

Abordări bazate pe inteligența artificială în cazul sistemelor de alimentare cu apă și a subsistemelor acestora

Asist. univ. drd. Gabriela ANDREI

Universitatea Maritimă din Constanța,

Departamentul de Științe Fundamentale și Umaniste

andregabriela@yahoo.com

Rezumat. *Este puțin probabil ca modelarea unor sisteme de alimentare cu apă utilizând numai experiență acumulată de-a lungul timpului de către proiectanți poate conduce la obținerea soluțiilor optime, chiar și pentru o rețeaua de conducte foarte simplă. În ultimii ani, cercetătorii au avut o preocupare susținută pentru dezvoltarea metodelor de automatizare a optimizării modelelor de distribuție a apei. Astfel, cercetările pentru realizarea modelelor de optimizare a distribuției apei s-au concentrat pe diverse tehnici, cum ar fi Calcul Evolutiv, în special, direcția utilizării algoritmilor genetici, Calcul de tip Swarm, Logica Fuzzy, însă metodă cu cele mai multe promisiuni pare să fie aceea a utilizării de algoritmi genetici, folosiți pentru optimizarea sistemelor de alimentare cu apă și de canalizare. Lucrarea prezintă câteva concepte de inteligență artificială pentru optimizarea acestor sisteme, modurile cum aceste abordări pot asigura funcționarea lor corectă, sub multiplele aspecte ale funcționării.*

Cuvinte cheie: alimentare cu apă, inteligența artificială, algoritmi genetici, swarm, roi de furnici.

Sistemele de alimentare cu apă (SAA)

În condițiile de existență a vieții, în general, și de desfășurare a activităților umane, în special, apa conținută în diferite formațiuni hidrologice prezintă o dublă importanță, prima de factor de mediu înconjurător și, respectiv, de generatoare de sisteme ecologice și – a doua – de “materie primă” pentru anumite folosințe, ca: apă potabilă, apă industrială, piscicultură, agrement etc.

Structura tipică pentru SAA a centrelor urbane, cuprinde, în general, ca părți componente, construcțiile și instalațiile pentru: captarea apei, corectarea (îmbunătățirea) calității apei (sau tratarea apei), transportul, pomparea, înmagazinarea și distribuția apei.

Obiectul de studiu al alimentărilor cu apă este apa, cu caracteristicile ei fizico – chimice, indicatorii biologici și bacteriologici, împreună cu totalitatea proceselor și procedurilor de captare, tratare, transport și distribuție la consumatori.

Modelarea matematică, simularea proceselor și studiul experimental pe principii de similitudinii sunt căi esențiale de investigare în domeniul SAA a centrelor urbane.

Criterii economice de optimizare

Aplicarea criteriilor economice se pretează la sistemele unde nonfiabilitatea are doar consecințe economice. Preocupările privind stabilirea nivelului optim de fiabilitate, al sistemelor de alimentare cu apă (SAA), presupun parcurgerea următoarelor etape:

- culegerea și prelucrarea informațiilor referitoare la comportarea fiabilistică a echipamentelor din structura SAA;
- stabilirea criteriului de optimizare a nivelului de fiabilitate;
- evaluarea termenilor funcției obiectiv;
- stabilirea și aplicarea soluției optime;

Criteriile care se prezintă sunt dedicate pentru analiza și stabilirea nivelului de fiabilitate în faza de proiectare. Relațiile utilizate pentru funcția obiectiv sunt diferite, dar termenii sunt aceiași, și anume: investiții, cheltuieli de exploatare, daune. Criteriile de optimizare a fiabilității, cu largă aplicabilitate în alte domenii, care pot fi adaptate pentru SAA și subsistemele acestora, se prezintă în cele ce urmează:

- Criteriul „cheltuieli anuale de calcul“ La aplicarea acestui criteriu, se urmărește minimizarea funcției obiectiv (CA)
- Criteriul „cheltuieli totale actualizate“ La aplicarea criteriului, se urmărește minimizarea funcției obiectiv (CTA)
- Criteriile „efort economic justificat“ și „efort economic raportat minim“ Criteriul „efort economic justificat“ (EEJ) se aplică pentru analiza oportunității investiției¹ :

Modelare sisteme de alimentare cu apă și canalizare

Introducerea sistemelor informatice în cadrul procesului de proiectare, reprezintă o condiție obligatorie pentru proiectarea actuală. Astfel, modelarea pe calculator reprezintă un instrument eficient în realizarea unui management integrat al sistemelor de alimentare cu apă și canalizare.

Există numeroase scopuri pentru utilizarea modelelor de calcul, în vederea simulării condițiilor de curgere din interiorul sistemelor de alimentare cu apă. Astăzi, este practic de neconceput un proces de proiectare modern și eficient fără a se ține seama de realizarea unor modele de simulare avansate, bazate pe optimizarea parametrilor de lucru. Aceste modele se realizează cu ajutorul unor programe eficiente, ce aplică strategii avansate.

De obicei, astfel de tipuri de modele sunt utilizate (în principal) pentru:

- evaluarea tuturor planurilor și alternativelor de proiectare;
- evaluarea tuturor riscurilor ce pot apărea și pot influența diverse sisteme de alimentare cu apă și de canalizare;
- evaluarea performanțelor sistemelor de alimentare cu apă și canalizare;
- verificarea celor mai bune strategii de management ale infrastructurii sistemelor de alimentare cu apă și de canalizare;
- evaluarea vulnerabilității sistemelor de alimentare cu apă și canalizare;
- garantarea cantității și calității resurselor de apă potabilă dintr-o comunitate.

În cazul sistemelor de alimentare cu apă, un model este alcătuit (în principal) din elemente precum: rețeaua de conducte, noduri de consum, vane, pompe, rezervoare de înmagazinare, castele de apă, etc. Calculatorul modelează anumite prognoze ce ar putea exista în viitor (de exemplu, peste douăzeci de ani), legate de posibilele investiții semnificative ce urmează a fi realizate de companiile de apă și canalizare.

Pentru a garanta o investiție bună și recuperarea integrală a acesteia în perioada prognozată, este necesar să fie utilizate modele corespunzătoare, care să fie capabile de a simula în mod corect condițiile de curgere întâlnite în acel loc. Acest lucru se realizează prin calibrarea modelelor, care implică un proces deosebit de complex de ajustare a tuturor caracteristicilor și parametrilor modelului, astfel încât debitele și presiunile estimate să corespundă în totalitate cu, condițiile concrete din teren.

Soluții de modelare bazate pe inteligența artificială

De regulă, se pleacă de la utilizarea modelului existent al rețelei de distribuție, determinându-se criteriile de eficiență, incluzând presiunile și vitezele minime și maxime acceptabile, după care calibrează modelul existent al SAA în raport cu domeniul valorilor observate în diverse zone, pentru o funcționare în condiții normale. În cele din urmă, se examinează modelul în scopul depistării deficiențelor critice în sistem, ca de exemplu: vitezele sau presiunile scăzute în diverse zone.

Pe baza dezvoltării proiectului, se pot calcula viitoarele necesități pentru diverse SAA. De asemenea, se pot adăuga noi componente în sistem cum ar fi: conducte, pompe, rezervoare, vane și poate înlocui oricând unele din cele existente. În plus, se pot regla diversele operații necesare pentru a converge spre necesitățile proiectate pe sistemul respectiv, iar în cele din urmă pot alege soluțiile optime de realizare și, în final se calculează costurile acestora.

Se pot încerca diverse repetări în scopul eliminării erorilor de prelucrare până când se ajunge la o soluție realizabilă și din punct de vedere economic, dar care întrunește în același timp și criteriile de proiectare. Soluția este dată de aplicarea unor soluții concrete, existente deja în zona Inteligenței Artificiale.

Algoritmii Genetici (GA)

Aceștia sunt algoritmi adaptivi, care determină soluția optimală a unei probleme de optimizare pe baza unor mecanisme specifice geneticii și selecției naturale.

Reprezintă ramura cea mai avansată din cadrul Calculului Evolutiv și presupun:

- codificarea genetică - reprezentarea spațiului soluțiilor posibile;
- generarea populației inițiale de indivizi (soluții candidat);
- definirea unei funcții de evaluare (de fitness) pentru măsurarea performanței fiecărui individ, în raport cu obiectivul urmărit;
- schemă de selecție a indivizilor asupra cărora vor fi aplicați operatorii genetici ;
- operatorii genetici pentru crearea de noi indivizi (încrucișare, mutație, etc.);
- schemă de selecție a indivizilor care vor contribui la constituirea noii generații;
- selectarea valorilor parametrilor algoritmului evolutiv: dimensiunea populației, numărul total de generații, probabilitățile de aplicare a operatorilor genetici, etc.

În cazul unui Algoritm Genetic aplicat unei probleme de optimizare cu restricții, algoritmul de rezolvare a problemei constă în acest caz din două componente (Fig.1): un algoritm de tratare a restricțiilor, care se va finaliza cu asignarea unei valori de fitness pentru fiecare individ, urmat de un algoritm de căutare, care poate fi orice AG utilizat în problemele de optimizare fără restricții. Acești algoritmi vor fi executați la fiecare generație, până la îndeplinirea condiției de oprire².

Algoritmii de tratare a restricțiilor se deosebesc prin modul în care indivizii neadmisibili sunt implicați în procesul de căutare, pentru a exploata informațiile pe care aceștia le conțin (informații legate de regiunea fezabilă și informații despre soluția optimă).

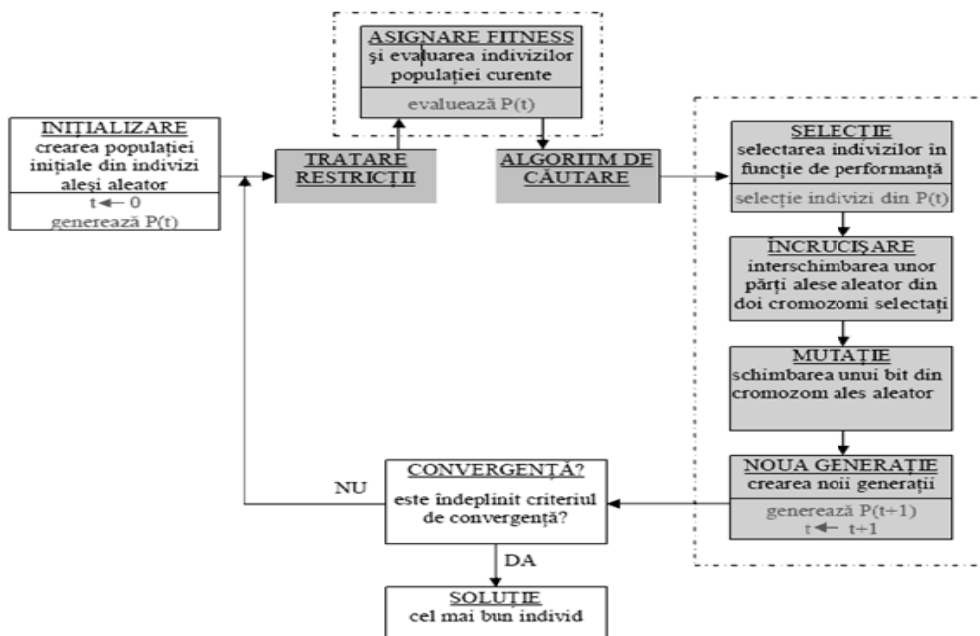


Figura 1. Fluxul de lucru al unui Algoritm Genetic³

Optimizarea SAA cu ajutorul algoritmilor genetici nu este un înlocuitor pentru modelul tradițional de simulare, dar poate fi considerat că fiind următorul pas al acestuia. Aceștia automatizează prelucrarea căutării soluțiilor și învățării calculatorului să genereze și să evalueze succesiv soluțiile posibile.

Pornind de la o setare inițială aleatoare generată pentru diverse SAA, algoritmi genetici pot să conducă la căutarea combinațiilor de soluții de conducte, rezervoare, pompe și vane care implică cele mai scăzute costuri. Aceștia sunt în măsură să genereze și să evalueze zeci, sau chiar și sute de mii de combinații diferite.

În general, algoritmi genetici dezvoltati pentru optimizarea SAA utilizează următoarele elemente:

- funcție de optimizare definită pe baza unui set de variabile de decizie (spre exemplu, diametrele conductelor);
- calibrarea modelelor SAA capabile să simuleze atât comportarea lor hidraulică, cât și garantarea mereu a satisfacerii ecuațiilor de continuitate și a pierderilor de sarcina (acest pachet de situații este definit drept "constrângeri puternice");
- modificarea unor parametrii pentru a penaliza unele nivele insuficiente de serviciu (aceste situații sunt definite drept "constrângeri slabe"), că de exemplu: presiunile în noduri, instabilitatea curgerii în rezervoare, vitezele mici / mari în conducte.

Pentru SAA problemele importante ce pot fi rezolvate utilizând, în mod semnificativ optimizarea soluțiilor cu ajutorul unor algoritmi genetici, sunt:

- amplasarea și dimensionarea sistemului de înmagazinare, astfel încât să fie respectată rezervă intangibilă de apă în caz de calamitate;
- optimizarea amplasării vanelor de control într-o rețea de alimentari cu apă, în scopul reducerii scurgerilor accidentale;
- programarea funcționării pompelor pentru sistemele mari și complexe de distribuție a apei;
- stabilirea caracteristicilor de funcționare pentru pompe, rezervoare de înmagazinare, castele de apă, supape de presiune, vane, etc.;
- proiectarea noilor rețele de conducte, calibrând modelele existente;
- amplasarea optimă a diverselor stații de pompare;
- combinarea resurselor de apă pentru atingerea standardelor de calitate a apei cu, costuri minime.

De asemenea, un alt aspect foarte important îl reprezintă utilizarea algoritmilor genetici pentru modelarea optimizării costurilor totale ale unor SAA, care poate include, printre altele:

- cheltuielile de investiție pentru noile conducte, pompe, rezervoare de înmagazinare, vane, etc.;
- valorile actuale ale costurilor energetice datorate unor stații de pompare;
- valorile actuale ale costurilor suportate de către comunitățile locale, în condițiile transmiterii unor boli pe calea apei, datorate insuficienței, sau depășirii nivelurilor admise de clor, dezinfectării apei cu diverse produse specifice (riscul apariției cancerului).

Motivația cea mai importantă pentru optimizarea SAA, cu ajutorul algoritmilor genetici, este dată de posibilitatea generării unor soluții mult mai exacte și mai rapide. Acest tip de algoritmi necesită flexibilitate și posibilități de configurare care includ considerații cu privire la obiectivele simultane și de dinamică a sistemului.

Ca urmare, se poate spune că, optimizarea SAA folosind algoritmi genetici este cea mai indicată, atât pentru reducerea timpului de lucru necesar modelării, cât și pentru obținerea celor mai potrivite soluții.

Calculul de tip Swarm („Swarm Intelligence”)

Aceasta este o nouă paradigmă computațională bazată pe studiul comportamentelor colectivelor cu organizare socială din lumea animală (colonii de furnici, stoluri de păsări, bancuri de pești, colonii de albine, colonii de bacterii).

Inteligența colectivă are la bază schimbul de informații dintre membrii. Interacțiunea dintre vecini, precum și interacțiunile cu mediul înconjurător, le permite să construiască structuri complexe și să-și atingă scopul urmărit (drumul optim către anumite locații, evitarea prădătorilor, etc.). Succesul acestui tip de comportament a inspirat elaborarea celor două metaeuristici: Optimizarea cu roiuri de particule („Particle Swarm Optimization” – PSO) și Optimizarea bazată pe studiul coloniilor de furnici – AMF („Ant Colony Optimization” – ACO).

Algoritmul de optimizare al mușuroiului de furnici. Exemplu de implementare

AMF face parte din categoria algoritmilor evoluționisti de optimizare stocastică și este inspirat de comportamentul de căutare al unei colonii de furnici, pentru depistarea sursei de hrană și aducerea ei la mușuroi pe drumul cel mai scurt. Acest comportament se bazează pe urmele de feromon secretat și depus de către furnici în deplasările lor, urme care servesc ca o formă indirectă de comunicare. Traseele având intensitate mai mare de feromon sunt alese prioritar de membrii coloniei și astfel concentrația de feromon pe traseele respective se amplifică în mod continuu. La modul foarte general, în cadrul AMF se operează cu un grup de furnici artificiale, fiecare dintre acestea corespunzând câte unei soluții complete a problemei de rezolvat și având o anumită calitate în raport cu obiectivul de optimizare vizat. Pe baza acestor calități individuale se inițializează intensitățile feromonului pentru variantele de opțiuni posibile, încheindu-se o iterație globală (o etapă de căutare sau un pas de timp - admis aici discret spre deosebire de procesul din natură). În iterația globală următoare se generează stocastic un nou grup de furnici (soluții posibile), dar favorizând mai mult opțiunile cu intensitate sporită de feromon. După evaluarea lor în raport cu obiectivul problemei și reajustarea intensității feromonului pentru toate opțiunile, este de așteptat ca unele dintre acestea să devină tot mai puternice și atractiv a fi selectate în iterațiile viitoare. Procesul încetează după parcurgerea unui număr impus de iterații globale, iar furnica (soluția) cea mai performantă din ultima iterație are șansa de a se plasa foarte aproape de soluția optimă globală a problemei.

Un exemplu de implementare a acestei strategii a fost dezvoltat în 2008 de către Liana Ioana VUȚĂ și Radu POPA, în căutarea unui model de dimensionare optimă a rețelelor hidraulice, care include atât costurile anuale corespunzătoare investiției în conducte, cât și costurile asociate clorinării apei. Sub aspect hidraulic, dimensionarea trebuie să respecte restricțiile de presiune minimă la regimul debitelor de calcul, estimate

ca cele mai mari pentru rețeaua respectivă. Sub aspectul calității apei, se admite un grafic de frecvență impus pe parcursul anului, având diferite clase de debite la consumatori (sub debitele de calcul) și pentru fiecare clasă, se determină concentrația de clor necesară la plecarea în rețea, cantitatea de clor asociată și costul ei, astfel încât clorul rezidual din rețea să depășească o concentrație minimă specificată. Ca metodă de optimizare, s-a adoptat la această problemă extinsă algoritmul mușuroiului de furnici (AMF), descris în detaliu pentru partea hidraulică în Popa și Vuță, 2007.

Pentru formularea modelului matematic, se are în vedere că, de regulă, la dimensionarea rețelelor de apă se admit cunoscute pozițiile nodurilor de consum și debitele de calcul solicitate, traseul conductelor de legătură și lungimile acestora, precum și poziția rezervorului de alimentare și sarcina hidraulică la rezervor. Se pune problema ca – dintr-un număr discret de valori standardizate – să se aleagă diametrul adecvat pentru fiecare conductă astfel încât la orice nod din rețea să se asigure cel puțin o valoare minimă a presiunii de serviciu la regimul de calcul, dar minimizând costul de realizare al conductelor.

În orice metodă de optimizare acest obiectiv se atinge prin selecția diametrelor standard cele mai reduse (având și costurile unitare cele mai mici) care conduc la respectarea restricțiilor de presiune minimă impusă.

Pe de altă parte, diametrele reduse implică viteze mari ale apei pe conducte, timpi de retenție reduși în sistem, pierdere limitată de clor la transportul în rețea și deci necesitatea unei concentrații de clor mai scăzute la plecarea din rezervor pentru a asigura un nivel minim impus de clor rezidual la consumatori. Acest lucru se întâmplă la operarea în regimul de debite de calcul și – la acest regim – costul redus al conductelor care răspund restricțiilor hidraulice de presiune se cuplează cu costurile mai mici necesare pentru clorinarea la rezervorul de alimentare. Se cunoaște însă faptul că rețeaua de distribuție, odată realizată, funcționează doar o fracție limitată de timp în condițiile debitelor de calcul. Cu cât debitele în rețea sunt mai reduse, cu atât vitezele apei pe conducte sunt mai mici și timpii de tranzit în sistem devin mai mari. Ca urmare, pierderea de clor în rețea se amplifică, iar pentru păstrarea nivelului minim permis de clor rezidual la consumatori este necesară o concentrație sporită (și deci costuri de tratare mai mari) la plecarea din rezervor. Pentru a ține seama de ambele aspecte privind costurile, în această lucrare se propune ca analiza de dimensionare optimă să se facă pe o bază anuală. În acest sens, se admite o durată de viață specificată, T ani, pentru rețeaua considerată, iar costul anual corespunzător unei soluții posibile, \square , de diametre ale conductelor, $V_h(\varphi)$, se va lua simplu, considerând două cazuri, dacă soluția φ respectă restricția de sarcină minimă impusă respectiv dacă se încalcă restricția

$$V_h(\varphi) = \begin{cases} \frac{1}{T} \sum_{i=1}^I L_i \cdot c_{sij} \\ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^I L_i \cdot c_{sij} + \varphi_h \cdot \Delta H_{\max} \square \end{cases} \quad (1)$$

Prin I s-a notat numărul de conducte din rețea, L_i este lungimea conductei i , c_{ij} este costul unitar (pe metru liniar) al conductei de diametru standard d_{ij} ales pentru conducta i , ΔH_{max} reprezintă deficitul maxim de presiune din rețea față de presiunea minimă impusă, iar ph este un factor de penalizare a costurilor pentru încălcarea restricției de presiune minimă de serviciu (la debitele de calcul!).

Referitor la regimul debitelor din rețea pe parcursul anului, se admite cunoscut graficul de frecvență al debitelor solicitate, presupus același la toți consumatorii. Pentru cazul din fig. 1, de exemplu: 35% din an (adică $0,35 \cdot 8760 = 3066$) se solicită între 50 și 75% din valoarea debitului de calcul q , cu o valoare medie pe clasă de $q_k = 0,625 \cdot q$. Fie K numărul de clase de debite cu valorile medii pe clasă q_k (în m^3/h) și duratele de solicitare Δt_k (în h/an), pentru $k = 1, 2, \dots, K$.

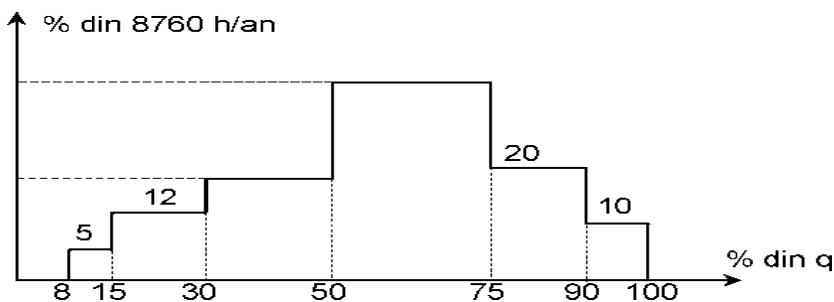


Figura 2. Exemplet de grafic de frecvență (ca fracție din durata anuală) a debitelor de consum (ca fracții din debitul de calcul q)

În cazul fiecărei soluții de proiectare posibilă, φ , după calculul contribuției conductelor la costurile anuale cu relația (1), se efectuează K rulări ale regimului hidraulic din rețea, pe diametrele soluției φ , dar considerând succesiv debitele de consum din noduri cu valorile q_k , $k = 1, K$. La fiecare rulare corespunde un alt debit plecat din rezervor, Q_{Rk} (în m^3/h) și, printr-un procedeu iterativ, se determină concentrația de clor la intrarea în rețea, CR_k (în mg/l), care face ca în nodul cel mai dezavantajat din sistem să se atingă valoarea minimă permisă, C_{lim} (în mg/l), a clorului rezidual. În continuare, costul anual al tratării cu clor la rezervor pentru soluția φ , $V_c(\varphi)$, se obține cu relația:

$$V_c(\varphi) = 10^{-3} v_c \frac{1}{T} \cdot \sum_{k=1}^K Q_{Rk} \cdot \Delta t_{\Delta k} \cdot C_{Rk} \quad (2)$$

unde V_c este costul implicat de producerea/ manipularea/ injectarea etc. a unui kilogram de clor care să asigure concentrațiile necesare CR_k la plecarea din rezervor.

Totalul costurilor anuale cu realizarea conductelor și pentru clorinarea apei la sursă, în cazul unei soluții posibile de proiectare, φ , se obține însumând contribuțiile (1) și (2), adică:

$$V_h(\varphi) = V_h(\varphi) + V_c(\varphi)$$

iar funcția de performanță vizată în modelul de dimensionare optimă este:

$$\min\{V_h(\varphi)\}$$

În mod evident, la fiecare combinație de diametre standard ale diverselor conducte din rețea (fiecare soluție posibilă ϕ) corespund costuri de conducte, sarcini minime în rețea, concentrații de clor la sursă pe clasele de debite solicitate și respectiv costuri de clorinare diferite pentru a asigura și cerințele de calitate a apei.

Încadrarea problemei în logica AMF, rezolvarea acesteia și interpretarea calitativă a rezultatelor, autorii au preluat modelul rețelei de distribuție din Hanoi, folosit în literatură, descris în graful următor. Lungimile celor 34 conducte din rețea și numerele de ordine din listă ale diametrelor utilizabile sunt indicate în tabelul 2, iar tabelul 3 conține debitele de calcul q (în m^3/h) solicitate în nodurile rețelei. Rețeaua este admisă plană, cu sarcina la rezervor $H_r = 100m$ și sarcina minimă permisă în noduri de $H_{min} = 30 m$.

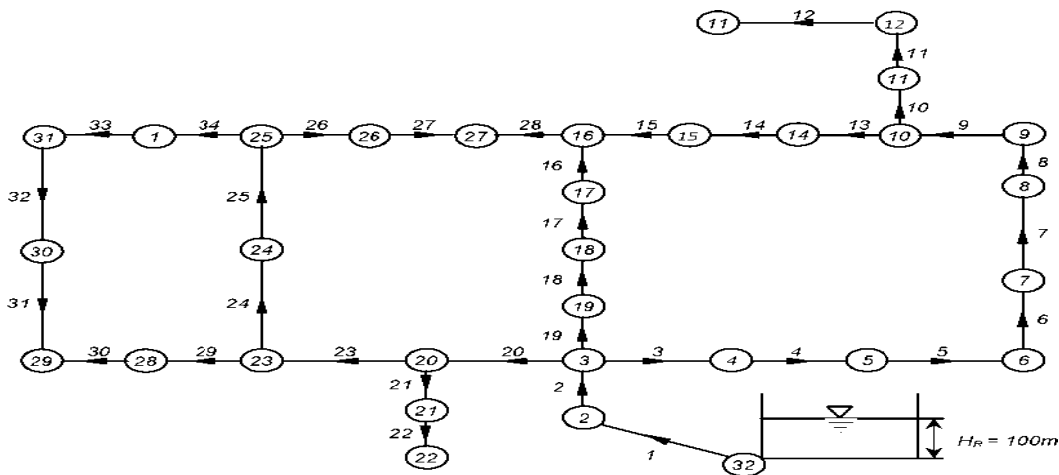


Figura 3. Schema rețelei de distribuție din Hanoi (sensurile pe conducte corespund situației marcate * în tabelul 2)

Tabelul 1

Diametre standard utilizabile și costuri unitare asociate

Număr	1	2	3	4	5	6	7	8
ds (mm)	254	304.8	406.4	508	609.6	762	1016	1270
c_s (\$/m)	33.39	45.726	70.4	98.378	129.333	180.748	278.78	450.9

Tabelul 2

Lungimile conductelor și diametrele standard alocate

Cond.	Lungime (m)	Numere d_s din listă				Cond.	Lungime (m)	Numere d_s din listă			
		5	6	(7)	8*			2	3	4	(5)
1	100	5	6	(7)	8*	18	800	2	3	4	(5)
2	1350	5	6	7	(8)	19	400	2	3	(4)*	5
3	900	5	6	7*	(8)	20	2200	5	6	(7)*	8
4	1150	5	6	(7)	8	21	1500	1	2	(3)*	4
5	1450	5	6	(7)	8	22	500	1*	(2)	3	4
6	450	5	6*	(7)	8	23	2650	4	5	(6)*	7
7	850	5	(6)	7	8	24	1230	3	4	5	(6)
8	850	5	(6)	7	8	25	1300	4	5*	(6)	7
9	800	5	(6)	7	8	26	850	2	3*	(4)	5
10	950	5*	6	(7)	8	27	300	(1)*	2	3	4
11	1200	3	4	(5)	6	28	750	(1)*	2	3	4
12	3500	3	(4)	5	6	29	1500	1	3	(3)	4
13	800	3*	4	(5)	6	30	2000	(1)	2*	3	4
14	500	1	(2)	3*	4	31	1600	(1)	2*	3	4
15	550	(1)	2	3	4*	32	150	1	2*	(3)	4
16	2730	1*	(2)	3	4	33	860	1	2*	(3)	4
17	2750	1	2	(3)	4	34	950	3	(4)	5*	6

* - valori selectate într-o soluție suboptimală cu AMF;

() - valori selectate într-o soluție suboptimală cu AG (Popa și Tudor, 2000)

Tabelul 3

Debitele de calcul în joncțiuni

Nod	q (m ³ /h)	Nod	q (m ³ /h)	Nod	q (m ³ /h)	Nod	q (m ³ /h)
1	805	9	525	17	865	25	170
2	890	10	525	18	1345	26	900
3	850	11	500	19	60	27	370
4	130	12	560	20	1275	28	290
5	725	13	940	21	930	29	360
6	1005	14	615	22	485	30	360
7	1350	15	280	23	1045	31	105
8	550	16	310	24	820	32	-19940

grafic de frecvență al debitelor solicitate la consumatori având K = 5 clase și valorile medii pe clasă, respectiv durate de solicitare pe parcursul anului, ca în tabelul 4.

Tabelul 4

Debitele de calcul în joncțiuni

Clasa	1	2	3	4	5
Fracție din q	0.15	0.3	0.5	0.75	0.95
Durată (h)	1463	1095	4380	1095	727

Interpretarea rezultatelor

Cea mai bună soluție dintre cele găsite cu aceste date de intrare corespunde la costuri anuale totale de 278547,4 dintre care 181439,7/an costul conductelor și respectiv 97107,7/an costul tratării apei la rezervor. Cu perioada de viață $T = 30$ ani, rezultă un cost total al conductelor de 5443191 - deci mai mic decât soluția cea mai bună obținută cu AG. Diametrele de conducte corespunzătoare acestei soluții sunt marcate cu * în tabelul 2 și - pentru comparație, diametrele soluției optime găsite cu AG în Popa și Tudor, 2000 sunt marcate între paranteze (). Se poate constata că din cei circa 39,5 km de conducte ai rețelei, pe 24,23 km s-au găsit diametre identice atât cu formularea de AG cât și cu ajutorul AMF.

În tabelul 5 sunt indicate debitele pe conducte, sarcinile și concentrațiile de clor în noduri pentru soluția marcată cu *, în regimul de debite de calcul.

Tabelul 5

Debite pe conducte, sarcina de presiune și concentrația de clor în noduri, la regimul debitelor de calcul

Cond.	Debit (m3/h)	Cond.	Debit (m3/h)	Nod	Presiune (m)	Conc. (mg/l)	Nod	Presiune (m)	Conc. (mg/l)
1	19940.2	18	2453.4	1	38.24	0.271	17	52.98	0.290
2	19050.2	19	2513.4	2	99.00	0.303	18	73.54	0.296
3	8000.3	20	7686.4	3	86.63	0.300	19	79.09	0.299
4	7870.3	21	1415.0	4	81.99	0.297	20	76.16	0.293
5	7145.3	22	485.0	5	76.25	0.294	21	47.44	0.289
6	6140.3	23	4996.4	6	70.29	0.289	22	34.30	0.288
7	4790.3	24	3245.4	7	64.18	0.288	23	53.71	0.286
8	4240.3	25	2425.4	8	57.15	0.286	24	48.81	0.281
9	3715.3	26	1041.3	9	51.65	0.283	25	40.00	0.277
10	2000.0	27	141.3	10	47.67	0.280	26	31.19	0.274
11	1500.0	28	228.7	11	43.29	0.276	27	30.52	0.267
12	940.0	29	706.1	12	40.18	0.270	28	46.55	0.278
13	1190.3	30	416.1	13	30.96	0.250	29	31.65	0.269
14	575.3	31	56.1	14	36.83	0.278	30	31.43	0.258
15	295.3	32	303.9	15	35.07	0.275	31	32.05	0.266
16	243.4	33	408.9	16	34.90	0.269	32	100.00	0.303
17	1108.4	34	1214.1	-	-	-	-	-	-

Se constată că valoarea minimă impusă pentru clorul rezidual în rețea, $C_{lim} = 0,25\text{mg/l}$, se atinge în nodul 13, iar valoarea minimă a sarcinii de presiune de 30,52m din nodul 27, este superioară valorii limită impusă de $H_{min} = 30\text{m}$. Concentrația de clor

necesară la plecarea din rezervor, în regimul de debite de calcul, a rezultat $CR = 0,303\text{mg/l}$.

La rulările pe această rețea, cu debitele de consum medii pe clase din tabelul 4, a rezultat că nodul critic sub aspectul calității apei rămâne nodul 13, iar pentru a se asigura aici $Clim = 0,25\text{mg/l}$, la plecarea din rezervor sunt necesare concentrațiile de clor din tabelul 6.

Tabelul 6

Concentrația de clor la plecarea din rezervor, pe clase de debit

Clasa	1	2	3	4	5
Debit mediu în rețea (m3/h)	2991	5982	9970	14955	18943
Concentrație clor la rezervor (mg/l)	0.863	0.470	0.367	0.323	0.306

Se constată că pentru rețeaua și datele de intrare considerate, doar la debitele de consum cele mai reduse (15% din valorile de calcul) concentrația de clor necesară la plecare depășește limita superioară de $0,5\text{mg/l}$ prevăzută în legea 458/2002. Pentru această situație ar fi util să se pună problema găsirii pozițiilor optime și a concentrațiilor de clor introduse în rețea de stații booster suplimentare, astfel încât la plecare să nu se depășească valoarea maximă permisă, iar în rețea să nu se coboare sub valoarea minimă acceptă⁴.

Concluzii

Pentru modelarea proiectelor de distribuției a apei, aceste abordări bazate pe Inteligența Artificială sunt foarte eficiente. În cazul folosirii lor, modelul experimentat poate să simuleze cu succes golirea rezervorelor, debitele tranzitate, presiunile în noduri și condițiile viitoare. Oricum, această metodă de lucru pe baza de modele, identifica diversele încercări în scopul evaluării lor și găsirii, în final, a soluțiilor optime.

Bibliografie

- Soare David, "Optimizarea funcționării din punct de vedere energetic a sistemelor de alimentare cu apă și a subsistemelor din structura acestora", Teză de doctorat, Oradea 2013, 31-33.
- Dumitrescu D., "Algoritmi genetici și strategii evolutive - aplicații în inteligența artificială", Editura Albastră, 2000.
- Dinu Simona, "Soluții informatice de optimizare a proceselor economice", București, 2012, 80-82.
- Liana Ioana Vuță, Radu Popa, "Model de dimensionare optimă a rețelelor hidraulice, ținând seama de calitatea apei" IWM Conference (2008), 135 – 145.