



UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN BUCUREȘTI
Școala Doctorală de Chimie Aplicată și Știința Materialelor
Departamentul de Inginerie Chimică și Biochimică

TEZĂ DE DOCTORAT

OPTIMIZAREA MANAGEMENTULUI
CALITĂȚII APEI POTABILE
(Rezumatul tezei de doctorat)

Doctorand: Chim. Alice IORDACHE (IONIȚĂ)

Conducător doctorat: Prof. dr. ing. Alexandru WOINAROSCHY

BUCUREȘTI
2020

MULȚUMIRI

Doresc să aduc sincere mulțumiri conducătorului științific, domnului **Prof. Dr. Ing. Alexandru WOINAROSCHY** de la Departamentul Inginerie Chimică și Biochimică, Facultatea de Chimie Aplicată și Știința Materialelor, Universitatea POLITEHNICA din București, pentru competența și profesionalismul cu care m-a îndrumat de-a lungul anilor de studii doctorale și pe parcursul elaborării tezei de doctorat.

De asemenea, doresc să îmi exprim gratitudinea față de membrii comisiei de îndrumare: **Conf. Dr. Ing. Petrica IANCU, Prof. Dr. Ing. Raluca ISOPESCU, Prof. Dr. Ing. Oana Cristina PÂRVULESCU** pentru cunoștințele științifice împărtășite, sfaturile și sugestiile oferite.

Totodată mulțumesc managementului superior al RAJA S.A. Constanța pentru suportul moral și material pe care mi l-a acordat în perioada pregătirii tezei de doctorat.

CUPRINS

INTRODUCERE	4
PARTEA I. DATE DE LITERATURĂ	4
PARTEA A II-A CONTRIBUȚII ORIGINALE	6
CAPITOLUL 4. ANALIZA RISCULUI PRIVIND INSUFICIENTA CANTITATE DE APĂ POTABILĂ UTILIZÂND SOFTWARE-UL ANALYTICA	7
4.1. Diagrama de flux a Sistemului de alimentare cu apă Eforie Nord	7
4.2. Analiza riscurilor pentru Sistemului de alimentare cu apă Eforie Nord	7
4.3. Analiza cantitativă a riscului utilizând software-ul Analytica	8
4.4. Concluzii	11
CAPITOLUL 5. ANALIZA EFICACITĂȚII PROCESULUI DE TRATARE AL APEI ȘI IDENTIFICAREA FACTORILOR DE RISC	11
5.1. Descrierea Sistemului de alimentare cu apă Constanța, Litoral	11
5.2. Factori de risc identificați în procesul de tratare al apei la Complexul Palas Constanța	13
5.3. Analiza eficacității procesului de tratare a apei cu clor	13
5.4. Concluzii	20
CAPITOLUL 6. ANALIZA RISCULUI PRIVIND CONTAMINAREA APEI BRUTE CU NITRAȚI UTILIZÂND SOFTWARE-UL ANALYTICA	21
6.1. Descrierea Sistemului de alimentare cu apă Mangalia	21
6.2. Diagrama de flux	21
6.3. Analiza riscului pentru Sistemului de alimentare cu apă Mangalia	23
6.4. Analiza calitativă a riscului privind contaminarea apei brute cu nitrați utilizând software-ul Analytica	24
6.5. Concluzii	27
CAPITOLUL 7. PROGNOZĂ A EVOLUȚIEI POLUANȚILOR	28
7.1. Serii de timp, prognoză	28
7.2. Prognoza evoluției concentrației unui poluant într-o sursă de apă potabilă	29
7.2.1. Prognoză pe bază de model de regresie	29
7.2.2. Prognoza pe baza rețelelor neuronale multistrat	30
CAPITOLUL 8. CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII PRINCIPALE ȘI PERSPECTIVE ALE TEZEI DE DOCTORAT	31
8.1. Concluzii generale	31
8.2. Perspective ale tezei de doctorat	33
LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE ELABORATE PE PARCURSUL STAGIULUI DE DOCTORAT	34
BIBLIOGRAFIE	35

Cuvinte cheie: calitatea apei potabile, monitorizare, risc, prognoză, rețele neuronale multistrat

INTRODUCERE

Apa reprezintă factorul esențial pentru desfășurarea tuturor proceselor vitale, fiind indispensabilă proceselor metabolice.

Alimentarea cu apă este esențială pentru sănătatea publică, calitatea vieții, protecția mediului, activitatea economică și dezvoltarea durabilă. În acest context, este important să se asigure îmbunătățirea continuă a tuturor proceselor pentru a garanta calitatea și siguranța apei. Dezvoltarea cunoștințelor tehnice și preocupările tot mai mari cu privire la sănătatea publică și a mediului au contribuit la evoluții pozitive în sectorul apei în multe țări. (Roeger și Tavares, 2018).

Obiectivul principal al tezei este acela de a aduce contribuții originale prin studiile prezentate care au vizat identificarea, analiza și evaluarea riscurilor privind calitatea apei potabile, precum și prognoza evoluției poluanților în apa potabilă.

Realizarea obiectivului principal este posibilă prin urmărirea unor obiective secundare după cum urmează:

- studiul și analiza cercetărilor din literatura de specialitate
- stabilirea etapelor de tratare a apei și prezentarea acestora printr-o diagramă de flux
- identificarea și evaluarea riscurilor privind calitatea apei potabile pe fiecare etapă
- analiza cantitativă și calitativă a apei utilizând software-ul Analytica
- tratarea apei brute în vederea potabilizării
- prognoza evoluției concentrației unui poluant într-o sursă de apă potabilă utilizând rețelele neuronale multistrat.

Teza de doctorat este structurată în două părți: date de literatură și contribuții originale.

PARTEA I. DATE DE LITERATURĂ

În prima parte este detaliat studiul de literatură de specialitate în care sunt prezentate: în capitolul 2 managementul riscului cantității și calității apei potabile (evaluarea sistemului de alimentare cu apă potabilă, importanța utilizării diagramelor de flux, parametrii de calitate ai apei potabile, identificarea, evaluarea și analiza pericolelor și a riscurilor), iar în capitolul 3 monitorizarea surselor de apă și identificarea factorilor de risc.

Exprimat în termeni cuantificabili, riscul poate fi definit ca o funcție de probabilitate ca un eveniment nedorit să se întâmple, cu o anumită periodicitate sau în circumstanțe specifice (Maria, 2007). Pentru a atinge un nivel acceptabil de risc, este crucial să analizăm riscul și pe baza nivelului de risc identificat și cauzelor apariției acestuia să stabilim acțiuni de securitate pentru reducerea riscului (Lindhe ș.a., 2009).

Astfel, analiza de risc este o combinație a următoarelor elemente, pe care în mod obligatoriu trebuie să le conțină (Tabelul 2.9):

- probabilitatea de apariție a consecințelor (pericol, accident), a unui eveniment nedorit, cu o anumită periodicitate sau în anumite circumstanțe;
- gravitatea consecințelor potențiale (Maria, 2007; Woinaroschy și Iordache, 2019).

Tabelul 2.9 Analiza gravității și probabilității de apariție a consecințelor (Șchiopu, 2011; Mosse și Murray, 2015; Maria, 2007; Woinaroschy și Iordache, 2019)

GRAVITATE		GRAVITATEA CONSECINTELOR POTENȚIALE
1	NEGLIJABILE	Consecințe: niciun impact
2	MICI	Consecințe: leziuni minore și/sau îmbolnăviri, absența efectelor sau efecte minore, sau consecințe care apar numai după expunere la doze ridicate în perioade lungi de timp
3	MEDII	Consecințe: îmbolnăviri ușoare
4	MARI	Consecințe: prejudicii substanțiale și/sau îmbolnăviri rareori grave
5	GRAVE	Consecințe: fatale, îmbolnăviri grave, prejudicii incurabile, care se manifestă imediat sau după o perioadă mai lungă
PROBABILITATE DE APARIȚIE		PROBABILITATEA DE APARIȚIE A CONSECINTELOR
1	FOARTE RARE	Neglijabile: $P < 1/\text{an}$
2	RARE	Mică: $P = 1/\text{an}$
3	PROBABILITATE MODERATĂ	Medie: $P = 1/\text{lună}$
4	PROBABIL	Mare: $P \geq 1/\text{lună}$
5	FRECVENTE	Grave: $P > 1/\text{săptămână}$

Metoda de identificare a nivelului de risc (Șchiopu, 2011; Mosse și Murray, 2015) (funcție de gravitate și probabilitatea de apariție) este următoarea:

$$NR = P \times G$$

Tabelul 2.10 Identificarea nivelului de risc (Șchiopu, 2011; Mosse și Murray, 2015; Woinaroschy și Iordache, 2019)

Gravitate (G)	Nivel de risc				
Grave	5	10	15	20	25
Mare	4	8	12	16	20
Medie	3	6	9	12	15
Mică	2	4	6	8	10
Neglijabilă	1	2	3	4	5
Probabilitate de apariție (P)	Neglijabilă	Mică	Medie	Mare	Grave

Tabelul 2.11 Descrierea nivelului de risc (Șchiopu, 2011; Mosse și Murray, 2015; Woinaroschy și Iordache, 2019)

Nivel de risc (NR)	Clasa de risc
1 - 2	Nu este necesară nicio acțiune
3 - 5	A se ține sub observație/ a se avea în vedere controlul sursei de apă sau măsuri legate de tratarea apei
6 - 10	Este necesar controlul captării sau procesul de tratare/ o posibilă intervenție este necesară dacă tratarea nu este adecvată
12 - 16	Controlul de urgență al captărilor sau tratării și investiții dacă tratarea nu este adecvată
20 - 25	Controlul de urgență al captărilor sau tratării și investiții dacă tratarea nu este corespunzătoare

Identificarea riscurilor e bine să se facă indiferent dacă sursa acestora este sub controlul organizației sau nu, chiar dacă este posibil ca sursa sau cauza riscului să nu fie evidentă. Se recomandă ca identificarea riscului să cuprindă examinarea efectelor secundare ale consecințelor specifice, inclusiv efectele în cascadă și cumulative. De asemenea, se recomandă să se ia în considerare o gamă largă de consecințe, chiar dacă este posibil ca sursa sau cauza riscului să nu fie evidentă. Odată cu identificarea a ceea ce ar putea să se întâmple, este necesară luarea în considerare a cauzelor și scenariilor posibile care arată consecințele care se pot produce. Se recomandă să se ia în considerare toate cauzele și consecințele semnificative (Moldovan, 2018).

PARTEA A II-A CONTRIBUȚII ORIGINALE

În partea a doua este prezentată cercetarea științifică privind identificarea și evaluarea riscurilor în apa potabilă și prognoza evoluției poluanților în apa potabilă, fiind prezentate rezultatele experimentale obținute prin utilizarea software-ului Analytica și a rețelelor neuronale artificiale, precum și interpretarea și prelucrarea statistică a acestor date.

Capitolul 4 cuprinde studiul referitor la analiza riscului privind insuficienta cantitate de apă potabilă utilizând software-ul Analytica. În studiul de caz este prezentată capacitatea software-ului Analytica de a analiza și de a anticipa cererea de apă într-un oraș turistic sezonier, unde activitățile economice și numărul populației sunt destul de diferite între sezonul rece (octombrie - aprilie) și sezonul cald (mai - septembrie).

În capitolul 5 este studiată analiza eficacității procesului de tratare al apei cu clor și identificarea factorilor de risc. Pe baza rezultatelor acestui studiu, se recomandă monitorizarea periodică a concentrației clorului rezidual liber și a indicatorilor microbiologici la ieșire din stația de tratare și în sistemul de distribuție a apei pentru a se asigura că reziduurile de clor de 0,1–0,5 mg/L sunt disponibile.

Capitolul 6 cuprinde analiza riscului privind contaminarea apei brute cu nitrați utilizând software-ul Analytica. În acest studiu este expusă capacitatea software-ului Analytica de a analiza evoluția indicatorului nitrat la nivelul orașului Mangalia, analiză ce poate fi folosită ca intrare în analizele de management și pentru analiza procedurilor de situații de urgență privind contaminarea apei cu nitrați.

Cercetarea științifică din capitolul 7 prezintă prognoza evoluției poluanților prin utilizarea rețelelor neuronale multistrat, o modalitate promițătoare pentru prognozele din domeniul managementului calității apei potabile. De asemenea sunt prezentate avantajele și dezavantajele modelelor de regresie și a rețelelor neuronale artificiale pentru realizarea prognozei evoluției poluanților în apa potabilă.

CAPITOLUL 4

ANALIZA RISCULUI PRIVIND INSUFICIENTA CANTITATE DE APĂ POTABILĂ UTILIZÂND SOFTWARE-UL ANALYTICA

4.1. Diagrama flux a Sistemului de alimentare cu apă Eforie Nord

Alimentarea cu apă a zonei de aprovizionare Eforie Nord este asigurată din Complexul de înmagazinare-pompare Eforie Nord.

În acest rezervor se înmagazinează apa din sursele de adâncime Cișmea I, Cișmea II și din sursa de apă de suprafață Galeșu, având ca intermediari Complexele de înmagazinare apă Palas și Constanța Sud.

În figura de mai jos (Fig. 4.1) este prezentată diagrama flux pentru sistemul de aprovizionare cu apă Eforie Nord.

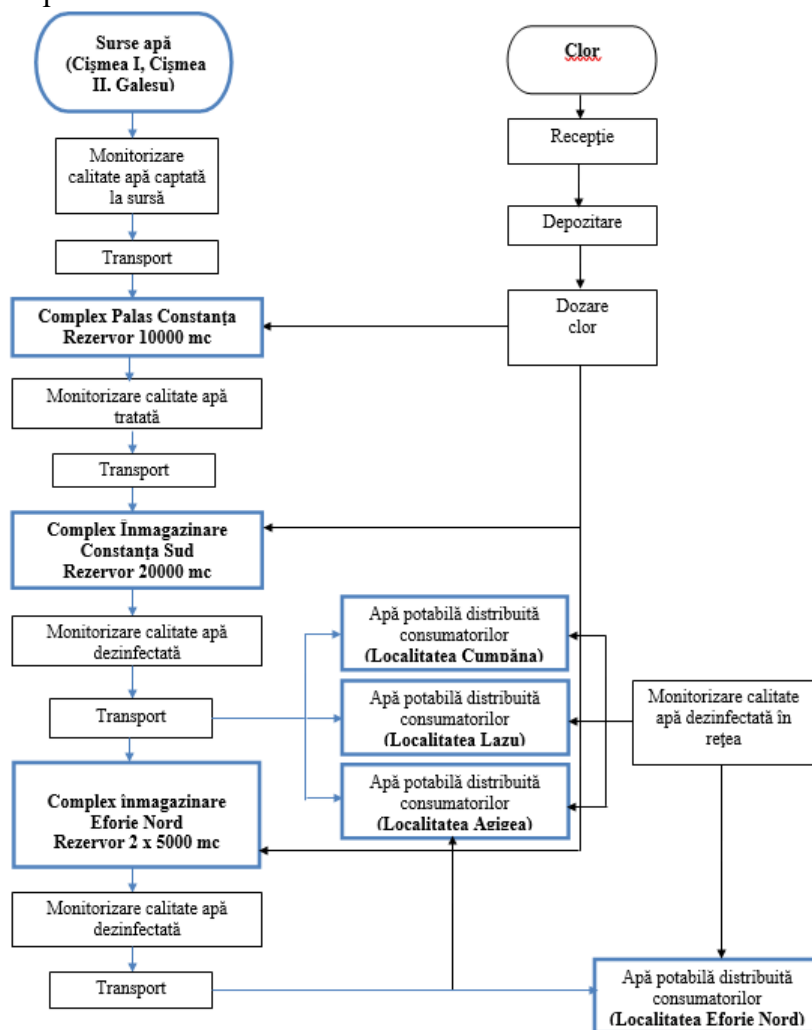


Fig. 4.1 Diagrama flux a Sistemului de aprovizionare cu apă Eforie Nord
(Woinaroschy și Iordache, 2019)

4.2. Analiza riscurilor pentru Sistemului de alimentare cu apă Eforie Nord

Identificarea pericolelor și a riscurilor potențiale atât la sursa de apă cât și în sistemul de tratare și distribuție a apei, preocupările tot mai mari cu privire la sănătatea publică și a mediului contribuie la evoluții pozitive recente în sectorul apei în multe țări (Roeger A. și Tavares A.F., 2018).

Analiza riscurilor este etapa care urmează după identificarea pericolelor pe fluxul apei. Riscurile sunt legate de furnizarea către utilizatori a unei ape de o calitate inacceptabilă, care pot duce la consecințe grave asupra sănătății utilizatorilor.

Riscurile sunt evaluate în funcție de cauzele aparițiilor, consecințele potențiale și acțiunile de securitate luate pentru a preveni contaminarea apei (tabelul 4.1).

Tabelul 4.1 Analiza riscului privind insuficienta cantitate de apă potabilă furnizată din Sistemul de alimentare cu apă Eforie Nord (Woinaroschy și Iordache, 2019; Bostian ș.a., 2015; Janmaat, 2017; Fornib ș.a., 2016; Sandu și Racovițeanu, 2002; Cavalierea ș.a., 2017)

Risc potențial	Cauzele apariției riscurilor	Consecințe potențiale	Nivelul de risc	Acțiuni de securitate	NR rezidual propus
PROCESUL: CAPTARE ȘI TRANSPORT APĂ BRUTĂ					
Etapă: Captare și transport apă brută de suprafață/ subteran					
Insuficienta cantitate de apă potabilă distribuită către consumatori	- Colmatarea surselor de apă - Scăderea nivelului de apă de suprafață datorită secetei	- Scăderea nivelului de sănătate și igienă a utilizatorilor	G = 3 P = 1 NR = 3	- Asigurarea cantității de apă potabilă necesară în raport cu variația numărului de consumatori - Monitorizarea permanentă a surselor de apă	3

4.3. Analiza cantitativă a riscului utilizând software-ul Analytica

Analytica oferă o analiză integrată a riscurilor și a sensibilității pentru analiza modelelor cu intrări incerte și facilități puternice pentru simulări dinamice dependente de timp.

Analytica este un software pentru evaluarea riscurilor în diferite aplicații. Folosind o abordare vizuală, punct și clic, prin desenarea nodurilor și a săgeților pentru a descrie relațiile dintre componentele modelului, permite descrierea naturii calitative esențiale a problemei fără a se pierde în detalii. Pe măsură ce modelul se dezvoltă și înțelegerea problemei devine clară, pot fi definite detaliile cantitative exacte ale modelului. (Lumina, 2015)

În mod ideal, în perioadele în care apa brută are o calitate și cantitate constantă, un sistem de aprovizionare cu apă va funcționa continuu, fără modificări ale debitului sau alte condiții de funcționare pentru procesele individuale de tratare. În acest mod, un sistem optimizat va avea cea mai bună oportunitate de a produce în mod constant apă potabilă sigură. Cu toate acestea, condițiile ideale nu se aplică întotdeauna existând diverși factori care influențează calitatea și cantitatea apei necesare (fig. 4.2). (Mosse și Murray, 2015; Woinaroschy și Iordache, 2019)

Apa potabilă distribuită în Localitatea Eforie Nord este provenită din sursele de subteran Cișmea I și II și din sursa de apă de suprafață Galeșu, astfel riscul privind insuficienta cantitate de apă potabilă distribuită către consumatori are drept cauze colmatarea surselor de apă, sau scăderea nivelului de apă de suprafață datorită secetei, lipsei precipitațiilor. (Xie ș.a., 2016; Lanz și Provins, 2016) O consecință potențială a acestui risc poate fi scăderea nivelului de sănătate și igienă a utilizatorilor, iar acțiunile de securitate care pot fi luate sunt: asigurarea cantității de apă potabilă necesară în raport cu variația numărului de consumatori și monitorizarea permanentă a surselor de apă.

La momentul actual, cantitatea de apă de suprafață utilizată este în procent de maxim 20% din totalul cantității de apă (Woinaroschy și Iordache, 2019).

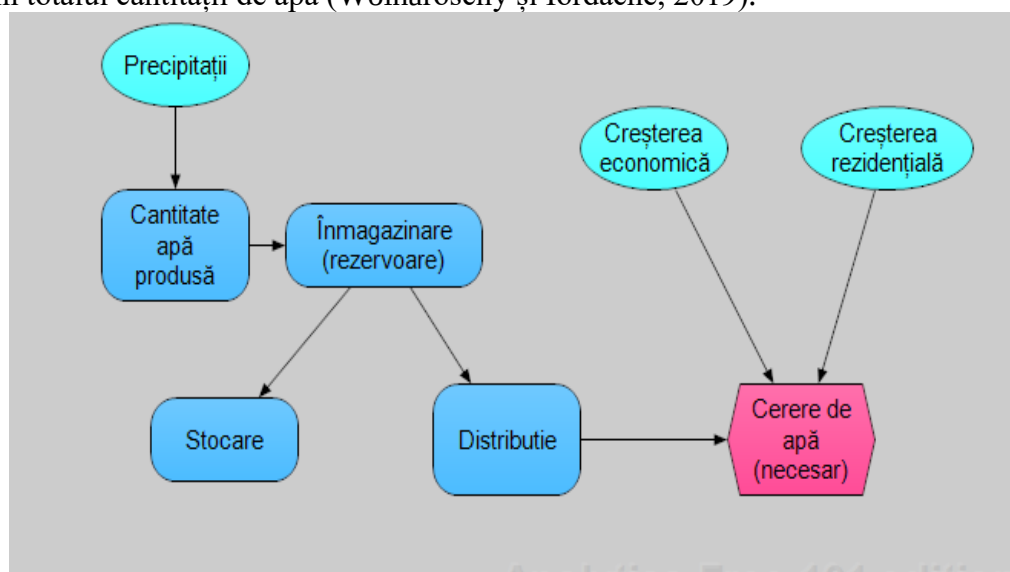


Fig. 4.2 Model Analytica privind factorii care influențează cantitatea apei potabile

Alimentarea cu apă potabilă reprezintă o preocupare continuă și dacă asigurarea cu apă de subteran este relativ stabilă, în cazul apei de suprafață, un factor important care influențează cantitatea de apă sunt precipitațiile (fig. 4.3).

Alimentarea cu apă de suprafață este vulnerabilă la diminuarea cantității de apă în perioadele de precipitații reduse. În acest caz, variabila incertă cheie sunt precipitațiile, care variază în funcție de anotimp. (www.vremea.ro, 2018; Woinaroschy și Iordache, 2019)

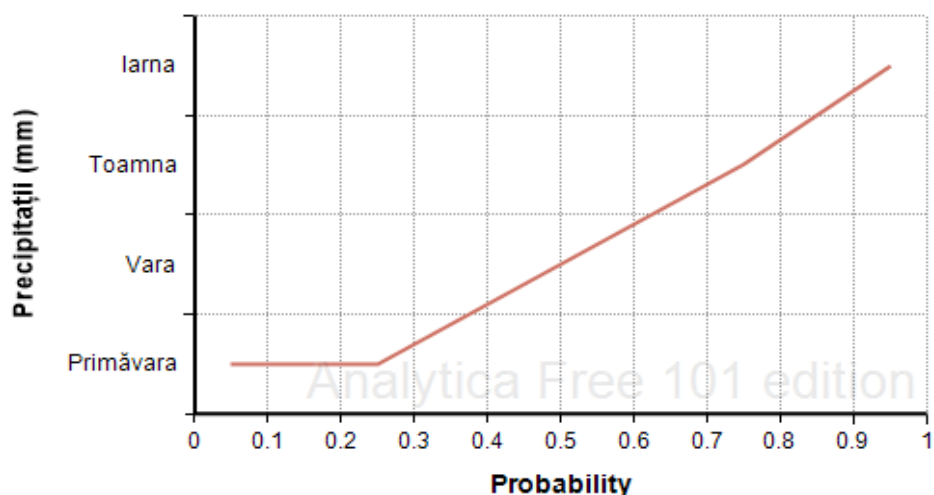


Fig. 4.3 Model Analytica privind variația precipitațiilor

Înmagazinarea apei este asigurată într-un rezervor de 20000 mc (Complex înmagazinare Constanța Sud) și într-un rezervor de 10000 mc (2 cuve a câte 5000 mc Eforie Nord).

O problemă importantă de care trebuie să ținem cont este creșterea economică (fig. 4.4) prin dezvoltarea turismului zonei și automat creșterea rezidențială (fig. 4.5). (www.primariaeforie.ro, 2018) În mod uzual, în perioada estivală, numărul utilizatorilor este de patru ori mai mare decât în perioada sezonului rece și automat necesarul de apă potabilă este de patru ori mai mare (Woinaroschy și Iordache, 2019).

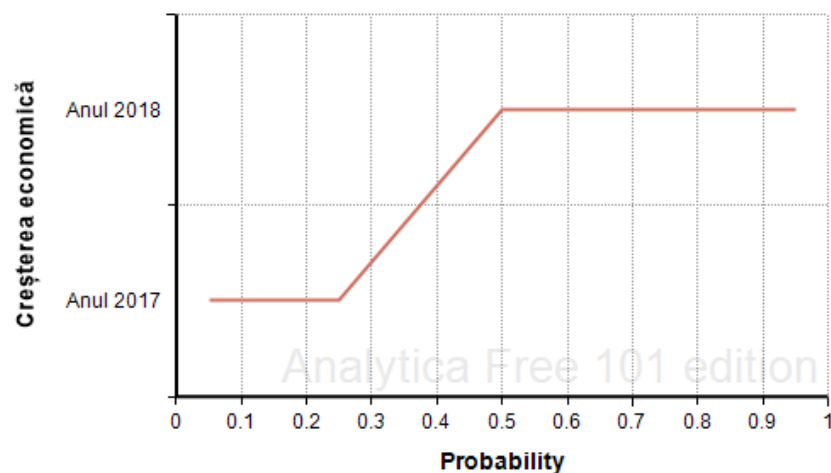


Fig. 4.4 Model Analytica privind creșterea economică

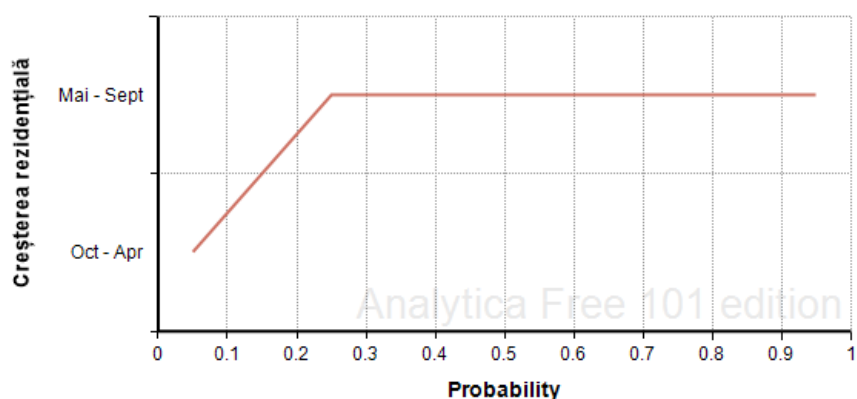


Fig. 4.5 Model Analytica privind creșterea rezidențială

Dacă în perioada sezonului rece (octombrie - aprilie) volumul de apă facturat este de aproximativ 41000 mc lunar, în perioada sezonului estival (mai – septembrie) la nivelul anului 2017 a fost de aproximativ 184000 mc lunar și se preconizează o creștere la nivelul anului 2018 de până la 200000 mc lunar datorită dezvoltării turismului zonei (fig. 4.6) (Woinaroschy și Iordache, 2019).

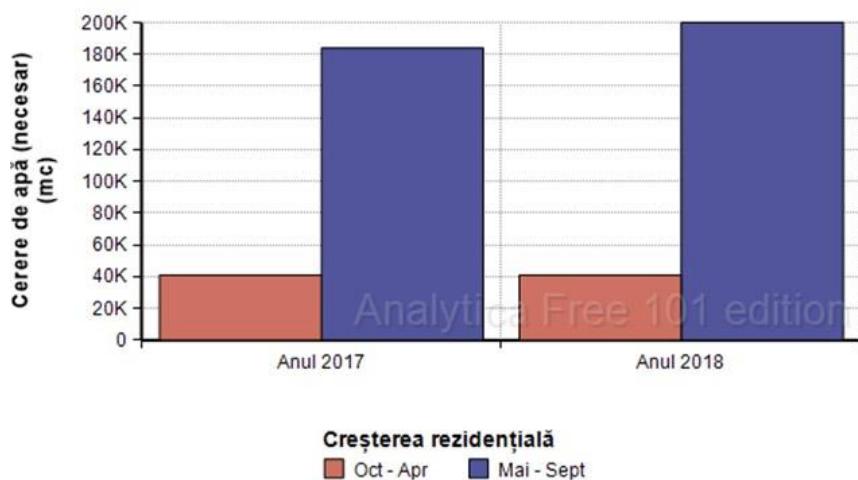


Fig. 4.6 Model Analytica privind variația necesarului de apă în funcție de creșterea rezidențială

Analiza prezentată poate permite operatorilor de apă să înțeleagă probabilitățile și potențialele impacturi asupra resurselor de apă. Poate fi folosită ca intrare în analizele de management, pentru analiza procedurilor de situații de urgență privind lipsa de apă și pentru a crea un nou proces de alocare a apei și de monitorizare a condițiilor resurselor de apă în timp real (Woinaroschy și Iordache, 2019; Roebeling, 2014).

4.4 Concluzii

Evaluarea riscurilor trebuie să o tratăm ca pe un management preventiv pentru a putea asigura o apă potabilă sigură din punct de vedere calitativ și cantitativ, ținând cont de următoarele elemente principale:

- Evaluarea sistemului de management,
- Stabilirea ca principal obiectiv a preocupărilor privind sănătatea utilizatorilor
- Monitorizarea operațională pe etape, de la captarea apei brute și până la distribuția apei potabile către utilizatori, a măsurilor de control (acțiunilor de securitate) stabilite
- Elaborarea, documentarea, comunicarea și evaluarea periodică a planurilor de monitorizare a sistemului de management, a planurilor de evaluare a riscurilor, care să descrie acțiunile, măsurile care trebuie luate în condiții normare de exploatare și incidente potențiale, inclusiv modernizarea și îmbunătățirea.

Prin elaborarea și urmărirea respectării unui plan de evaluare a riscurilor ne asigurăm că apa potabilă distribuită este conformă cu cerințele legale în vigoare.

Calitatea apei potabile poate fi controlată prin combinarea protecției surselor de apă, controlul proceselor de tratare și gestionarea distribuției apei. Orientările trebuie să fie adecvate pentru circumstanțele naționale, regionale și locale, care necesită adaptare la circumstanțele de mediu, sociale, economice și culturale și la stabilirea priorităților.

Măsurile de control (acțiunile de Securitate) trebuie să aibă un regim de monitorizare clar definit care să valideze eficiența și să monitorizeze performanța în funcție de limitele stabilite. În urma evaluărilor periodice efectuate, trebuie inițiate rapoarte de neconformitate, stabilite acțiuni corective pentru a elimina cauzele apariției neconformităților. Acțiunile de monitorizare operațională se realizează la intervale de timp planificate și în momentul aparițiilor schimbărilor planificate sau neplanificate ale sistemului de alimentare cu apă.

Dezvoltarea unui plan de evaluare a riscului nu este un scop în sine, ci un mijloc pentru un scop. Un plan de evaluare a riscului este util doar dacă este implementat, urmărit și revizuit periodic (WHO, 2009).

În studiul de caz a fost prezentată capacitatea software-ului Analytica de a analiza și de a anticipa cererea de apă într-un oraș turistic sezonier, unde activitățile economice și numărul populației sunt destul de diferite între sezonul rece (octombrie - aprilie) și sezonul cald (mai - septembrie) (Woinaroschy și Iordache, 2019).

CAPITOLUL 5

ANALIZA EFICACITĂȚII PROCESULUI DE TRATARE AL APEI ȘI IDENTIFICAREA FACTORILOR DE RISC

5.1 Descrierea Sistemului de alimentare cu apă Constanța, Litoral

Complexul de tratare, înmagazinare, pompare Palas Constanța este situat în zona industrială a orașului Constanța, pe b-dul Aurel Vlaicu, cartier Palas, având o suprafață de cca 7,8 ha. Complexul poate prelua întreg debitul captat din sursa de suprafață Galeșu, precum și apa captată din sursele de subteran Cișmea I și II. Volumul de apă înmagazinat în cadrul complexului este repompă în rețeaua de distribuție a orașului Constanța, precum și în sistemul de aprovizionare cu apă Litoral. (Oglindă, 2019)

În fig. 5.1 este prezentată diagrama de flux a Complexului de tratare, înmagazinare, pompare Palas Constanța

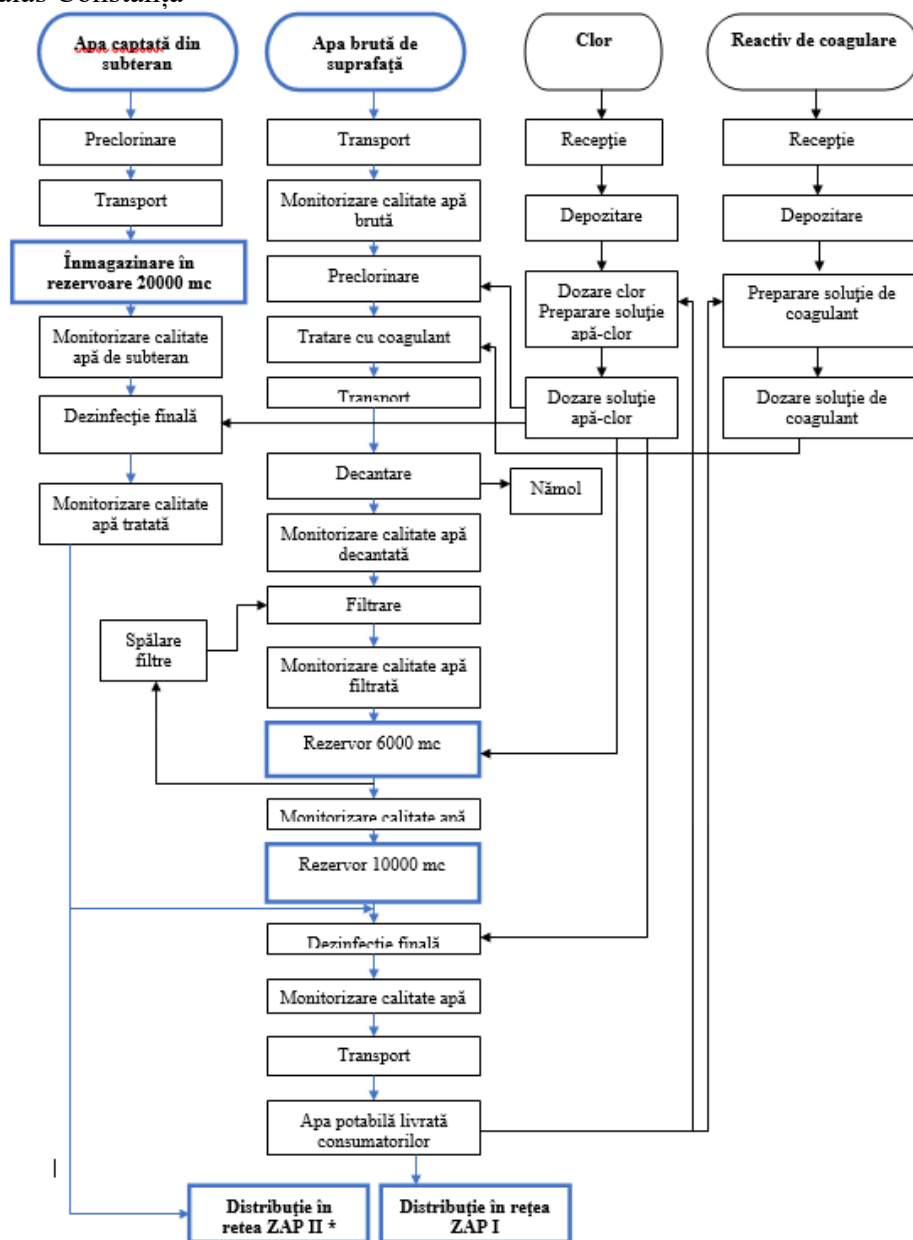


Fig. 5.1 Diagrama de flux a Complexului de tratare, înmagazinare, pompare Palas Constanța

Diagrama de flux (fig. 5.1) furnizează o reprezentare grafică a procesului de tratare a apei.

Diagrama de flux prezentată în fig. 5.1 include:

- succesiunea și interacțiunea etapelor de tratare
- punctele de intrare în flux a materiilor prime (apa brută de subteran și suprafață), ingredientelor (clorul și soluția de coagulant)
- etapa unde are loc tratarea apei
- etapele de monitorizare a apei
- etapa finală de distribuție a apei

5.2 Factori de risc identificați în procesul de tratare al apei la Complexul Palas Constanța

Metoda cea mai ieftină și eficientă de a obține o apă potabilă sigură pentru consum este menținerea unui management al riscului, bazat pe prevenție, alături de o monitorizare corespunzătoare a funcționării sistemului de alimentare cu apă. Deoarece fiecare etapă a sistemului de alimentare cu apă poate fi supusă unei contaminări, este importantă identificarea factorilor de risc, a cauzelor aparițiilor acestora și a acțiunilor de securitate care trebuie aplicate pentru ținerea sub control a riscurilor (WHO, 2014).

În tabelul 5.1 sunt identificați factorii de risc în etapa de clorinare a apei, potențialele cauze ale aparițiilor riscurilor și eventualele măsuri de control/ acțiuni de securitate care trebuie luate pentru a putea ține sub control riscurile.

Tabelul 5.1 Identificarea factorilor de risc în etapa de clorinare (ESA, 2018; Ioniță, 2018; Mosse și Murray, 2015)

ETAPA	FACTORI DE RISC	CAUZELE APARIȚIILOR RISCURILOR	MĂSURI/ ACȚIUNI DE SECURITATE
Clorinare	- Ineficiența dezinfectării apei datorită subdozării concentrației de clor - Depășirea conținutului de clor rezidual datorită supradozării clorului	- Conștientizare și instruire insuficientă a personalului - Defecțiuni neraportate ale echipamentelor de dozare a clorului - Mentenanța necorespunzătoare a aparatului de dozare a clorului - Avarii în rețeaua de distribuție și lipsa spălării și dezinfectării conductei de apă la terminarea lucrării	- Monitorizarea calității apei - Respectarea dozei de clor stabilite - Verificarea periodică a echipamentelor de dozare a clorului - Instruirea și conștientizarea personalului - Spălarea și dezinfectarea conductei de apă în urma unei avarii în rețeaua de distribuție

Cel mai mare risc implicat în activitatea de clorinare a apei este cantitatea insuficientă de clor rezidual pentru distrugerea microorganismelor din apă.

Pentru minimizarea riscurilor pentru sănătatea utilizatorilor, trebuie întreprinse periodic activități de monitorizare a calității apei potabile, de verificare a instalațiilor de clorinare și de instruire a personalului (WHO, 2014).

5.3 Analiza eficacității procesului de tratare a apei cu clor

În ultimii ani, apa a devenit un subiect al politicii internaționale iar menținerea parametrilor de calitate ai apei potabile furnizate consumatorilor, în intervalul specificat de cerințele legale și reglementare în vigoare, este cu certitudine o prioritate.

Procedeele chimice de dezinfecție a apei se caracterizează prin utilizarea unor substanțe chimice cu caracter bactericid, cum ar fi: clorul, dioxidul de clor, hipocloritul de sodiu, ozonul, razele ultraviolete. Dezinfectanții cel mai frecvent utilizați pe plan mondial sunt clorul și ozonul (Water RA, 2015).

Calitatea apei potabile variază de-a lungul sistemului, așa că evaluarea trebuie să aibă ca scop verificarea calității apei potabile la robinetul consumatorului, prin comparare cu valorile limită stabilite de cerințele legale în vigoare. (Sandu și Racovițeanu, 2002)

Fiecare dintre agenții de dezinfectare are un spectru specific de acțiune variabil în timp și condiționat de calitatea apei brute (Farooq S. ș.a., 2008).

În tabelul 5.2 sunt prezentate avantajele și dezavantajele utilizării celor mai frecvenți agenți de dezinfectare.

Tabelul 5.2 Dezinfectanți utilizați în procesul de tratare al apei (Sandu M. și Racovițeanu G., 2002; American Chemistry Council, 2018)

Agentul de dezinfectare	Avantaje	Dezavantaje
Clor	Este remanent (rezidual) în rețeaua de distribuție Eficiența microbiologică a dezinfecției ridicată Costuri reduse Termen de valabilitate mare (1 an)	Necesită timp de contact mare. Potențial de descompunere destul de rapid.
Hipoclorit de sodiu	Este remanent (rezidual) în rețeaua de distribuție Eficiența microbiologică a dezinfecției ridicată Costuri reduse	Necesită timp de contact mare. Potențial de descompunere destul de rapid. Termen de valabilitate scurt (45 zile)
Dioxid de clor	Nu formează sub-produși de tip trihalometani. Are o putere oxidantă bună, oxidează fenoli și este foarte eficace la pH peste 8,5. Este remanent (rezidual) în rețeaua de distribuție	Necesită preparare și dozare instantanee. La doze prea mari poate forma clorați. Costuri mai mari în raport cu clorul. Este instabil și exploziv la temperaturi de peste 40°C
Ozon	Are cea mai mare capacitate de oxidare Eliminarea totală a compușilor biologici, microbiologici și micropoluanți. Eliminare pesticide.	Necesită preparare și dozare instantanee. Consumuri energetice mari. Poate forma subproduși de tip bromati sau aldehide. Nu este remanent (rezidual) în rețeaua de distribuție.
Radiații ultraviolete	Sterilizarea cu UV este sigură și eficientă. Nu modifică gustul, mirosul, pH-ul și culoarea apei. Eficiența microbiologică a dezinfecției ridicată Dezinfecția se face imediat (3-5 secunde)	Eficientă numai pentru rețele scurte de alimentare cu apă, nefiind potrivită pentru sisteme mari.

Clorul este utilizat în mod obișnuit pentru dezinfectarea apei, datorită eficienței sale ridicate și a costurilor relativ mici în comparație cu alți dezinfectanți. Pe întreg sistemul de distribuție trebuie monitorizată calitatea apei în mod constant pentru a verifica prezența clorului rezidual liber. Pierderea reziduurilor de clor face ca sistemul de distribuție să fie vulnerabil la contaminarea microbiană (Water RA, 2015; Farooq S. ș.a., 2008).

În momentul introducerii clorului în apă brută se formează acid hipocloros (HOCl) și acid clorhidric (HCl). Acidul hipocloros (HOCl) disociază în ioni de hidrogen (H^+) și ioni de hipoclorit (ClO^-) care reprezintă elementul activ.

Clorul, introdus în apă, acționează în mai multe etape. În prima etapă sunt oxidate substanțele minerale (sărurile de fier, magneziu, nitrați, nitriți ș.a.). În următoarea etapă, cantitatea de clor rămasă acționează asupra amoniacului (NH_4) formând cloramine (NH_2Cl , $NHCl_2$, NCl_3). Acestea dau apei un gust și miros neconform. Continuarea introducerii clorului în apă conduce la oxidarea cloraminelor. După această etapă se înregistrează o creștere a clorului rezidual liber care este destinat pentru dezinfectare (Gibbs M.S. ș.a., 2006; American Chemistry Council, 2018).

Etapile dezinfectării și dozele necesare de clor sunt stabilite, întotdeauna, pe baza analizelor de laborator. Probele de apă sunt prelevate atât din stația de tratare, pe parcursul etapelor de tratare, la ieșirea din stație, cât și din rețeaua de distribuție (Water RA, 2015; WHO, 2014).

Studiul privind capabilitatea procesului de tratare a apei în vederea potabilizării cu clor constă în monitorizarea clorului rezidual liber, bacterii coliforme, E. Coli și Enterococi în perioada 01.2013 – 12.2018 pentru două puncte de prelevare: la intrare în rețeaua de alimentare cu apă (Complexul de tratare apă Palas Constanța) și spre capătul rețelei de alimentare (rețea Eforie Nord). Menționez faptul că legislația în vigoare, respectiv Legea 458/2002 republicată în 03.09.2017 privind calitatea apei potabile specifică limita admisă pentru indicatorul Clor rezidual liber de 0,1 – 0,5 mg/L în rețeaua de distribuție (branșament, capăt de rețea), iar pentru indicatorii bacteriologici limita admisă este 0.

Clorul este utilizat pentru dezinfectarea apei și astfel scăderea, eliminarea indicatorilor bacteriologici: bacterii coliforme, coliformi fecali, E. Coli, etc.

S-au monitorizat un număr de 576 probe de apă în perioada 01.2013 – 12.2018 în ceea ce privește clorul rezidual liber, bacteriile coliforme, E. Coli și Enterococi, valorile obținute ale indicatorilor fiind prezentate în tabelul 5.3.

Tabelul 5.3 Valorile indicatorilor Clor rezidual liber, Bacteriile coliforme, E. Coli și Enterococi monitorizați în perioada 2013 - 2018

Nr. crt.	An/ Luna	Indicatori apă potabilă plecare Complex Palas Constanța				Indicatori apă potabilă rețea Eforie Nord			
		Clor rezidual liber mg/L	Bact. col., nr. /100 ml	E. Coli, nr./ 100 ml	Enterococi, nr./100 ml	Clor rezidual liber mg/L	Bact. col., nr. /100 ml	E. Coli, nr./ 100 ml	Enterococi, nr./100 ml
1.	2013 ian	0,5	0	0	0	0	0	0	0
2.	febr	0,51	0	0	0	0	0	0	0
3.	mar	0,74	0	0	0	0,2	0	0	0
4.	apr	0,56	0	0	0	0,1	0	0	0
5.	mai	0,65	0	0	0	0	0	0	0
6.	iun	0,47	0	0	0	0	16	14	17
7.	iul	0,44	0	0	0	0,1	0	0	0
8.	aug	0,51	0	0	0	0,3	0	0	0
9.	sept	0,25	0	0	0	0,2	0	0	0
10.	oct	0,73	0	0	0	0,3	0	0	0
11.	nov	0,73	0	0	0	0,4	0	0	0
12.	dec	0,55	0	0	0	0	0	0	0
13.	2014 ian	0,46	0	0	0	0	0	0	0
14.	febr	0,54	0	0	0	0	0	0	0

Nr. crt.	An/ Luna	Indicatori apă potabilă plecare Complex Palas Constanța				Indicatori apă potabilă rețea Eforie Nord			
		Clor rezidual liber mg/L	Bact. col., nr./100 ml	E. Coli, nr./ 100 ml	Enterococi, nr./100 ml	Clor rezidual liber mg/L	Bact. col., nr./100 ml	E. Coli, nr./ 100 ml	Enterococi, nr./100 ml
15.	mar	0,43	0	0	0	0	0	0	0
16.	apr	0,59	0	0	0	0	0	0	0
17.	mai	0,39	0	0	0	0	0	0	0
18.	iun	0,51	0	0	0	0,1	0	0	0
19.	iul	0,29	0	0	0	0,2	0	0	0
20.	aug	0,48	0	0	0	0,3	0	0	0
21.	sept	0,51	0	0	0	0,1	0	0	2
22.	oct	0,64	0	0	0	0	0	0	0
23.	nov	0,54	0	0	0	0	0	0	0
24.	dec	0,5	0	0	0	0	0	0	0
25.	2015 ian	0,46	0	0	0	0	0	0	0
26.	febr	0,63	0	0	0	0	0	0	0
27.	mar	0,45	0	0	0	0	0	0	0
28.	apr	0,39	0	0	0	0	0	0	0
29.	mai	0,56	0	0	0	0	0	0	0
30.	iun	0,29	0	0	0	0,2	6	5	0
31.	iul	0,47	0	0	0	0,1	0	0	0
32.	aug	0,54	0	0	0	0,3	0	0	0
33.	sept	0,5	0	0	0	0,2	0	0	0
34.	oct	0,56	0	0	0	0,3	0	0	0
35.	nov	0,65	0	0	0	0,1	0	0	0
36.	dec	0,56	0	0	0	0,1	0	0	0
37.	2016 ian	0,6	0	0	0	0,1	0	0	0
38.	febr	0,6	0	0	0	0,1	0	0	0
39.	mar	0,4	0	0	0	0,1	0	0	0
40.	apr	0,5	0	0	0	0,4	0	0	0
41.	mai	0,5	0	0	0	0,2	0	0	0
42.	iun	0,4	0	0	0	0,4	0	0	0
43.	iul	0,6	0	0	0	0,4	0	0	0
44.	aug	0,23	0	0	0	0,1	0	0	0
45.	sept	0,5	0	0	0	0,4	0	0	0
46.	oct	0,5	0	0	0	0,2	0	0	0
47.	nov	0,6	0	0	0	0,5	0	0	0
48.	dec	0,4	0	0	0	0,5	0	0	0
49.	2017 ian	0,6	0	0	0	0,2	0	0	0
50.	febr	0,4	0	0	0	0,3	0	0	0
51.	mar	0,4	0	0	0	0,1	0	0	0
52.	apr	0,5	0	0	0	0,4	0	0	0
53.	mai	0,3	0	0	0	0,2	0	0	0
54.	iun	0,5	0	0	0	0,2	0	0	0
55.	iul	0,4	0	0	0	0,3	0	0	0
56.	aug	0,3	0	0	0	0,2	0	0	0
57.	sept	0,4	0	0	0	0,2	0	0	0
58.	oct	0,5	0		0	0,1	0	0	0
59.	nov	0,3	0	0	0	0,1	0	0	0

Nr. crt.	An/ Luna	Indicatori apă potabilă plecare Complex Palas Constanța				Indicatori apă potabilă rețea Eforie Nord			
		Clor rezidual liber mg/L	Bact. col., nr./100 ml	E. Coli, nr./100 ml	Enterococi, nr./100 ml	Clor rezidual liber mg/L	Bact. col., nr./100 ml	E. Coli, nr./100 ml	Enterococi, nr./100 ml
60.	dec	0,6	0	0	0	0,1	0	0	0
61.	2018 ian	0,5	0	0	0	0,1	0	0	0
62.	febr	0,4	0	0	0	0,1	0	0	0
63.	mar	0,6	0	0	0	0,2	0	0	0
64.	apr	0,4	0	0	0	0,1	0	0	0
65.	mai	0,5	0	0	0	0,2	0	0	0
66.	iun	0,2	0	0	0	0,1	0	0	0
67.	iul	0,4	0	0	0	0,3	0	0	0
68.	aug	0,3	0	0	0	0,2	0	0	0
69.	sept	0,3	0	0	0	0,1	0	0	0
70.	oct	0,5	0	0	0	0,4	0	0	0
71.	nov	0,6	0	0	0	0,5	0	0	0
72.	dec	0,5	0	0	0	0,3	0	0	0

În fig. 5.2 este prezentată evoluția indicatorului clor rezidual liber la plecare din Complexul de tratare, înmagazinare, pompare Palas Constanța (albastru) și în rețeaua localității Eforie Nord (portocaliu).

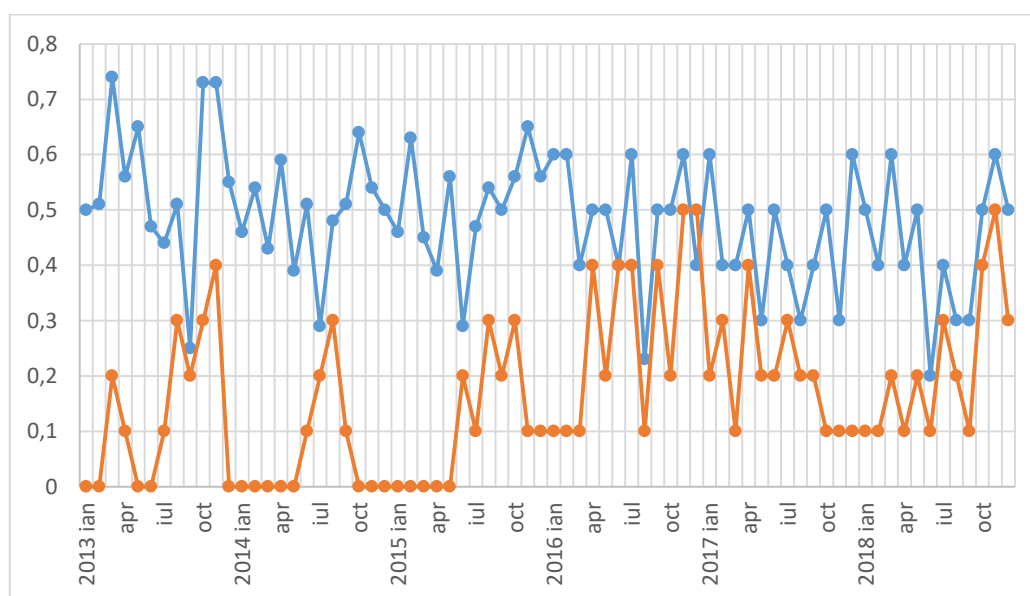


Fig. 5.2 Evoluția indicatorului clor rezidual liber în perioada 2013 – 2018

Se poate observa că în perioada 2013 – 2015 indicatorul clor rezidual liber în rețea a atins în mod frecvent valoarea 0, ceea ce înseamnă în primul rând existența riscului de îmbolnăvire a populației prin creșterea valorilor indicatorilor bacteriologici și în al doilea rând neconformitate privind nerespectarea reglementărilor legale în vigoare.

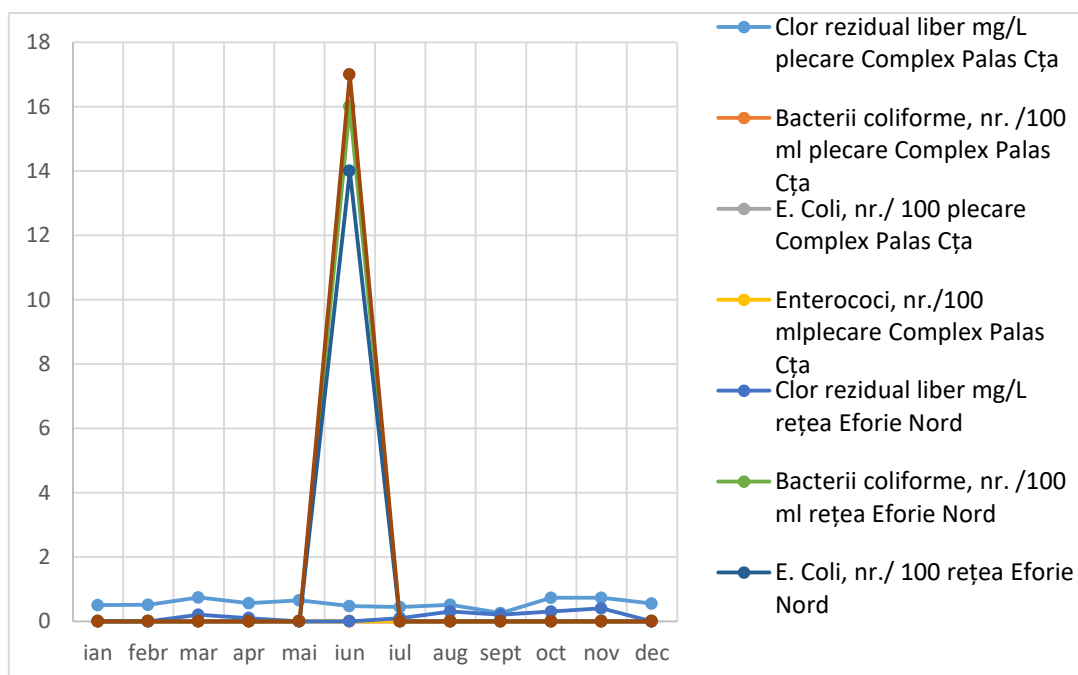


Fig. 5.3 Evoluția indicatorilor clor rezidual liber, bacteriile coliforme, E. Coli și Enterococi la nivelul anului 2013

În fig. 5.3 este prezentată evoluția indicatorului clor rezidual liber la plecarea din Complexul de tratare, înmagazinare, pompare Palas Constanța, în rețeaua localității Eforie Nord și indicatorilor bacteriologici monitorizați: bacteriile coliforme, E. Coli și Enterococi în rețeaua localității Eforie Nord în anul 2013.

Se observă faptul că la nivelul lunii iunie 2013 s-au înregistrat depășiri ale concentrațiilor limită admisibile ale indicatorilor bacterii coliforme, E. Coli și Enterococi datorită lipsei clorului în apă ceea ce ar fi putut duce la îmbolnăvirea utilizatorilor.

Acțiunile de securitate trebuie identificate atât în punctul în care e depistată neconformitatea cât și în aval, pentru a putea fi identificată și cauza apariției neconformității.

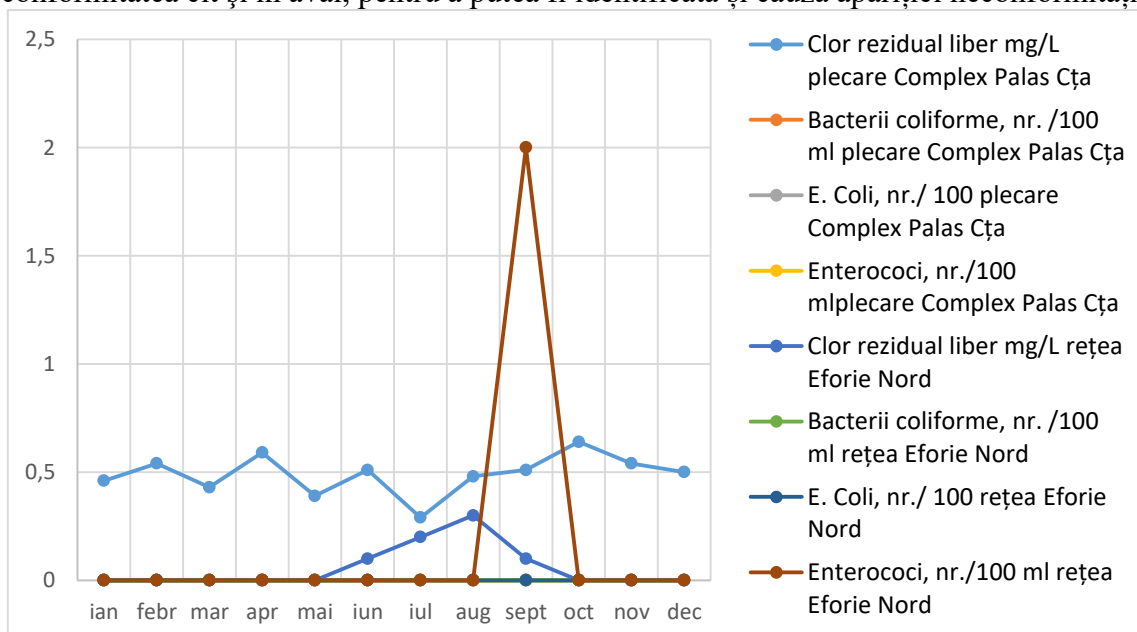


Fig. 5.4 Evoluția indicatorilor clor rezidual liber, bacteriile coliforme, E. Coli și Enterococi la nivelul anului 2014

În fig. 5.4 este prezentată evoluția indicatorului clor rezidual liber la plecarea din Complexul de tratare, înmagazinare, pompare Palas Constanța, în rețeaua localității Eforie Nord, și indicatorilor bacteriologici monitorizați: bacteriile coliforme, E. Coli și Enterococi în rețeaua localității Eforie Nord în anul 2014.

De asemenea, se observă faptul că la nivelul lunii septembrie 2014 s-a înregistrat o depășire a concentrațiilor limită admisibile la indicatorul Enterococi în rețeaua localității Eforie Nord ceea ce ar fi putut duce la îmbolnăvirea utilizatorilor.

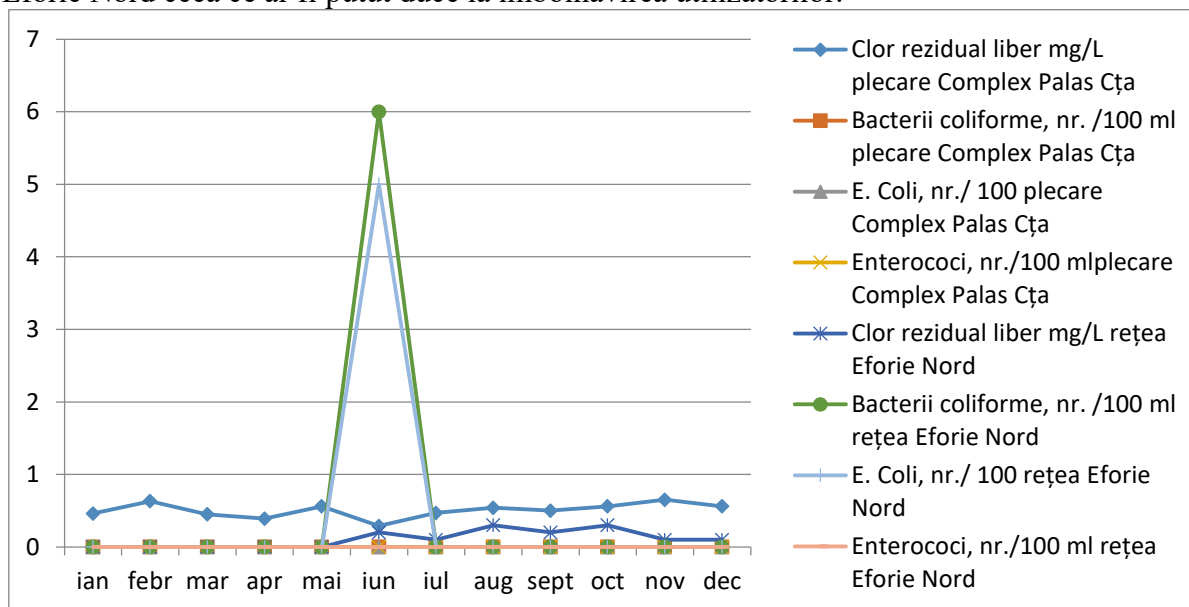


Fig. 5.5 Evoluția indicatorilor clor rezidual liber, bacteriile coliforme, E. Coli și Enterococi la nivelul anului 2015

În fig. 5.5 este prezentată evoluția indicatorului clor rezidual liber la plecarea din Complexul de tratare, înmagazinare, pompare Palas Constanța, în rețeaua localității Eforie Nord, și indicatorilor bacteriologici monitorizați: bacteriile coliforme, E. Coli și Enterococi în rețeaua localității Eforie Nord în anul 2015.

La nivelul lunii iunie 2015 s-a înregistrat o depășire a concentrațiilor limită admisibile la indicatorii Bacterii coliforme și E. Coli în rețeaua localității Eforie Nord.

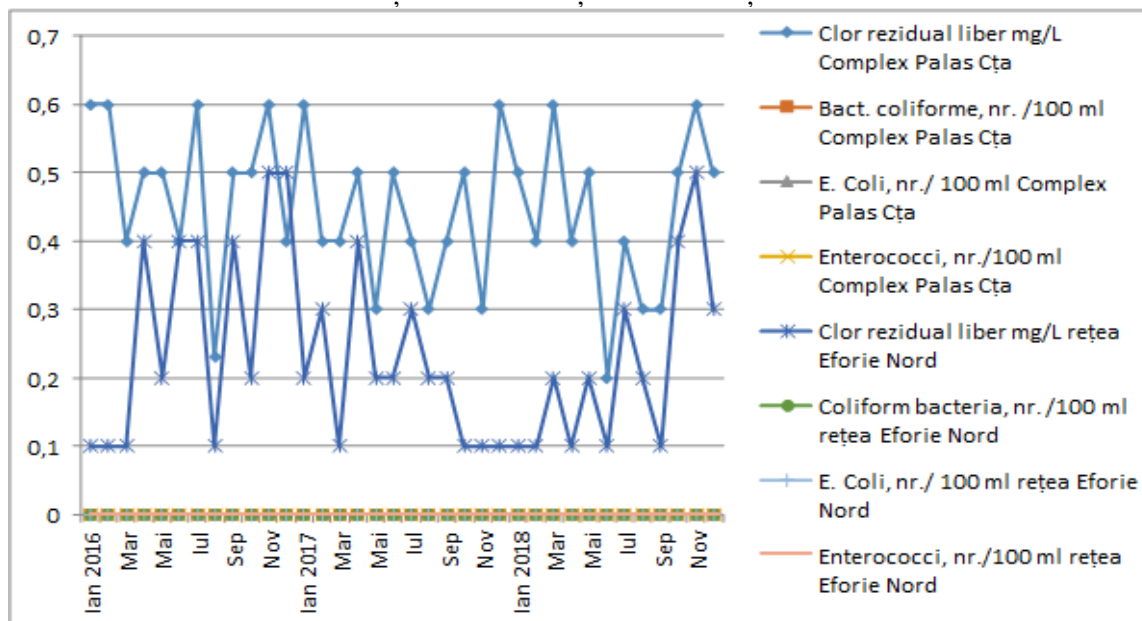


Fig. 5.6 Evoluția indicatorilor clor rezidual liber, bacteriile coliforme, E. Coli și Enterococi la nivelul anilor 2016-2018

În fig. 5.6 este prezentată evoluția indicatorului clor rezidual liber la plecare din Complexul de tratare, înmagazinare, pompare Palas Constanța, în rețeaua localității Eforie Nord, și indicatorilor bacteriologici monitorizați: bacteriile coliforme, E. Coli și Enterococi în rețeaua localității Eforie Nord la nivelul anilor 2016-2018. În perioada 2016-2018 nu au fost înregistrate depășiri ale indicatorilor bacteriologici.

5.4 Concluzii

Valoarea clorului rezidual liber pentru probele de apă prelevate a variat de la cea mai mică valoare de 0 mg/L în rețeaua localității Eforie Nord, la cea mai mare valoare de 0,74 mg/L la ieșire din Complexul de tratare Palas Constanța. Analizele microbiologice au indicat depășiri ale indicatorilor bacterii coliforme, E. Coli și Enterococi la nivelul anilor 2013-2015, în principal datorate lipsei clorului rezidual liber în rețeaua de distribuție.

Ca urmare a reacției clorului cu substanțele prezente în apă și cu depunerile de pe pereții conductelor, concentrația acestuia poate scădea pe măsură ce apa trece prin rețeaua de distribuție. Acest fenomen este cunoscut sub numele de degradare a clorului. Cantitatea de clor cu care este tratată apa este foarte importantă. Dacă doza de clor utilizată este prea mică, este posibil să nu rămână clor rezidual la capătul rețelei de distribuție pentru a proteja împotriva recontaminării. Dacă doza de clor este prea mare, poate duce la reclamații ale clienților din cauza gustului și a mirosului, la coroziunea rețelei de distribuție sau la formarea de produse secundare, inclusiv trihalometani (THM) (Gibbs M.S. et. al., 2006; American Chemistry Council, 2018; Nescerecka A. et. al., 2014).

Întrucât apa de suprafață sau subteran, trebuie să îndeplinească condiții de calitate corespunzătoare categoriei de folosință, conform normelor legale și debit necesar asigurării unei furnizări continue, indiferent de variațiile zilnice, sezoniere sau tendințe de dezvoltare a localităților, este necesar să se urmărească atât indicatorii de potabilitate, cât și parametrii de exploatare.

Pentru a putea distribui o apă potabilă sigură pentru consum este necesar ca apa brută să provină dintr-o sursă conformă atât din punct de vedere calitativ cât și cantitativ. Este mult mai convenabil să se asigure protecția sursei de apă și întreținerea corespunzătoare a acesteia decât ca aceasta să fie contaminată iar costurile pentru tratarea apei să fie mult mai mari. Pe lângă dezavantajul costurilor mai există și riscurile de natură chimică, bacteriologică care conduc la îmbolnăviri (Vinod K. și Imran A., 2013).

Distribuția apei către consumatori trebuie să se realizeze în condiții de siguranță, apa trebuie protejată împotriva contaminării după tratare. Prezența clorului rezidual liber în rețeaua de distribuție asigură protecția calității microbiologice a apei. Doar dezinfecții pe bază de clor pot asigura o protecție reziduală. Deficiențele care apar în sistemului de distribuție din cauza degradării infrastructurii, avariilor apărute în rețea, fac ca dezinfecții reziduale să fie și mai importanți pentru protejarea sănătății publice.

Un avantaj important al utilizării clorului în tratarea apei în vederea potabilizării este chiar menținerea reziduului de clor de lungă durată comparativ cu alți dezinfecții utilizați. Clorul este eficient în eliminarea bacteriilor, costurile sunt relativ reduse comparativ cu ale altor dezinfecții, iar termenul de valabilitate este îndelungat (1 an).

În perioada monitorizată s-a putut observa prezența riscului de îmbolnăvire a populației urmare a prezenței în rețeaua de apă potabilă a indicatorilor bacterii coliforme, E. Coli și Enterococi în concentrații care au depășit limitele admise conform reglementărilor legale în vigoare. Principalul factor al apariției acestei neconformități a fost ineficiența dezinfecției apei datorită subdozării clorului.

Ca eventuale cauze pot fi:

- Defecțiuni ale aparatelor de dozare a clorului
- Menținerea necorespunzătoare a aparatelor de dozare a clorului
- Conștientizarea și instruirea insuficientă a personalului
- Avarii în rețeaua de apă și lipsa spălării și dezinfectării conductei de apă la terminarea lucrării

Măsurile de control/ acțiunile de securitate care pot fi luate în astfel de situații sunt:

- Verificarea periodică a aparatelor de dozare a clorului
- Instruirea și conștientizarea personalului
- Respectarea concentrației de clor stabilite
- Spălarea și dezinfectarea conductei de apă în urma unei avarii în rețea
- Monitorizarea calității apei

Pe baza rezultatelor acestui studiu, se recomandă monitorizarea periodică a concentrației clorului rezidual liber și a indicatorilor microbiologici la ieșire din stația de tratare și în sistemul de distribuție a apei pentru a se asigura că reziduurile de clor de 0,1–0,5 mg/L sunt disponibile.

Nivelul rezidual minim de clor la ultimul utilizator ar trebui să fie de minim 0,1 mg/ L, pentru a asigura o apă de calitate consumatorilor.

CAPITOLUL 6

ANALIZA RISCULUI PRIVIND CONTAMINAREA APEI BRUTE CU NITRAȚI UTILIZÂND SOFTWARE-UL ANALYTICA

6.1. Descrierea Sistemului de alimentare cu apă Mangalia

Mangalia este un oraș turistic și port la Marea Neagră situat aproape de extremitatea sudică a litoralului românesc.

Apa captată din sursele Vârtop și Albești este clorinată în Complexul de înmagazinare - pompă Mangalia. Apa este tratată în cadrul Complexului Mangalia, cu clor gazos în doză de 0,5 mg/L.

Apa captată din sursele Tatlageac, Dulcești și Pecineaga este clorinată în Complexul de înmagazinare - pompă Tatlageac. Apa este tratată în cadrul Complexului Tatlageac, cu clor gazos în doză de 0,5 mg/L (Oglindă, 2018).

6.2. Diagrama de flux

Un aspect important atunci când se efectuează analiza riscurilor sistemelor de alimentare cu apă potabilă este că trebuie să se ia în considerare întregul sistem, de la sursa de apă până la robinetul consumatorului. Aceasta înseamnă că sursa de apă precum și sistemul de dezinfecție/ tratare și sistemul de distribuție până la robinetul consumatorului trebuie luate în considerare.

Principalele motive pentru adoptarea unei strategii integrate sunt:

- (1) existența interacțiunilor dintre evenimentele și anume lanțurile de evenimente trebuie luate în considerare (diagrame de flux);
- (2) eșecul într-o parte a sistemului poate fi compensat prin alte părți.

Dacă aceste circumstanțe nu sunt luate în considerare, informații importante pot fi trecute cu vederea. Obiectivul tratării apei este de a produce o furnizare adecvată și continuă de apă care este din punct de vedere chimic, bacteriologic și estetic acceptabilă. (Lindhe ș.a., 2009)

În figura 6.1 este prezentată o diagramă de flux pentru sistemul de aprovizionare cu apă Mangalia. Sistemul de dezinfecție al apei se realizează cu clor, iar monitorizarea calității apei se realizează atât la sursă (apa brută), la rezervor, cât și în rețeaua de distribuție (apa potabilă).

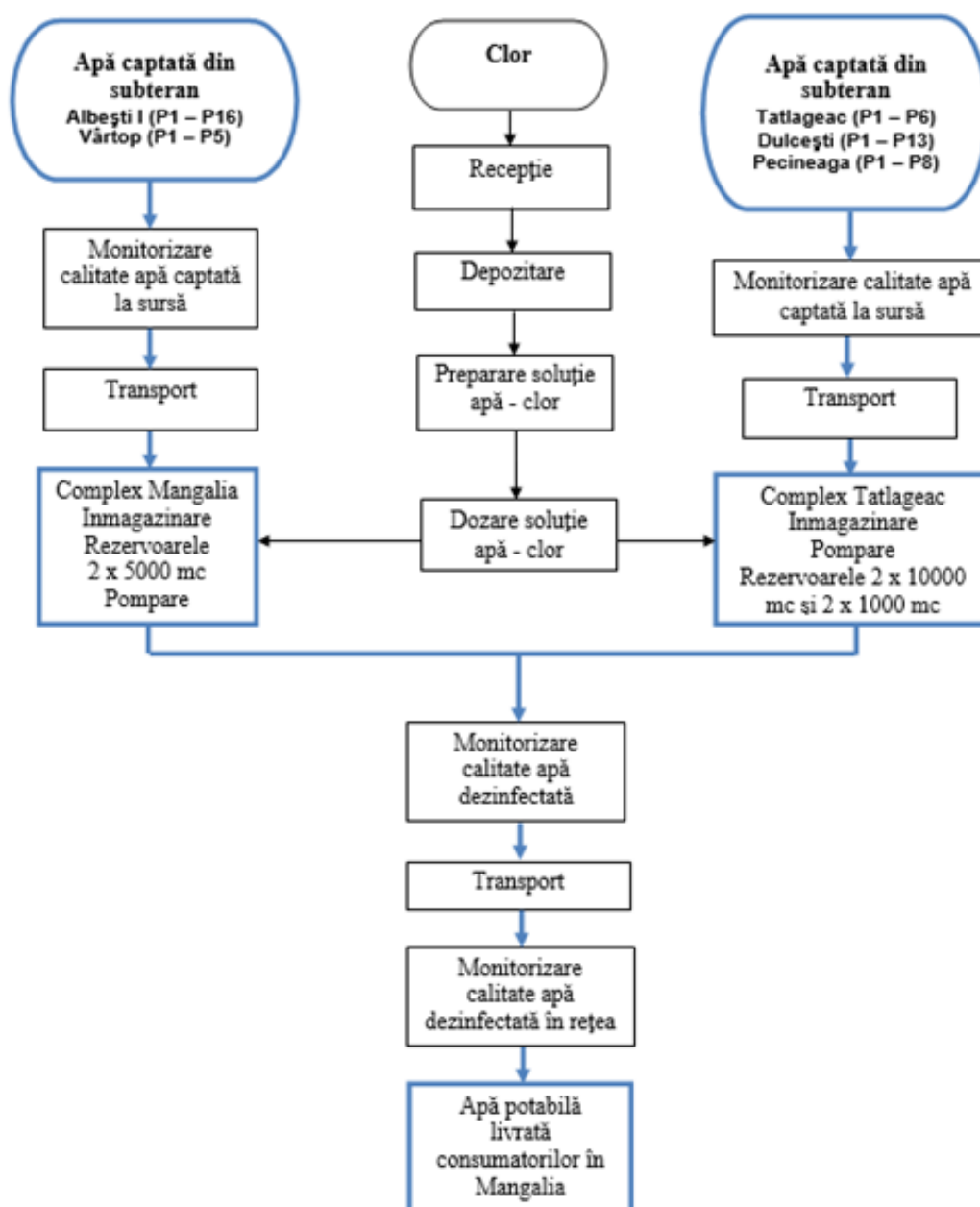


Fig. 6.1. Diagrama de flux a sistemului de alimentare cu apă Mangalia

6.3. Analiza riscului

În tabelul 6.1 este prezentată analiza riscurilor privind contaminarea apei cu nitrați la nivelul sistemului de alimentare cu apă Mangalia.

Tabelul 6.1 Analiza riscurilor pentru sistemul de alimentare cu apă Mangalia (Cavalierea ș.a., 2017; Sandu și Racovițeanu, 2002; Lucaciu ș.a., 2011; Nescerecka, 2014)

Risc potențial	Cauzele apariției riscurilor	Consecințe potențiale	NR	Acțiuni de securitate	NR rezidual propus
PROCESUL: CAPTARE ȘI TRANSPORT APĂ BRUTĂ					
Etapă: Captare și transport apă brută de subteran					
Apa brută de subteran contaminată cu nitrați	Eliminarea necorespunzătoare a deșeurilor	Contaminarea apei brute	G = 3 P = 5 NR = 15	- Monitorizarea calității apei brute - Sistarea alimentării din forajul contaminat și alimentarea exclusivă din forajul necontaminat - Sistarea furnizării de apă în cazul în care se constată contaminarea totală a sursei și un risc epidemiologic iminent - Informarea autorităților și populației - Instruirea și conștientizarea personalului	6

Nivelul de risc (Nr) pentru sistemul de alimentare cu apă se calculează ca o medie ponderată a nivelurilor de risc stabilite pentru etapele și procesele identificate (Ministerul Sănătății, 2012)

$$Nr = \frac{\sum_{i=1}^n r_i \times R_i}{\sum_{i=1}^n r_i}$$

Nr = nivelul de risc pentru sistemul de alimentare cu apă;

r_i = rangul factorului de risc „i”;

R_i = nivelul de risc pentru factorul de risc „i”;

n = numărul factorilor de risc identificați.

Astfel, nivelul de risc parțial, pe etape este următorul:

Etapă: Depozitarea materiilor prime și echipamentelor

$$Nr_p = \frac{\sum_{i=1}^n r_i \times R_i}{\sum_{i=1}^n r_i} = \frac{2 \times 2 + 2 \times 3}{4} = 2,5$$

Etapă: Captare și transport apă brută de subteran

$$Nr_p = \frac{\sum_{i=1}^n r_i \times R_i}{\sum_{i=1}^n r_i} = \frac{3 \times 3 + 1 \times 6}{4} = 3,75$$

Etapă: Tratare apă - Clorinare

$$Nr_p = \frac{\sum_{i=1}^n r_i \times R_i}{\sum_{i=1}^n r_i} = \frac{2 \times 2 + 1 \times 4}{3} = 2,66$$

Etapă: Înmagazinare apă – Igienizare

$$Nrp = \frac{\sum_{i=1}^n ri \times Ri}{\sum_{i=1}^n ri} = \frac{1 \times 3 + 2 \times 4}{3} = 3,66$$

Etapă: Distribuție apă – Transportul apei potabile prin rețeaua de distribuție

$$Nrp = \frac{\sum_{i=1}^n ri \times Ri}{\sum_{i=1}^n ri} = \frac{1 \times 4 + 1 \times 5}{2} = 4,5$$

Urmare identificării nivelurilor de risc parțiale pe fiecare etapă de analiză a riscului, putem determina nivelul de risc global pentru întreg sistemul de alimentare cu apă Mangalia:

$$Nr = \frac{\sum_{i=1}^n ri \times Ri}{\sum_{i=1}^n ri} = \frac{4 \times 2 + 6 \times 3 + 4 \times 4 + 1 \times 5 + 1 \times 6}{16} = 3,31$$

Astfel se constată că nivelul de risc global pentru sistemul de alimentare cu apă Mangalia se încadrează în categoria 3-5 = A se ține sub observație/ a se avea în vedere controlul sursei de apă sau măsuri legate de tratarea apei.

6.4. Analiza calitativă a riscului privind contaminarea apei brute cu nitrați utilizând software-ul Analytica

Analytica oferă o analiză integrată a riscurilor și a sensibilității pentru analiza modelelor cu intrări incerte și facilități puternice pentru simulări dinamice dependente de timp. (Lumina, 2015)

Scopurile principale ale studiului sunt:

- (1) dezvoltarea unei metode integrate și analiza probabilistică a riscurilor pentru un sistem de alimentare cu apă potabilă;
- (2) evaluarea riscului privind contaminarea apei brute cu nitrați.

Analiza prezentată (fig. 6.2) include situațiile în care se livrează cantitatea de apă necesară consumatorului, dar există riscul ca aceasta să nu respecte standardele de calitate a apei potabile (eșec în asigurarea calității optime a apei potabile). (Lindhe ș.a., 2009)

Riscul privind apa brută de subteran contaminată cu nitrați are drept cauză eliminarea necorespunzătoare a deșeurilor.

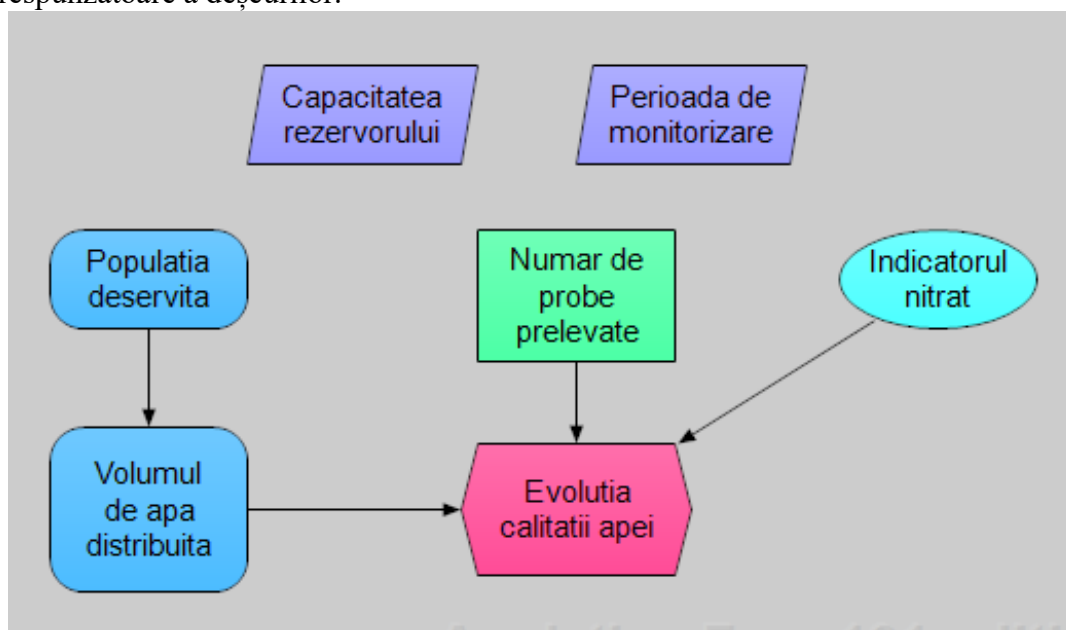


Fig. 6.2 Model Analytica privind evoluția calității apei

Înmagazinarea apei este asigurată într-un rezervor de 10000 mc (2 cuve a câte 5000 mc) la Complexul Mangalia, unul de 20000 mc (2 cuve a câte 10000 mc) și într-un rezervor de 2000 mc (2 cuve a câte 1000 mc) la Complexul Tatlageac.

Tabelul 6.2 Centralizarea înregistrărilor corespunzătoare sistemului de alimentare cu apă Mangalia

ANUL	POPULAȚIA DESERVITĂ (număr de utilizatori)	VOLUM APĂ POTABILĂ DISTRIBUITĂ (mc/ zi)	NUMĂR DE PROBE PRELEVATE ANUAL	INDICATORUL NITRAT (mg/L)
2014	41770	7820	19	47
2015	41980	7405	14	53
2016	41980	8405	36	44
2017	36400	8348	19	42
2018	33310	8355	15	41

Conform datelor de recensământ și de exploatare, populația deservită de sistemul de alimentare cu apă Mangalia este prezentată în tabelul 6.2. Se poate observa o scădere semnificativă a numărului de utilizatori în ultimii 2 ani.

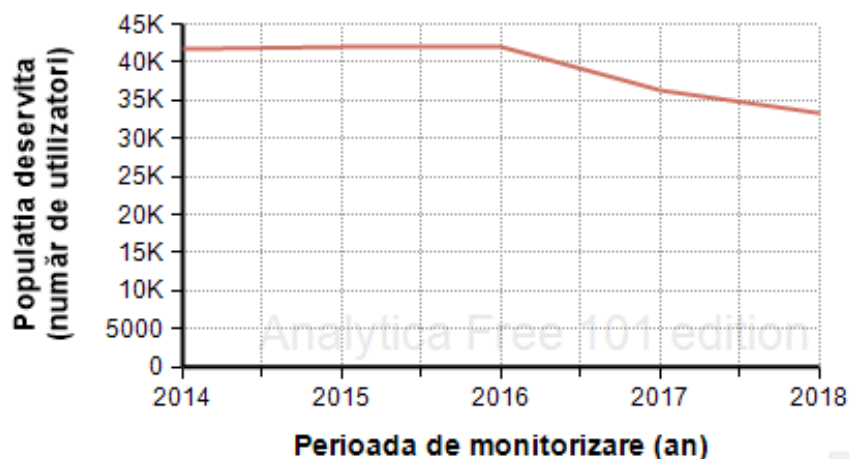


Fig. 6.3 Populația deservită (număr de utilizatori) pe o perioadă de 5 ani în Sistemul de alimentare cu apă Mangalia

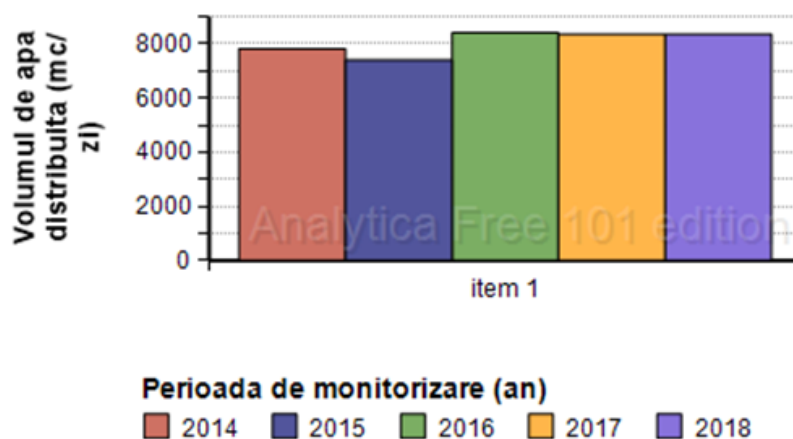


Fig. 6.4 Volumul de apă distribuită pe o perioadă de 5 ani în Sistemul de alimentare cu apă Mangalia

Numărul de probe prelevate anual pentru indicatorul nitrat se stabilește la începutul fiecărui an în funcție de evoluția indicatorului în anul precedent și este prezentată în tabelul 6.2.

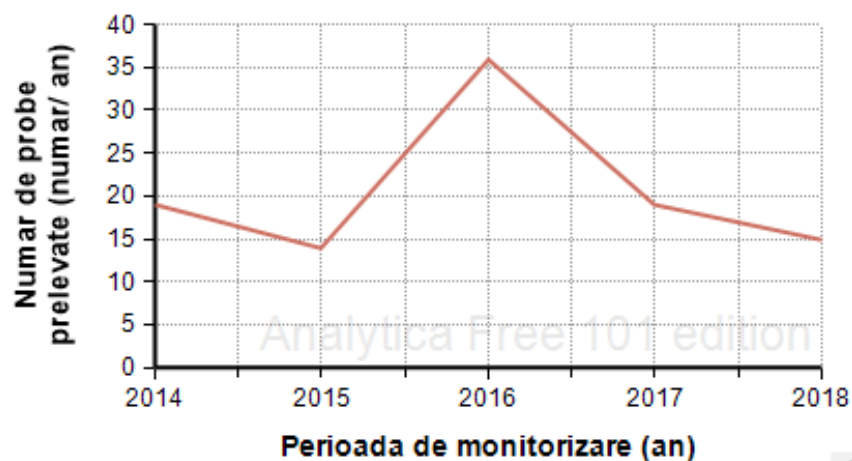


Fig. 6.5 Numărul de probe prelevate pe o perioadă de 5 ani în Sistemul de alimentare cu apă Mangalia

În tabelul 6.2 este prezentată evoluția indicatorului nitrat pe o perioadă de 5 ani. Conform Legii 458/2002, valoarea maximă admisă a parametrului chimic nitrat este de 50 mg/L.

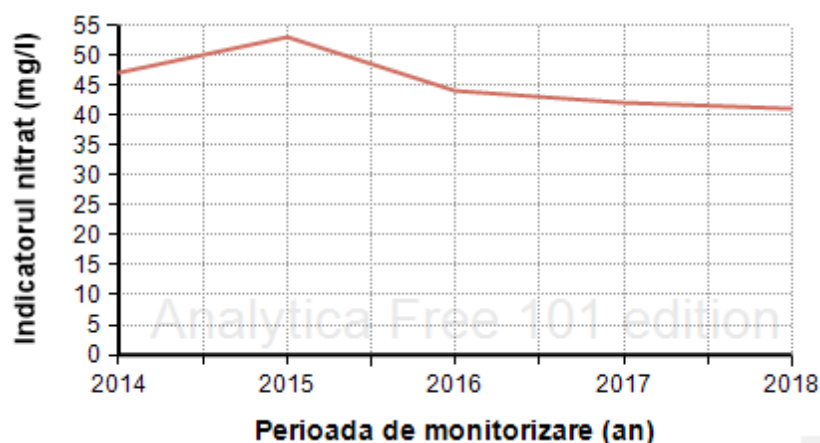


Fig. 6.6 Evoluția indicatorului nitrat (mg/L) pe o perioadă de monitorizare de 5 ani în Sistemul de alimentare cu apă Mangalia

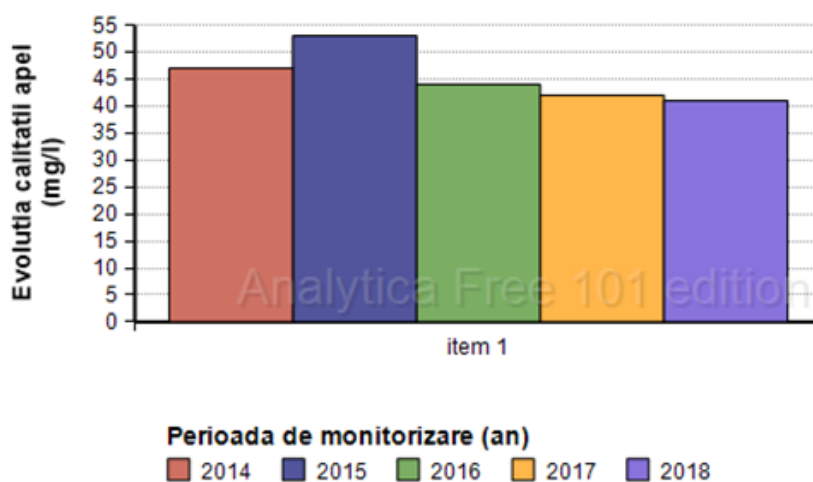


Fig. 6.7 Evoluția calității apei pe o perioadă de monitorizare de 5 ani în Sistemul de alimentare cu apă Mangalia

Se observă o evoluție a indicatorului nitrat destul de semnificativă la nivelul anului 2015.

Concentrația și frecvența prezenței unui contaminant în apă este importantă și necesară pentru a evalua riscul asupra sănătății. Acolo unde apar depășiri ale valorilor standard sau valorilor limită, este necesară o metodologie de evaluare a riscului pentru a determina acțiunile ce trebuie întreprinse pentru reducerea lui. Acesta este un pas important deoarece este nevoie de găsirea compromisului între furnizarea unei ape contaminate chimic la valori mai mari decât Concentrația Maximă Admisibilă (CMA) și riscul de a nu distribui apă sau de a utiliza surse alternative, care pot fi necorespunzătoare din punct de vedere microbiologic.

Astfel odată ce limita maximă admisă a fost depășită, s-a intensificat sistemul de prelevare a probelor de apă pentru monitorizarea indicatorului nitrat, s-a sistat furnizarea apei din sursa contaminată și a fost furnizată apă din sursele de apă corespunzătoare din punct de vedere chimic.

6.5 Concluzii

Calitatea apei potabile poate fi controlată prin combinarea protecției surselor de apă, controlul proceselor de tratare și gestionarea distribuției apei.

Există o gamă largă de agenți de contaminare chimici și microbiologici care pot fi prezenți în apa potabilă, unii dintre aceștia având efecte negative asupra sănătății consumatorilor. Contaminanții pot proveni dintr-o serie de surse, iar în unele cazuri chiar din procesul de tratare propriu zis. Înțelegerea naturii pericolelor și surselor de contaminare și a modului în care acestea pot intra în sistemul de aprovizionare cu apă, este un aspect foarte important în atingerea calității de „apă potabilă sanogenă și curată”.

Mijlocul cel mai ieftin și eficient de a produce apă potabilă sigură este aplicarea unui management al riscului, susținut de o monitorizare corespunzătoare a funcționării sistemului de aprovizionare. Deoarece fiecare verigă a sistemului de aprovizionare poate fi susceptibilă la contaminare și/sau deteriorare, este important ca managementul riscului să reprezinte o abordare consecventă pe tot parcursul lanțului cauzal, de la priza de captare, până la robinetul consumatorului.

Sistemele de asigurare a calității și de evaluare a riscurilor aduc o garanție în plus că apa potabilă furnizată în mod consecvent este de calitate. Implementarea unui plan de siguranță a apei integrat practicilor existente de management privind calitatea apei reprezintă un mijloc de a demonstra că această abordare este viabilă, are avantaje și ar facilita acceptarea acestei metode noi de management al riscurilor în puncte critice (Mosse și Murray, 2015; Roebeling, 2014).

O bună comunicare pe tot parcursul fluxului tehnologic este esențială pentru a se asigura că toate pericolele semnificative și riscurile pentru siguranța calității apei potabile sunt identificate și controlate adecvat. Aceasta implică atât comunicarea internă cât și comunicarea externă (cu clienții, furnizorii de produse și servicii și autorități).

Acțiunile de securitate stabilite trebuie să aibă un regim de monitorizare clar definit care să valideze eficiența și să monitorizeze performanța în funcție de limitele stabilite.

În acest studiu de caz a fost expusă capacitatea software-ului Analytica de a analiza evoluția indicatorului nitrat la nivelul orașului Mangalia.

Analiza prezentată poate permite operatorilor de apă să înțeleagă probabilitățile și potențialele impacturi asupra resurselor de apă. Poate fi folosită ca intrare în analizele de management și pentru analiza procedurilor de situații de urgență privind contaminarea apei cu nitrați.

CAPITOLUL 7 PROGNOZĂ A EVOLUȚIEI POLUANȚILOR

7.1 Serii de timp, prognoză

Modelarea seriilor de timp ("time series" în literatura originală) implică analiza unui sistem dinamic caracterizat printr-o serie de intrări și ieșiri, care se referă la o funcție. Diferitele tehnici din acest domeniu au scopul de a reproduce seria de ieșire cu fiabilitate și acuratețe pe baza seriei de intrare și eventual a unei funcții de transfer (Maçaira ș.a., 2018).

Modelarea seriilor de timp poate fi împărțită în esență în două clase de metode: univariabile și multivariabile. Metodele univariabile corespund cu o serie de ieșiri sezoniere și/sau tendințe de evoluție în timp. Metodele multivariabile folosesc influența altor variabile asupra comportamentului seriei de ieșire pentru a obține rezultate cât mai bune în reprezentarea unei funcții de transfer.

Un domeniu principal al aplicării acestor metode este cel al științelor mediului. De exemplu, Nunnari și colab. (2004) au folosit mai multe tehnici statistice pentru modelarea concentrației de SO₂ folosind drept informații o bază de date distribuite în timp conținând direcția și viteza vântului, radiația solară, temperatura și umiditatea relativă. Andriyas și McKee (2013) pe baza condițiilor biofizice de pe terenurile unor ferme, precum și a sistemului de livrare a irigațiilor în perioada de creștere a plantelor au făcut anticipări ale comenzilor de apă pentru irigare. Lima și colab. (2014) a dezvoltat un model de prognoză a inundațiilor care încorporează efectul climei variabile, precum cantitățile de precipitații. Sfetsos și Coonick (2000) au abordat prognoza radiațiilor solare, iar Porporato și Ridolfi (2001) pe cea a debitelor râurilor.

Maçaira ș.a., (2018) au stabilit că în anul 2018 domeniul științelor mediului a avut ca număr de articole publicate prima pondere (12%) din totalul a 10 domenii de aplicare al modelării seriilor de timp. Este deasemeni evidentă creșterea numărului de aplicații de prognoză, de la 49 în perioada 1967-1998, la 142 în perioada 2013-2016 (Maçaira ș.a., 2018). Principalele două metode de abordare a acestor aplicații sunt modelele de regresie și rețelele neuronale artificiale. O confruntare a modelelor de regresie cu rețelele neuronale artificiale este prezentată de Maçaira ș.a., (2018):

Avantajele modelelor de regresie:

- Nu necesită o putere de calcul ridicată;
- Relația dintre variabilele de intrare și răspuns este explicită și de cele mai multe ori, interpretabilă.

Dezavantajele modelelor de regresie:

- Sunt sensibile la valori numerice mari;
- Presupune că erorile modelului sunt independente și urmează o distribuție normală cu media zero și variație constantă.

Avantajele rețelelor neuronale artificiale:

- Putere mare de procesare a datelor datorită structurii sale distribuite masiv și capacității sale de a învăța și prin urmare, de a generaliza, producând adecvat ieșiri pentru intrări care nu au fost prezente în timpul stadiului de învățare;

Dezavantajele rețelelor neuronale artificiale:

- Necesită o putere de calcul mare și un număr mare de date în procesul de instruire;
- Este un model tip cutie neagră, deoarece relația dintre variabilele de intrare și răspuns este imposibil de interpretat.

În domeniul științelor mediului au fost implicate cu precădere două tipuri de rețele neuronale artificiale (Ye ș.a., 2020):

- Rețelele neuronale multistrat;
- Rețelele neuronale pe bază radială.

Performanțele celor două tipuri de rețele sunt comparabile. Implementarea rețelelor multistrat este mai facilă.

7.2 Prognoza evoluției concentrației unui poluant într-o sursă de apă potabilă

Posibilitatea prognozei evoluției concentrației unui poluant într-o sursă de apă potabilă este deosebit de importantă: dacă aceasta indică creșterea viitoare a respectivei concentrații peste limitele legal admise, se impun luarea unor măsuri adecvate de preântâmpinare a acestui fenomen nedorit. Respectivul studiu necesită o bază de date istorice, ce constă dintr-o serie de măsurători ale concentrației agentului poluant la diferite intervale de timp într-o anumită perioadă determinată.

Se expune ca aplicație prognoza concentrației de nitrat în apa potabilă din rezervorul Mangalia. Baza de date istorice cuprinde măsurători lunare a respectivei concentrații pe perioada Ianuarie 2013 – Octombrie 2019, fiind prezentată în tab. 7.1

Tabelul 7.1. Măsurători lunare ale indicatorului nitrat

Luna	Concentrație nitrat (mg/L)						
An	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ianuarie	31.80	40.20	50.50	54.80	43.00	37.40	38.50
Februarie	58.80	42.00	43.10	74.50	37.10	34.10	39.80
Martie	51.80	44.00	41.20	72.70	43.50	34.60	38.40
Aprilie	51.40	45.10	40.80	82.00	47.10	38.30	39.70
Mai	60.90	47.50	39.40	37.50	35.80	35.80	39.00
Iunie	60.00	48.20	40.60	36.10	39.40	40.10	43.50
Iulie	61.60	46.80	52.30	35.80	40.10	46.60	45.40
August	61.90	66.70	66.60	38.00	46.30	42.30	47.20
Septembrie	45.10	38.40	54.30	36.20	42.30	40.00	42.00
Octombrie	41.80	42.00	51.80	31.00	41.02	44.20	47.40
Noiembrie	38.40	44.50	48.40	34.60	39.80	42.60	
Decembrie	37.90	44.30	52.40	31.10	37.60	40.20	

Limita maximă admisă (Legea 458/2002 și Legea 311/2004) a concentrației de nitrat este de 50 mg/L. De remarcat că aceasta a fost depășită în lunile ianuarie, iulie, septembrie și octombrie în anul 2015 și în lunile ianuarie – aprilie în anul 2016.

7.2.1. Prognoză pe bază de model de regresie

Cea mai bună corelare cu ajutorul unui model de regresie s-a obținut în baza unui polinom de gradul 10 și este reprezentată în figura 7.5.

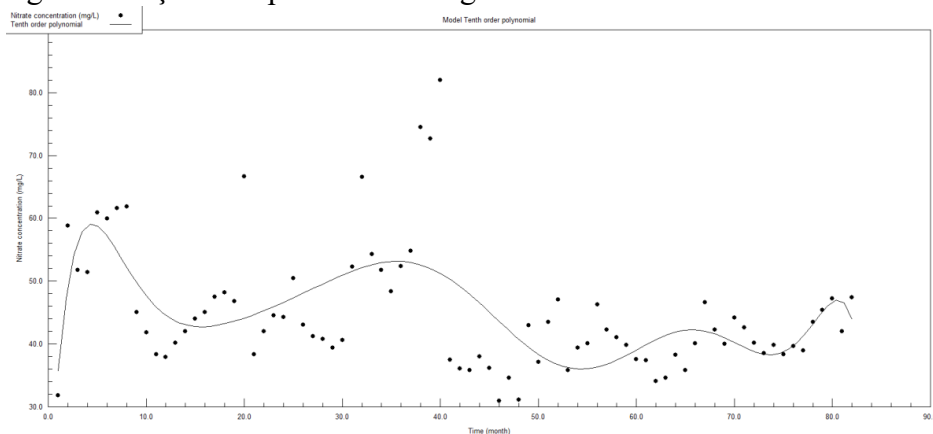


Fig. 7.5. Corelare cu polinom de gradul 10

Se observă și din figura 7.5, faptul că respectiva corelare nu poate fi considerată satisfăcătoare pentru a fi utilizată într-un studiu de prognoză. Drept urmare s-a apelat la prognoza pe baza rețelelor neuronale artificiale.

7.2.2. Prognoza pe baza rețelelor neuronale multistrat

Prognoza evoluției concentrației de nitrat în timp a fost făcută cu o rețea neuronală cu 16 neuroni de intrare, un strat interior (hidden) de conând 10 neuroni și un strat de ieșiri cu 4 neuroni. Setul de date de învățare corespunde cu o “fereastră” dinamică (Refenes ș.a., 1993, Woinaroschy, 1993). Centrul ferestrei corespunde timpului de referință t_0 . Drept intrări în rețea sunt 8 valori anterioare și 8 valori viitoare (în raport cu timpul de referință t_0) ale concentrației de nitrat. Răspunsurile dorite corespund cu următoarele 4 valori ale concentrației de nitrat, după cele 8 valori viitoare. Trebuie remarcat că deoarece baza de date este “istorică”, valorile viitoare (relativ la centrul ferestrei) sunt cunoscute atunci când sunt folosite în algoritmul de învățare. Fereastra dinamică parcurge setul de date cu un pas Δt de o lună. Când se ajunge la sfârșitul bazei de date, explorarea acesteia este reluată de la început până la epuizarea unei număr maxim de iterații de învățare, sau atingerea unei valori limită a erorii dintre valorile “țintă” și cele calculate de rețea.

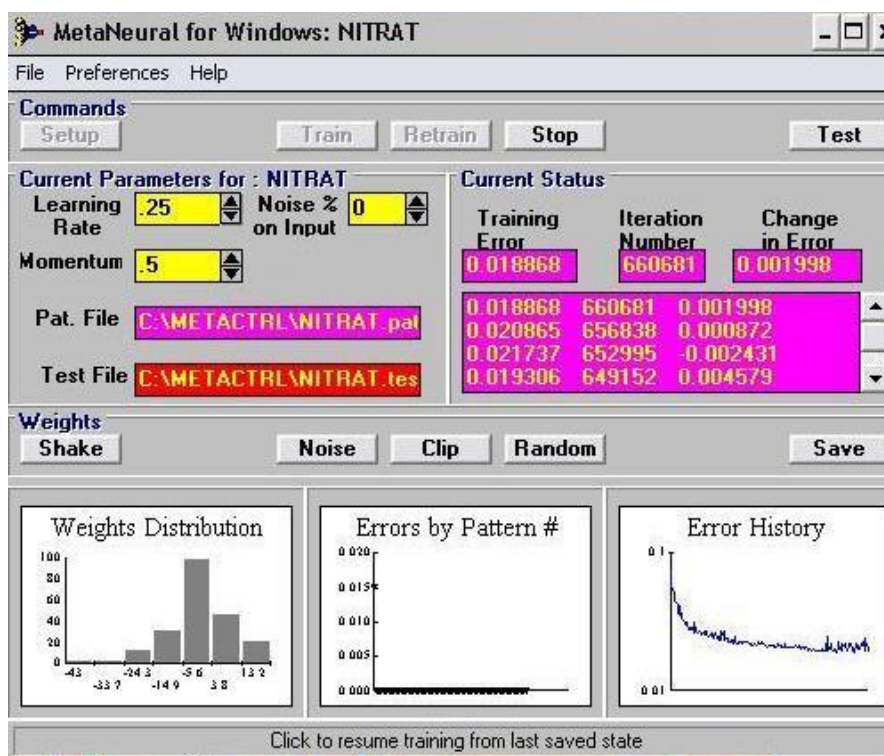


Fig. 7.6. Aplicația software METANEURAL

S-a utilizat aplicația software METANEURAL (fig. 7.6.), cu o funcție de activare sigmoidă, o rată de învățare de 0.25 și un moment de 0.5, numărul maxim de iterații fiind de 1 000 000, iar eroarea limită de învățare de 0.01.

La sfârșitul a 1 000 000 de iterații de învățare eroarea este de 0.0209.

S-au analizat predicțiile pentru anul 2019 ale rețelei învățate. Respectiv rezultate sunt expuse în tab. 7.2.

Tabelul 7.2 Valorile măsurate și prezise ale concentrației de nitrat

Luna și Anul	Concentrație nitrat(mg/L) Valoare măsurată	Concentrație nitrat(mg/L) Valoare prezisă	Eroarea %
Ianuarie 2019	38.5	42	9.09
Februarie 2019	39.8	39.6	-0.5
Martie 2019	38.4	43.5	13.28
Aprilie 2019	39.7	45.4	14.35
Mai 2019	39	47.2	21.02
Iunie 2019	43.5	42.2	-2.99
Iulie 2019	45.4	43.3	-4.63
August 2019	47.2	45.6	-3.39
Septembrie 2019	42	43.3	3.09
Octombrie 2019	47.4	47.2	-0.42

Erorile dintre valorile măsurate și cele prezise sunt rezonabile, valoarea maximă fiind pentru luna mai 2019 (21.02 %), iar valoarea medie este de 4.89 %. Atât valorile măsurate, cât și cele prezise sunt sub limita legală de 50 mg/L, deci nu au fost necesare măsuri de limitare a creșterii concentrației de nitrat (Woinaroschy și Iordache, 2020).

Aplicația abordată demonstrează că utilizarea rețelelor neuronale multistrat reprezintă o modalitate promițătoare pentru prognozele din domeniul managementului calității apei potabile.

CAPITOLUL 8

CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII PRINCIPALE ȘI DESCHIDERI ALE TEZEI DE DOCTORAT

8.1. Concluzii generale

Teza de doctorat intitulată ”Optimizarea managementului calității apei potabile”, reprezintă rezultatul unor analize și cercetări efectuate atât la Universitatea Politehnica București, Facultatea de Chimie Aplicată și Știința Materialelor, Catedra de Inginerie Chimică și Biochimică, cât și în cadrul RAJA S.A. Constanța.

Studiile prezentate au vizat identificarea, analiza și evaluarea riscurilor privind calitatea apei potabile, precum și prognoza evoluției poluanților în apa potabilă.

Alimentarea cu apă este esențială pentru sănătatea publică, calitatea vieții, protecția mediului, activitatea economică și dezvoltarea durabilă. Îmbunătățirea continuă a tuturor proceselor pot garanta calitatea și siguranța apei. Dezvoltarea cunoștințelor tehnice și preocupările tot mai mari cu privire la sănătatea publică și a mediului contribuie la evoluții pozitive în sectorul apei în multe țări.

Lucrarea de cercetare a îndeplinit obiectivul principal propus și anume acela de a aduce contribuții originale prin studiile prezentate care au vizat identificarea, analiza și evaluarea riscurilor privind calitatea apei potabile, precum și prognoza evoluției poluanților în apa potabilă.

Realizarea obiectivului principal a fost posibilă prin îndeplinirea unor obiective secundare după cum urmează:

- studiul și analiza cercetărilor din literatura de specialitate
- stabilirea etapelor de tratare a apei și prezentarea acestora printr-o diagramă de flux
- identificarea și evaluarea riscurilor privind calitatea apei potabile pe fiecare etapă
- analiza cantitativă și calitativă a apei utilizând software-ul Analytica

- tratarea apei brute în vederea potabilizării
- prognoza evoluției concentrației unui poluant într-o sursă de apă potabilă utilizând rețelele neuronale multistrat.

Pe baza rezultatelor experimentale obținute și a concluziilor parțiale prezentate la finalul fiecărui capitol, sunt evidențiate o serie de concluzii generale, după cum urmează:

✓ Prin elaborarea și urmărirea respectării unui plan de evaluare a riscurilor ne asigurăm că apa potabilă distribuită este conformă cu reglementările legale în vigoare.

Evaluarea riscurilor trebuie să o tratăm ca pe un management preventiv pentru a putea asigura o apă potabilă sigură din punct de vedere calitativ și cantitativ, ținând cont de următoarele elemente principale:

- Evaluarea sistemului de management,
- Stabilirea ca principal obiectiv a preocupărilor privind sănătatea utilizatorilor
- Monitorizarea operațională pe etape, de la captarea apei brute și până la distribuția apei potabile către utilizatori, a măsurilor de control (acțiunilor de securitate) stabilite
- Elaborarea, documentarea, comunicarea și evaluarea periodică a planurilor de monitorizare a sistemului de management, a planurilor de evaluare a riscurilor, care să descrie acțiunile, măsurile care trebuie luate în condiții normale de exploatare și incidente potențiale, inclusiv modernizarea și îmbunătățirea.

Calitatea apei potabile poate fi controlată prin combinarea protecției surselor de apă, controlul proceselor de tratare și gestionarea distribuției apei. Software-ul Analytica are capacitatea de a analiza și de a anticipa cererea de apă într-un oraș turistic sezonier, unde activitățile economice și numărul populației sunt destul de diferite între sezonul rece (octombrie – aprilie) și sezonul cald (mai – septembrie).

✓ Pentru a putea distribui o apă potabilă sigură pentru consum este necesar ca apa brută să provină dintr-o sursă conformă atât din punct de vedere calitativ cât și cantitativ. Un avantaj important al utilizării clorului în tratarea apei în vederea potabilizării este chiar menținerea rezidului de clor de lungă durată comparativ cu alți dezinfecțanți utilizați. Clorul este eficient în eliminarea bacteriilor, costurile sunt relativ reduse comparativ cu ale altor dezinfecțanți, iar termenul de valabilitate este îndelungat (1 an). Prezența dezinfecțantului rezidual în rețeaua de distribuție asigură o protecție a calității microbiologice a apei.

Valoarea clorului rezidual liber pentru probele de apă prelevate a variat de la cea mai mică valoare de 0 mg/L în rețeaua localității Eforie Nord, la cea mai mare valoare de 0,74 mg/L la ieșire din Complexul de tratare Palas Constanța. Analizele microbiologice au indicat depășiri ale indicatorilor bacterii coliforme, E. Coli și Enterococi la nivelul anilor 2013-2015, în principal datorate lipsei clorului rezidual liber în rețeaua de distribuție.

Pe baza rezultatelor acestui studiu, se recomandă monitorizarea periodică a concentrației clorului rezidual liber și a indicatorilor microbiologici la ieșire din stația de tratare și în sistemul de distribuție a apei pentru a se asigura că reziduurile de clor de 0,1–0,5 mg/L sunt disponibile.

Nivelul rezidual minim de clor la ultimul utilizator ar trebui să fie de minim 0,1 mg/ L, pentru a asigura o apă de calitate consumatorilor.

Distribuția apei către consumatori trebuie să se realizeze în condiții de siguranță, apa trebuie protejată împotriva contaminării după tratare. Prezența clorului rezidual liber în rețeaua de distribuție asigură protecția calității microbiologice a apei. Doar dezinfecțanții pe bază de clor pot asigura o protecție reziduală. Deficiențele care apar în sistemului de distribuție din cauza degradării infrastructurii, avariilor apărute în rețea, fac ca dezinfecțanții reziduali să fie și mai importanți pentru protejarea sănătății publice.

✓ Există o gamă largă de agenți de contaminare chimici și microbiologici care pot fi prezenți în apa potabilă, unii dintre aceștia având efecte negative asupra sănătății consumatorilor. Contaminanții pot proveni dintr-o serie de surse, iar în unele cazuri chiar din procesul de tratare propriu zis.

Mijlocul cel mai ieftin și eficient de a produce apă potabilă sigură este aplicarea unui management al riscului, susținut de o monitorizare corespunzătoare a funcționării sistemului de alimentare cu apă. Deoarece fiecare verigă a sistemului de alimentare poate fi susceptibilă la contaminare și/sau deteriorare, este important ca managementul riscului să reprezinte o abordare consecventă pe tot parcursul lanțului cauzal, de la priza de captare, până la robinetul consumatorului. Acțiunile de securitate stabilite trebuie să aibă un regim de monitorizare clar definit care să valideze eficiența și să monitorizeze performanța în funcție de limitele stabilite.

În acest studiu de caz a fost expusă capacitatea software-ului Analytica de a analiza evoluția indicatorului nitrat la nivelul orașului Mangalia.

Analiza prezentată poate permite operatorilor de apă să înțeleagă probabilitățile și potențialele impacturi asupra resurselor de apă. Poate fi folosită ca intrare în analizele de management și pentru analiza procedurilor de situații de urgență privind contaminarea apei cu nitrați.

✓ Posibilitatea prognozei evoluției concentrației unui poluant într-o sursă de apă potabilă este foarte importantă: dacă aceasta indică creșterea viitoare a respectivei concentrații peste limitele legal admise, se impun luarea unor măsuri adecvate de preîntâmpinare a acestui fenomen nedorit.

Erorile dintre valorile măsurate și cele prezise sunt rezonabile, valoarea maximă fiind pentru luna mai 2019 (21.02 %), iar valoarea medie este de 4.89 %. Atât valorile măsurate, cât și cele prezise sunt sub limita legală de 50 mg/L, deci nu au fost necesare măsuri de limitare a creșterii concentrației de nitrat.

Studiul de caz demonstrează faptul că utilizarea rețelelor neuronale multistrat reprezintă o modalitate promițătoare pentru prognozele din domeniul managementului calității apei potabile.

8.2. Deschideri ale tezei de doctorat

Studiile realizate au valoare de cercetare fundamentală și aplicativă, datele obținute putând constitui elemente de referință pentru probabilitățile și potențialele impacturi asupra resurselor de apă.

Implementarea unui plan de evaluare a riscurilor integrat practicilor deja existente de management privind calitatea apei reprezintă un mijloc de a demonstra că apa potabilă distribuită utilizatorilor este de calitate și respectă limitele impuse de reglementările legale în vigoare.

Software-ul Analytica are capacitatea de a analiza riscurile privind atât cantitatea de apă necesară pentru a acoperi cererea utilizatorilor, cât și calitatea apei potabile distribuite, în funcție de diverși factori prestabiliți.

Informațiile obținute în urma utilizării rețelelor neuronale multistrat pot fi folosite pentru analiza riscurilor privind calitatea apei, ca intrări în analizele de management și pentru analiza procedurilor de situații de urgență privind contaminarea apei.

LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE ELABORATE PE PARCURSUL STAGIULUI DE DOCTORAT

Pe parcursul stagiului doctoral, rezultatele cercetărilor științifice au fost publicate în reviste de specialitate și exprimate în cadrul unor comunicări de lucrări științifice după cum urmează:

a) Lucrări publicate în reviste cotate ISI

1. A. Woinaroschy, A. Iordache: *Drinking Water Quantity and Quality Risk Management*, în U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 81, nr. 1, 2019, p. 29 – 40, ISSN 1454-2331.
2. A. Iordache, A. Woinaroschy: *Drinking Water Quality Risk Management. Risk Analysis of Nitrogen Groundwater Contamination Using Analytica Software*, în Rev. Chim. Vol. 70, nr. 11, 2019, p. 3971 – 3976, ISSN 0034-7752, Factor de impact: 1,755.
3. A. Iordache, A. Woinaroschy: *Analysis of the Efficiency of the Water Treatment Process with Chlorine*, în Environmental Engineering and Management Journal, Vol. 19, nr. 8, 2020, ISSN 1582 – 9596, Factor de impact: 1,186.

b) Lucrare publicată într-o revistă baze de date tip B

1. A. Woinaroschy, A. Iordache: *Forecast of the Evolution of a Pollutant Concentration from a Groundwater Source*, Journal of Engineering Sciences and Innovation, Vol. 5, nr. 2, 2020, p.141-148, ISSN 2360 - 4697.

c) Comunicări la manifestații științifice

1. A. Iordache, C. Singureanu, A. Woinaroschy: *Safety Management of Drinking Water Quality*, la International Conference CHIMIA 2018 – "New trends in applied chemistry", Constanța, Romania, May 24 – 26, 2018
2. A. Woinaroschy, A. Iordache: *Drinking Water Quantity Risk Management. Risk Analysis of the Incomplete Quantity of Potable Water Distributed to Consumers Using Analytica Software*, la International Symposium of Chemical Engineering and Materials, SICHEM 2018, Faculty of Applied Chemistry and Materials Science, Bucharest, Romania, September 6-7, 2018.
3. A. Iordache, A. Woinaroschy: *Analysis of the Effectiveness of the Water Treatment Process Within the Palas Constanta Storage and Water Treatment Plant and the Identification of Risk Factors*, la Romanian International Conference in Chemistry and Chemical Engineering, RICCE 21, Constanța, Romania, September 4 – 7, 2019.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. American Chemistry Council, (2018), Drinking Water Chlorination A Review of U.S. Disinfection Practices and Issues, On line at: www.americanchemistry.com/
2. Analytica Tutorial, (2015), Lumina Decision Systems, p. 2-110
3. Andriyas, S., McKee, M., (2013), "Recursive partitioning techniques for modeling irrigation Behavior", Environ. Model. Software, 47, p. 207–217.
- A. Woinaroschy, A. Iordache: Forecast of the evolution of a pollutant concentration from a groundwater source, Journal of Engineering Sciences and Innovation, Vol. 5, Iss. 2, 2020, p.141-148.
5. Bostian M., Whittaker G., Barnhart B., Fare R., Grosskopf S., (2015), "Valuing water quality tradeoffs at different spatial scales: An integrated approach using bilevel optimization", Water Resources and Economics, 11, p. 1-12
7. Cavalierea A., Maggib M., Stroffolinic F., (2017), "Water losses and optimal network investments: Price regulation effects with municipalization and privatization", Water Resources and Economics, 11, p. 1-19
8. Chen, C.H., (1996) "Fuzzy Logic and Neural Network Handbook", McGraw- Hill, New York. ISBN 0-07-011189-8.
13. Farooq S., Hashmi I., Qazi I.A., Qaiser S., Rasheed S., (2008), "Monitoring of Coliforms and Chlorine Residual in Water Distribution Network of Rawalpindi", Pakistan, Environmental Monitoring Assess, 140, p. 339-347
15. Fornib G., Medellín-Azuarac J., Tanseyd M., Youngb C., Purkeyb D., Howitta R., (2016), "Integrating complex economic and hydrologic planning models: An application for drought under climate change analysis", Water Resources and Economics, 16, p. 15-27
16. Gibbs M.S., Morgan N., Maier H.R., Dandy G.C., Nixon J.B., Holmes M., (2006), "Investigation into the relationship between chlorine decay and water distribution parameters using data driven methods", Mathematical and Computer Modelling, 44, p. 485-498
22. http://www.vremea.ro/gt/clima_constanta, last access on 25.02.2018
24. Ioniță A., (2019), Procedura operațională "Planificare și realizare apă sigură" RAJA S.A. Constanța, p. 20-26
25. Ioniță A., (2018), Plan de siguranța apei în cadrul RAJA S.A. Constanța, p. 1-13
26. Janmaat J., (2018), "Drought risk and water conservation expenditures as a household production problem", Water Resources and Economics, 22, p. 32-49
27. Lanz B., Provins A., (2016), "The demand for tap water quality: Survey evidence on water hardness and aesthetic quality", Water Resources and Economics, 16, p. 52-63
28. Lima, L.M.M., Popova, E., Damien, P., (2014), "Modeling and forecasting of Brazilian reservoir inflows via dynamic linear models", Int. J. Forecast., 30, p. 464–476.
29. Lindhe A., Rosen L., Norberg T., Bergstedt O., (2009), "Fault tree analysis for integrated and probabilistic risk analysis of drinking water systems", Water Research, 43, p. 1641-1653
30. Lucaciu I., Cruceru L., Cosma C., Nicolau M., Gheorghe S., Dinu L., Patroescu V. Hem L.J., Hafskjold L.S., Eikebrokk B., (2011), "Monitoring the quality of water intended for human consumption", Rom Aqua, 75, p. 26-30
31. Maçaira, P., M., Tavares Thomé, A., M., , Oliveira F., L. , Carvalho Ferrer, A., L., (2018), "Time series analysis with explanatory variables: A systematic literature review", Environ. Model. Software, 107, p. 199-209.
32. Maria G., (2007), "Evaluarea cantitativă a riscului proceselor chimice și modelarea consecințelor accidentelor", Editura Printech, București, p. 19-25
33. Metoda I.N.C.D.P.M. de evaluare a riscurilor de accidentare și îmbolnăvire profesională la locurile de muncă, (2012), Ministerul Sănătății și Ministerul Muncii și Solidarității Sociale, On line la: <https://legislatiamuncii.manager.ro/>

34. Moldovan D., (2018), "Aspects regarding risk management in the process of transportation and distribution of drinking water", Rom Aqua, 125, p. 42-45
35. Mosse P. and Murray B., (2015), "Good Practice Guide to the Operation of Drinking Water Supply Systems for the Management of Microbial Risk", Water Research Australia Limited, Final Report – WaterRA Project 1074, p. 23-33
36. Nescerecka A., Rubulis J., Vital M., Juhna T., Hammes F., (2014), "Biological Instability in a Chlorinated Drinking Water Distribution Network", Catalan Institute for Water Research (ICRA), On line at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096354>
37. Nunnari, G., Dorling, S., Schlink, U., Cawley, G., Foxall, R., Chatterton, T., (2004), "Modelling SO₂ concentration at a point with statistical approaches", Environ. Model. Software 19, p. 887–905.
38. Oglindă N., (2019), Memoriu tehnic – Sistemul de alimentare cu apă a oraşului Constanţa, RAJA S.A. Constanţa, p. 2-7
39. Oglindă N., (2018), Memoriu tehnic – Sistemul de alimentare cu apă Mangalia, RAJA S.A. Constanţa, p. 2-7
41. Porporato, A., Ridolfi, L., (2001), "Multivariate nonlinear prediction of river flows", J. Hydrol 248, p. 109–122.
42. Refenes, A., N., Azema-Barac, M., Chen, I., Karoussos, S., A., (1993), "Currency exchange rate prediction and neural network design strategies", Neural Computing & Applications, 1, p.46-58.
43. Roebeling P., (2014), "Economics of trans-boundary water resources management", Water Resources and Economics 8, p. 1-3
44. Roeger A., Tavares A. F., (2018), "Water safety plans by utilities: A review of research on implementation", Utilities Policy, 53, p. 15 – 24
45. Sandu M., Racoviţeanu G., (2002), "Manual pentru inspecţia sanitară şi monitorizarea calităţii apei în sistemele de alimentare cu apă", Editura Conspress, Bucureşti, p. 194-207
46. Sfetsos, A., Coonick, A.H., (2000), "Univariate and multivariate forecasting of hourly solar radiation with artificial intelligence techniques", Sol. Energy 68, p. 169–178.
49. Şchiopu E. C., (2011), "Monitorizarea indicatorilor de calitate a apei potabile din localitatea Polovragi", Analele Universităţii "Constantin Brâncuşi" din Târgu Jiu, Seria Inginerie, 2, p. 166
52. WHO, (2009), "Water Safety Plan Manual - Step-by-step risk management for drinking-water suppliers", World Health Organization, Geneva, Switzerland, On line at: www.who.int.
53. WHO, (2014), "Water safety in distribution systems", World Health Organization Document Production Services, Geneva, Switzerland, On line at: www.who.int.
54. Woinaroschy, A., (1993), "Reţele neurale", U.P.B.
55. Woinaroschy, A., Iordache, A., (2019), "Drinking water quantity and quality risk management", U.P.B. Sci. Bull, 81, p. 3
56. A. Woinaroschy, A. Iordache: "Forecast of the evolution of a pollutant concentration from a groundwater source", Journal of Engineering Sciences and Innovation, Vol. 5, Iss. 2, 2020, p.141-148.
57. Xie Y., Zilberman D., (2016), "Theoretical implications of institutional, environmental, and technological changes for capacity choices of water projects", Water Resources and Economics, 13, p. 19-29
58. Ye Z., Jiaqian Yang J., Zhong N., Tu X., Jia J., Wang J., (2020), "Tackling environmental challenges in pollution controls using artificial intelligence: A review", Science of the Total Environment, 699, 134279.