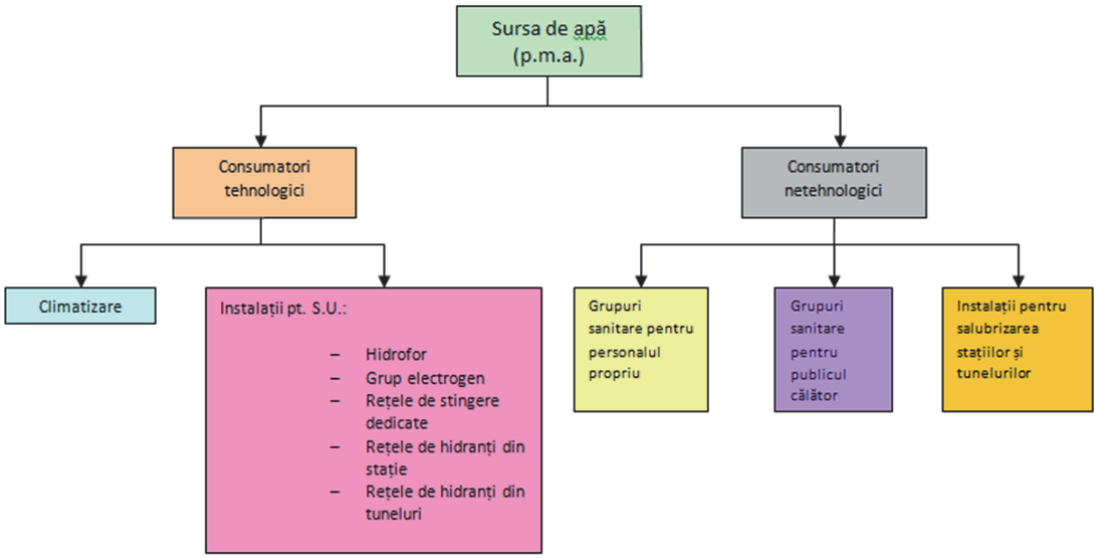

Fig. 2 – Schema bloc a unui sistem de alimentare cu apa specific unui metrou.

Analizând consumul estimat pe diferite perioade de timp și pe categorii de consumatori s-a constatat că într-un metrou consumul de apă nu are un caracter constant, uniform, și că pentru a realiza o regularizare a acestuia, în sensul menținerii unui debit și al unei presiuni constante, indiferent de numărul consumatorilor racordați sau de cantitatea de apă consumată de către aceștia la un moment dat, în limitele tehnice ale instalației la nivel de magistrală, este necesar un sistem de automatizare specific.

2.2. Structura instalațiilor standard

În general, consumatorii de apă din metrou trebuie să fie alimentați atât din rețeaua de apă orășenească, cât și din sursele proprii. În cele ce urmează se va detalia situația alimentării consumatorilor din sursele proprii, respectiv puțurile de mare adâncime.

Un puț de mare adâncime (fig. 3) se compune dintr-un foraj care atinge de regulă adâncimi cuprinse între 100 m și 150 m, suficiente pentru captarea straturilor acvifere care asigură debitele și presiunile necesare, foraj în care se amplasează un sistem de tuburi de filtrare a apei, menite să rețină impuritățile mari care pot să se depună în foraj, și un utilaj de pompare submersibil specializat, de mare putere etc.Utilajul de pompare, amplasat în forajul puțului de mare adâncime refulează apa către rețeaua de alimentare a metroului prin armăturile de închidere și reglaj V1, V2, V3, aflate de regulă în poziție normal deschis. În mod similar, pe ramura către rețeaua de alimentare orășenească închiderea și reglarea debitelor pompate se realizează prin armăturile de închidere și reglaj V5 și V6, aflate, de regulă, în poziție normal închis.Circulația nedorită a debitelor în sensul invers celui de pompare, în cazurile de oprire a utilajului de pompare este prevenită prin intercalarea între vanele V2 și V3, respectiv V5 și V6, a clapeților de retenție CR1 și CR2. Determinarea debitelor circulate se face cu ajutorul apometrelor A1 și A2. presiunea apei în instalație se face cu ajutorul manometrului M.Apa astfel introdusă în rețea este direcționată prin vanele V13, V14, V15 și V4 către instalațiile de climatizare ale stației, către rețelele de apă din tunelurile de metrou, respectiv, către rezervorul instalației de hidrofor care deservește instalațile de intervenție în situații de urgență.

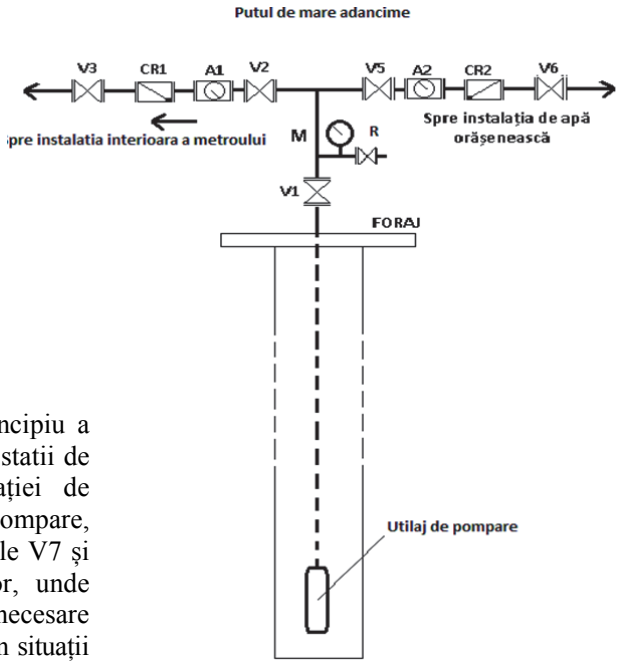

Fig. 3 – Puțul de mare adancime.

In figura 4 se prezinta schema de principiu a sistemului de alimentare cu apa specific unei statii de metrou. Apa stocată în rezervorul instalației de hidrofor este vehiculată de către utilajul de pompare, de regulă o pompă multietajată, prin armăturile V7 și V8 către sistemul de recipienți de hidrofor, unde datorită pernei de aer se asigură presiunile necesare bunei funcționări a instalațiilor de interrvenție în situații de urgență.

Pentru se evita revenirea apei circulate înspre utilajul de pompare, se impune amplasarea clapetului de retenție CR3 la ieșirea apei din pompă. Ambii recipienți sunt prevăzuți cu supapele de siguranță Ssig.1 și Ssig.2 pentru protejarea instalației în cazul apariției suprapresiunilor accidentale care pot deteriora sau chiar distruge instalația.

Golirea recipienților pentru lucrări de întreținere se realizează cu ajutorul vanelor V11 și V12, iar izolarea acestora de restul instalației se face prin vanele V9 și V10.

Din recipienții de hidrofor apa este dirijată prin sistemele de conducte ale stației de metrou către instalațiile de stingere, respectiv către rețeaua de hidranți interiori ai stației. Conductele sunt prevăzute în punctele critice cu armături de reglaj și închidere, cu clapeți de retenție și cu aparate de măsură a presiunii.

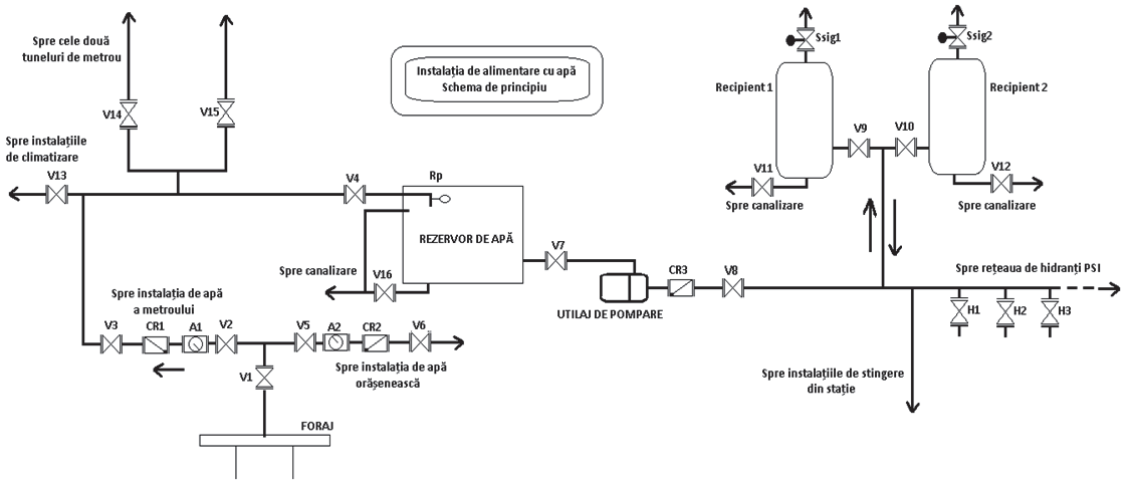

Fig. 4 – Sistemul de alimentare cu apa specific unei statii de metrou.

Evitarea golirii neprevăzute a rezervorului instalației de hidrofor pentru situații de urgență, în timpul funcționării, se realizează prin utilizarea robinetului cu plutitor Rp, care realizează deschiderea sau închiderea alimentării cu apă a rezervorului în funcție de nivelul apei din rezervor la un moment dat. Rezervorul este dotat cu sistem de preaplin și cu un robinet de golire V16, care realizează golirea rezervorului către instalația de canalizare a stației în caz de avarie a robinetului Rp, respectiv golirea acestuia în vederea efectuării lucrărilor de întreținere.

Rețeaua de apă a tunelurilor de metrou trebuie să asigure prin hidranții de incendiu montați la distanțe egale și suficient de apropiate, condițiile optime pentru intervenția în caz de incendiu în tuneluri, cât și alimentarea cu apă a stațiilor adiacente, în situații de avarie sau în situații de urgență.

În acest context o problema deosebita o reprezinta „Instalatiile de climatizare” .Pentru tratarea aerului ventilat pe perioada anotimpului călduros, atunci când temperatura exterioară a aerului depășește valoarea de +27°C se folosesc instalații speciale, care realizează răcirea și umidificarea volumelor de aer ventilate cu ajutorul apei reci obținută din rețeaua de alimentare cu apă a metroului.Fiecare centrală de ventilație este prevăzută cu două astfel de instalații, amplasate, de regulă, la intrarea aerului ventilat în stația de metrou.O asemenea instalație este alcătuită din două camere de tratare, una la intrarea aerului în instalație,iar cealaltă la ieșirea acestuia din ea. Fiecare cameră conține un număr de pulverizatoare de apă sub presiune, care realizează o perdea de apă pulverizată. Aceasta este parcursă de curentul de aer realizat de ventilatorele centralei,realizandu-se atat o răcire semnificativă a acestuia, cât și o desprăfuire eficientă..Camerele de tratare sunt prevăzute cu bazine colectoare care captează apa utilizată în procesul de umidificare, împreună cu praful și impuritățile captate, de unde, prin intermediul armăturii V_2 se deversează la rețeaua de canalizare. Modul de construcție și amplasare a instalațiilor de tratare a aerului ventilat cu apă pulverizată permite folosirea, după necesități, a uneia sau mai multe camere de tratare, în mai multe scheme de configurare, în funcție de situația de fapt. La capacitate maximă, instalația permite tratarea a circa 40 de metri cubi de aer ventilat pe oră, ceea ce poate asigura microclimatul necesar persoanelor și dotărilor tehnologice dintr-o stație de metrou pe timpul anotimpului călduros. Acest tip de instalații prezintă avantajul unei construcții robuste, al folosirii unor materiale ieftine, care nu necesită tratamente deosebite împotriva uzurii sau coroziunii, cât și al folosirii unui agent de răcire ieftin, la îndemână și netoxic. Cu toate acestea, prezintă limitări din punctul de vedere al randamentului, acesta fiind direct influențat de temperatura, presiunea și debitul apei din rețeaua de alimentare cu apă a metroului, cât și de temperatura aerului introdus din exteriorul stației.

3. SISTEM AUTOMAT AL REȚELEI DE ALIMENTARE CU APĂ SPECIFIC METROULUI BUCUREŞTEAN

Pentru realizarea sistemului automat al rețelei de alimentare cu apa a metroului bucurestean SARC – 01 (fig. 5) autorii au aplicat o lege de reglare statistic-experimentala pe o servovalva ADV,DN50 – modificată conform unei cereri de brevet. Acest lucru reprezintă un know-how semnificativ bazat pe un studiu de lungă durată a proceselor intime din „sistemul standard”, acesta avand un caracter absolut neliniar, elemental uman ,precum si inexistenta unor reactii adecvate la variatiile de mediu, introducand numeroase si aleatorii perturbatii.

Date fiind complexitatea sistemului si imposibilitatea unor parametrizari eficiente pentru analiza şi sinteza acestuia, autorii au identificat si dezvoltat o metoda intuitiva de proiectare /nod de system, bazata pe o nomogramă parametrică, statistic-experimentală, care s-a dovedit a fi o bună lege a reglării sistemului, nemaifiind critică reproiectarea tradițională a unui sistem de reglare automată.

Pentru realizarea noului sistem SARC-01 s-a procedat la o monitorizare periodica a consumului variabil al apei, într-o perioadă de timp unitară. În vederea stabilirii consumului ciclic de apă s-a folosit un contor de măsurare a debitului de tipul Zenner Woltman, WPH cu mecanism uscat. Măsurătoriile s-au efectuat pe perioade de timp bine determinate, astfel încât să se determine consumul maxim /perioada de timp stabilită.S-au determinat limitele inferioare si superioare ale consumului de apa/perioada de timp.S-a studiat consumul de apă înregistrat pe un tronson de instalație în lungime de aproximativ 18 km, care deserveşte consumatori până la înălțimi de aproximativ 10 metri într-un număr de 8 stații, în care cel mai mare diametru de conducte folosite este de 4 inch, iar cel mai mic, 3/8 inch.

Presiunea medie înregistrată în instalație a variat pe parcursul studiului între 0 şi 6 atm, în funcție de consumul înregistrat (la consumul care depăşea capacitatea de pompare a utilajului, presiunea înregistrată în rețea tindea către 0) având valori cu atât mai mici, cu cât punctul de măsurare a presiunii se afla mai departe de sursa de apă.

Masuratoriule s-au efectuat din oră în oră rezultând o diagramă a consumului zilnic care evidențiază momentele din zi în care s-au manifestat vîrfurile de consum. Pe axa 0*x* s-a marcat ora la care s-a realizat citirea, iar pe axa 0*y* s-a marcat consumul de apă înregistrat la orele respective.

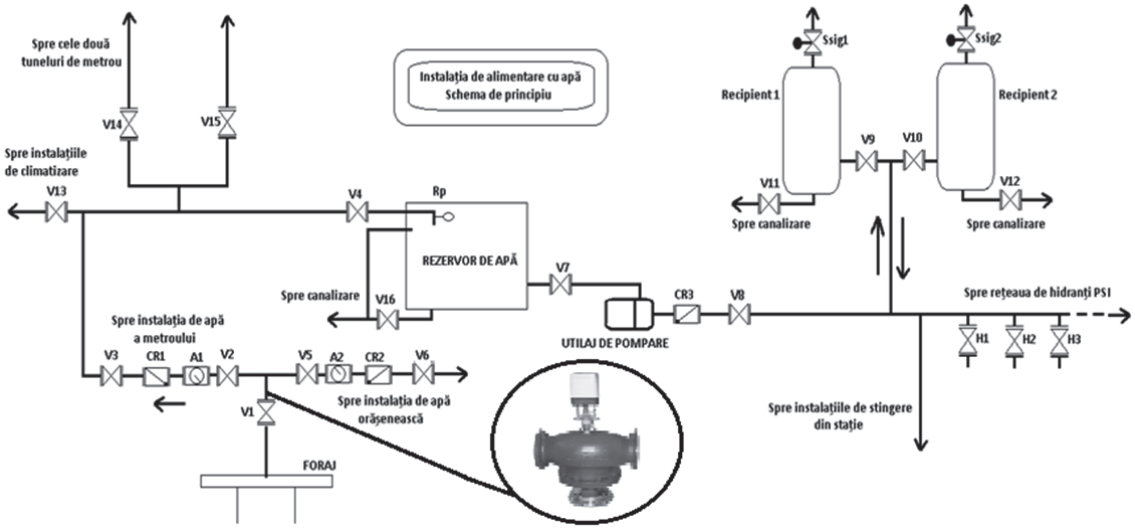

Fig. 5 – Noul sistem SARC-01 (cu reprezentarea locului şi tipului vanei aferente: ABQM,DN-100).

Diagramele rezultate au pus in evidenta caracterul neuniform şi relativ ciclic al consumului de apă în rețeaua studiată, în funcție de specificul activității desfăşurate în cadrul fiecărui palier orar studiat.Din analiza seturilor de masuratori prezentate in figura 6 rezultă cu maximă claritate că alimentarea cu apă a consumatorilor de pe un tronson de metrou nu are un caracter uniform, ci este puternic dependenta de evenimentele care antrenează funcționarea unora sau mai multor consumatori, dar şi de procesele tehnologice cu caracter ciclic, care asigură un consum practic permanent.

Vârfurile de debit consumat nu trec de valoarea de 55 mc, dar tocmai pe aceste vârfuri de sarcină are loc „dereglarea" utilajului de pompare, cu consecința necesității deschiderii suplimentare a armăturii V1 de către operatorul uman. În intervalul de timp în care se înregistrează aceste supraconsumuri, la capătul de tronson opus sursei de apă presiunea înregistrată scade dramatic către 0, iar debitul este şi el insignifiant. Siguranța constă numai în rezerva de apă conținută în rezervoarele tampon ale instalațiilor de hidrofor, dar este totuşi o rezervă limitată la o capacitate de sub 5000 l fiecare.

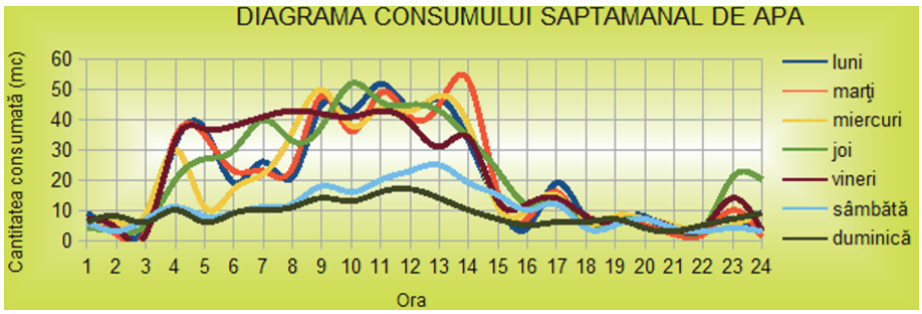

Fig. 6 – Nomograma operativa pentru simularea comenzilor optimizate ale sistemului SARC-o1.

4. CONCLUZII

● Soluția propusă de autori elimină cheltuieli mari nefondate.

● S-a mărit durata de functionare a sistemului de alimentare cu apa cu peste 95%.

● S-a îmbunătățit calitatea sistemului de alimentare cu apă, dat fiind faptul ca toți consumatorii prezenți au acelaşi randament de alimentare.

Bibliografie

1. Dumitru Ion, Eugen Diatcu, *Inginerie tehnologică inovativă*, Editura Victor, Bucuresti, 2002.
2. Marin Sărăcin, Cristina Gabriela Sărăcin, *Traductoare, interfețe, achiziții de date*, Editura Matrix Rom, Bucuresti, 2010.
3. Dumitru Ion , Sisteme inteligente de măsurări electronice, Editura Victor Bucuresti,2003.
4. I. Armaş , Produse şi servicii mecatonice, Editura Agir, Bucureşti, 2009.
5. *** Sesiunea de comunicări ştiintifice – Facultatea de Electronică, Automatică şi Informatică aplicată, Mai, 2011.
6. *** Catalog Danfoss : Echipamente de control automat, 2012.
7. *** Colecția de date experimentale Metrorex.