

UNIVERSITATEA **POLITEHNICA** DIN BUCUREȘTI

Facultatea Energetică

Departamentul Hidraulică, Mașini Hidraulice și Ingineria Mediului

Nr. Decizie Senat 560 din 29.09.2020

TEZĂ DE DOCTORAT

FIABILITATEA ECHIPAMENTELOR DIN STAȚIILE DE EPURARE

RELIABILITY FOR WASTEWATER TREATMENT PLANT EQUIPMENT

Autor: Ing. Florin NICOLESCU

Conducător de doctorat: Prof. univ. emerit dr. ing. Dan Niculae ROBESCU

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof. univ. dr. ing. Adrian Badea	de la	Universitatea Politehnica București
Conducător de doctorat	Prof. univ. dr. ing. em. Dan Niculae Robescu	de la	Universitatea Politehnica București
Referent	Prof. univ. dr. ing. Valentin Petrescu	de la	Universitatea Tehnică "Lucian Blaga" Sibiu
Referent	Prof. univ. dr. ing. Bogdan Hnatiuc	de la	Universitatea Maritimă Constanța
Referent	Prof. univ. dr. ing. Nicolae Golovanov	de la	Universitatea Politehnica București

București 2020

CUPRINS	2
<u>CAPITOLUL I</u>	6
1.1 STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR	6
1.1.1. EVOLUȚIA ÎNCERCĂRILOR DE FIABILITATE	9
1.1.2. SOLUȚII DE CREȘTERE A FIABILITĂȚII	11
1.2 SCOPUL FIABILITĂȚII	13
1.3 ASPECTE TEORETICE ALE FIABILITĂȚII	13
<u>1.3.1. ELEMENTE DE TEORIA PROBABILITĂȚILOR</u>	13
<u>1.3.2. PROBABILITATE</u>	13
<u>1.3.3. DEFINIȚIA CLASICĂ A PROBABILITĂȚII</u>	14
<u>1.3.4. REPARTIȚII PENTRU VARIABLE ALEATOARE DISCRETE</u>	18
<u>1.3.5. REPARTIȚII DE TIP CONTINUU</u>	19
<u>CONCLUZII CAPITOLUL I</u>	42
<u>CAPITOLUL II</u>	45
<u>2.1. STAȚII DE EPURARE - CONSIDERAȚII GENERALE</u>	45
<u>2.2. DESCRIEREA SISTEMULUI DE ALIMENTARE CU ENERGIE ELECTRICA A STAȚIEI</u>	50
<u>2.3. DESCRIEREA ECHIPAMENTELOR ELECTRICE DIN CADRUL SEAU</u>	50
<u>2.4. ANALIZA FIABILITĂȚII COMPONENTELOR ELECTRICE</u>	56
2.5 PRINCIPALELE CAUZE DE DEFECTARE ALE ECHIPAMENTELOR DIN STAȚIILE DE EPURARE	64
<u>CONCLUZII CAPITOLUL II</u>	66
<u>CAPITOLUL III</u>	68
<u>3.1. SIMULARE UTILIZÂND PROGRAMUL MATLAB</u>	68
<u>3.2. DETERMINAREA LEGILOR DE REPARTIȚIE ALE VARIABLELOR ALEATOARE PE BAZA DATELOR EXPERIMENTALE</u>	70
<u>3.3. LEGI DE REPARTIȚIE ALE VARIABLELOR ALEATOARE</u>	72
<u>3.4. CONDIȚII SPECIFICE DE FIABILITATE ALE STAȚIILOR DE EPURARE</u>	73
<u>3.5. FIABILITATEA ECHIPAMENTELOR ELECTRICE DIN STAȚIILE DE EPURARE</u>	77
<u>3.5.1. DEFECTELE ȘI REGIMURILE NECONFORME DE FUNCȚIONARE ALE TRANSFORMATORELOR</u>	77
<u>3.5.2. DEFECTE LA MOTOARELE ELECTRICE ASINCRONE</u>	79
<u>3.5.3. DEFECTE ÎN TABLOURILE ELECTRICE</u>	80
<u>3.6. IDENTIFICAREA DEFECTELOR CU AJUTORUL METODEI TERMOGRAFIEI ÎN INFRAROȘU</u>	82
<u>STUDIUL DE CAZ – TERMOSCANAREA TABLOURILOR ELECTRICE ALE UNEI SEAU</u>	94

<u>CONCLUZII CAPITOLUL III</u>	97
<u>CAPITOLUL IV</u>	99
<u>4.1. CERCETĂRI EXPERIMENTALE DE FIABILITATE A ECHIPAMENTELOR DE EPURARE.</u>	99
<u>4.2. POMPE ALIMENTARE APĂ UZATĂ</u>	110
<u>4.3. POMPE ALIMENTARE POLIELECTROLIT</u>	113
<u>4.4. TABLOURI ELECTRICE</u>	117
<u>4.5. GRĂTARE</u>	119
<u>CAPITOLUL V</u>	122
<u>5.1 MODELARE MATEMATICĂ PENTRU FUNCȚIA DE FIABILITATE AFERENTA ECHIPAMENTELOR DIN TREAPTA MECANICĂ A S.E.A.U.</u>	122
<u>CAZUL 1 – POMPE APĂ UZATA</u>	122
<u>CAZUL 2 – POMPE POLIELECTROLIT</u>	138
<u>CAZUL 3 – TABLOURI ELECTRICE</u>	150
<u>CAZUL 4 – GRATARE</u>	163
<u>CONCLUZII CAPITOLUL V</u>	176
<u>CONCLUZII GENERALE</u>	178
<u>CONTRIBUȚII ORIGINALE</u>	183
<u>DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE</u>	185
<u>BIBLIOGRAFIE</u>	186
<u>LISTĂ DE NOTAȚII</u>	195
<u>ANEXE</u>	198

Cuvinte cheie: mentenanță, termografie în infraroșu, analiza defectelor

CUVÂNT INTRODUCATIV

Teoria fiabilității este o disciplină independentă și reprezintă o problemă de interes major pentru toate domeniile producției industriale. Fiabilitatea provine din ramurile matematicii, însă, pe parcursul timpului, datorită aportului adus de către cercetările din domeniul ingineriei, s-a transformat într-o știință de sine stătătoare, bazată pe teoria probabilităților, teoria așteptării și statistica matematică. Aplicarea fiabilității necesită serioase cunoștințe de inginerie din diferite domenii ale acesteia. Complexitatea produselor industriale fabricate în prezent, multitudinea regimurilor de funcționare, înlocuirea rapidă a elementelor deteriorate cu altele noi, condiționează necesitatea tratării teoretice globale a problemelor privind creșterea fiabilității produselor, independent de structura și de destinația acestora.

Culegerea informațiilor privind fiabilitatea produselor se obține de obicei, fie urmărind comportamentul produselor în exploatare reală, fie în decursul încercărilor de fiabilitate. Informațiile din exploatarea reală se referă de multe ori la produse sau utilaje în curs de uzură, astfel încât, la momentul formulării concluziilor, acestea s-ar putea să nu mai prezinte importanță pentru corectarea unor aspecte legate de proiectarea și fabricarea produselor, ca deziderat al fiabilității.

Necesitatea abordării acestui subiect provine din faptul că toate echipamentele din stațiile de epurare trebuie să funcționeze continuu în condiții grele de lucru. Cerințele impuse stațiilor de epurare sunt stricte, reglementate de legislația actuală, și presupun funcționarea continuă a echipamentelor la parametrii inițiali de proiectare în vederea menținerii procesului de epurare a apelor uzate la o eficiență ridicată.

Oportunitatea dezvoltării subiectului ales este de a trage un semnal de alarmă autorităților în vederea introducerii în documentațiile de atribuire și în normativele de proiectare a indicatorilor de fiabilitate pentru echipamentelor ce vor fi utilizate.

Pe această cale, doresc să le mulțumesc tuturor acelor oameni minunați care mi-au oferit consultanță științifică și care și-au rupt din timpul lor liber pentru a-mi oferi sprijin și ajutor.

Domnului prof. univ. emerit dr. ing. Dan Niculae ROBESCU sincere mulțumiri și sentimente de recunoștință pentru sprijinul acordat în elaborarea tezei de doctorat, pentru răbdarea, generozitatea, și înțelegerea dvs., precum și pentru întreaga contribuție la formarea mea ca cercetător. Vă mulțumesc pentru faptul că ați acceptat

să-mi împărtășiți din bogata dumneavoastră experiență dobândită de-a lungul anilor de studiu iar fără sprijinul dumneavoastră nu aş fi putut realiza această teză.

Deosebită recunoștință datorez membrilor comisiei de îndrumare: prof. univ. dr. ing. Lăcrămioara Diana Robescu, decanul Facultății de Energetică, prof. univ. dr. ing. Carmen Safta, Șef lucrări dr. ing. Corina Boncescu pentru timpul prețios acordat, pentru sfaturile științifice valoroase cât și pentru îndrumarea competentă și permanentă pe parcursul elaborării și realizării acestei teze de doctorat.

Mulțumesc distinșilor referenți oficiali prof. univ. emerit dr. ing. Nicolae Golovanov, Universitatea Politehnica din București, prof. univ. dr. ing. Valentin Petrescu, Universitatea Lucian Blaga din Sibiu și prof. univ. dr. ing. Bogdan Hnatiuc, Universitatea Maritimă din Constanța pentru onoarea acordată de a recenza această lucrare.

În mod deosebit aş dori să mulțumesc actualilor mei colegi (prof. univ. dr. ing. Cornel Panait, prof. univ. dr. ing. Silviu Gheorghiu, prof. univ. dr. ing. Violeta Ciucur, S.I. dr. ing. Marian Dordescu și conf. univ. dr. ing. Sorin Sinteia), cât și foștilor colegi și mentori (ing. Valerian Meleghe, ing. Țipa Dimitrie și ing. Valentin Marinescu) care m-au format, sprijinit și încurajat în fiecare moment dificil și alături de care am beneficiat de un cadru ambiental foarte plăcut.

Totodată doresc să mulțumesc Universității Politehnica din București, Universității Maritime din Constanța, pentru susținere și pentru oportunitățile de dezvoltare profesională pe care mi le-au oferit.

Cu deosebită recunoștință și dragoste, dedic această teză familiei mele, care a fost alături de mine, și care m-a sprijinit din toate punctele de vedere în această perioadă.

Autorul

București 2020

CAPITOLUL I Aspecte generale ale fiabilității

STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR

Teoria fiabilității s-a construit ca știință în ultimii 40...50 de ani și are drept obiectiv studiul defectiunilor, al cauzelor și proceselor de apariție și de dezvoltare a acestora, prognoza comportării produselor în exploatare, determinarea căilor de asigurare, menținere și creștere a duratei de utilizare a produselor [1]. Definiția fiabilității dată de **STAS 8147/1-77** este în concordanță cu cea acceptată pe plan mondial, și anume: fiabilitatea este aptitudinea unui produs de a-și îndeplini funcția specificată în condiții de funcționare date, de-a lungul unei perioade determinate [2]. *Între noțiunile de calitate și fiabilitate există o strânsă legătură.* Calitatea reprezintă totalitatea proprietăților unui produs care-l fac corespunzător pentru utilizarea potrivit destinației specificate printr-un anumit document, fiabilitatea reprezintă capacitatea produsului de a-și menține calitatea pe toată durata de utilizare.

Teoria fiabilității a fost determinată de creșterea complexității echipamentelor și de caracterul de masă al producției moderne. Pe baza soluțiilor oferite de către această nouă disciplină – fiabilitatea – au fost posibile progrese mari și în alte domenii de activitate, precum centralele nucleare, transporturile (navale, terestre, aeriene și în ultimul timp spațiale), prelucrarea și transmisia datelor, producția bunurilor de larg consum etc. [5]

După trecerea de la producția manufacturieră la producția de masă s-a constatat o mărire a dispersiei parametrilor echipamentelor datorată atât creșterii complexității cât și micșorării posibilităților de control interfazic pe liniile de producție. În decursul timpului s-a constatat că, în cazul sistemelor și echipamentelor complexe, oricât s-ar investi pentru a obține o fiabilitate ideală, nu se poate obține un echipament care să nu se degradeze în timp. Din această cauză este util să se cunoască nivelul real al fiabilității, astfel încât, în funcție de acesta, să se stabilească durata misiunii, intervalele de revizie, structura echipamentului etc. [5]

Fiabilitatea este unul dintre parametrii determinanți pentru competitivitatea unui produs, întrucât gradul de vandabilitate crește semnificativ pentru produsele fiabile. Se poate aprecia că fiabilitatea a devenit o preocupare la nivel național. Pe plan mondial, după anul 1990 s-a intrat într-o nouă etapă de dezvoltare a domeniului fiabilității. Dacă în anii '60 fiabilitatea se referea la Control/Verificare, iar în anii '70 - '80 la Asigurare, acum cuvântul de ordine îl reprezintă Managementul fiabilității, cu tot ce implică el: metode adecvate de predicție, proiectare pentru fiabilitate, fiabilitatea

proceselor, inginerie convergentă, controlul calității totale etc. Dacă pentru tipuri de produse aflate de mai mult timp în fabricație (cum sunt dispozitivele microelectronice) această preocupare pentru fiabilitate pare justificată, fiind vorba despre produse care își caută un loc pe piețe din ce în ce mai exigente, în cazul unor produse relativ noi, cum sunt microsistemele, fiabilitatea pare mai degrabă un lux. Tendința actuală este de a se trece de la certificarea produselor la certificarea tehnologiilor, cu avantaje evidente în ceea ce privește simplificarea procedurilor de livrare.

Fiabilitatea este o disciplină din domeniul ingineriei care utilizează cunoștințe științifice pentru asigurarea unor performanțe ridicate ale funcțiilor unui echipament, într-un anumit interval de timp și condiții de exploatare bine precizate. Aceasta include proiectarea, abilitatea de a întreține, de a testa și a menține echipamentul la parametri acceptabili pe toată durata ciclului de viață. Fiabilitatea unui echipament este descrisă cel mai bine de păstrarea performanțelor acestuia în timp în cadrul respectării condițiilor de exploatare normală.

Performanțele de fiabilitate ale unui echipament sunt concretizate în faza de proiectare prin alegerea judicioasă a arhitecturii echipamentului, a materialelor, a procesului de fabricație, a componentelor – atât soft cât și hard – urmate de verificarea rezultatelor obținute în urma simulărilor și a testelor de laborator

SCOPUL FIABILITĂȚII

Fiabilitatea este unul din parametri principali ai calității oricărui produs, prezentând particularitatea că se calculează pe baza analizei comportării sistemelor studiate în exploatare. Calitativ, fiabilitatea reprezintă capacitatea unui sistem de a funcționa fără defecțiuni în cursul unui anumit interval de timp, în condiții de utilizare date. Deci, fiabilitatea poate fi privită ca o „extindere în timp” a calității.

Calitatea unui produs este o virtute, o proprietate statică, adică satisfacerea consumatorului în momentul acceptării produsului. Fiabilitatea este tot o virtute, cu proprietatea dinamică, concretizată în menținerea permanentă a performanței produsului pe parcursul utilizării sale [6].

Controlul de calitate permite aprecierea calității produsului finit în momentul livrării la beneficiar, în timp ce fiabilitatea dă o apreciere privind comportarea în timp a utilizării produsului. [7]

CAPITOLUL II

Stații de epurare - Considerații generale

Apele uzate provin din încărcarea apei din natură cu materiale și substanțe care îi modifica indicatorii de calitate, o poluează. Apa se încarcă cu materii poluante, devenind uzată prin utilizarea ei de către om. Pentru obținerea unei tone de hârtie rezultă circa 100-200 m³ ape uzate; pentru o tonă de cauciuc, 150 m³; pentru prelucrarea unei tone de fructe rezultă circa 10-20 m³ apă uzată. Apa uzată care provine din consumul casnic (apa menajeră) este în cantitate destul de mare. Astfel, s-a înregistrat pentru un cartier neindustrializat din București, un debit de consum de circa 0,35 m³/locuitor-zi.

În al doilea caz, apele meteorice, poluate natural, dizolvă în timpul ploii diverse gaze toxice din aer (oxizi de sulf, azot, amoniac etc.) sau se încarcă cu pulberi ce conțin oxizi metalici, gudroane sau alte substanțe. Apele de ploaie sau cele rezultate din topirea zăpezilor se pot impurifica în timpul curgerii lor la suprafața solului, că urmare a contactului cu diversele produse ale activității umane (deșeuri menajere, industriale, îngrășăminte, pesticide etc.).

Între apele uzate și mediul înconjurător în care acestea sunt deversate se stabilește o relație bilaterală; prin impuritățile pe care le conțin, apele uzate acționează asupra mediului înconjurător, de cele mai multe ori în sens negativ, iar acesta, la rândul său, contribuie la înlăturarea poluanților din apă (autoepurare).

Epurarea apelor uzate reprezintă ansamblul de măsuri și procedee prin care impuritățile de natură chimică (minerală și organică) sau bacteriologică conținute în apele uzate sunt reduse sub anumite limite, astfel încât aceste ape să nu mai dăuneze receptorului în care se evacuează și să nu mai pericliteze folosirea apelor acestuia.

Procese de epurare sunt, în mare măsură, asemănătoare cu cele care au loc în timpul autoepurării, numai că sunt dirijate de către om și se desfășoară cu o viteză mult mai mare.

Procese de epurare sunt de natură fizico-chimică, chimică și biologică, în urma aplicării acestor procese rezultă ca principale produse:

- apele epurate (efluentul epurat) - care sunt evacuate în receptor sau pot fi valorificate în irigații sau alte folosințe ;
- nămoluri - care sunt îndepărtate din stație și valorificate.

Epurarea apelor uzate cuprinde, deci, următoarele două mari grupe de operații succesive:

- reținerea și/sau transformarea substanțelor nocive în produși neutri,
- prelucrarea substanțelor rezultate sub diverse forme (nămoluri, emulsii, spume etc.) din prima operație.

Procedeele de epurare a apelor uzate, denumite după procesele pe care se bazează, sunt:

- procedee mecanice - în care procesele de epurare sunt de natură fizică;
- procedee chimice - în care procedeele de epurare sunt de natură fizico-chimică;
- procedee biologice - în care procesele de epurare sunt atât de natură fizică cât și biochimică.

Tipuri de stații de epurare

În funcție de rolul pe care îl au față de epurarea totalității apelor uzate de pe un anumit teritoriu sau centru industrial, stațiile de epurare se clasifică astfel:

- stații de epurare locale (sau de preepurare), care au rolul de a epura apele uzate până la un grad de purificare necesar pentru a fi deversate în rețelele publice, orășenești sau uzinale de canalizare, precum și pentru reținerea și valorificarea anumitor substanțe utile pe care le conțin;
- stații de epurare generale, care curăță totalitatea apelor colectate de pe un întreg teritoriul unui oraș sau centru industrial.

Epurarea mecanică are rolul de a reține prin procedee fizice substanțele în suspensie cu ajutorul unor instalații a căror alcătuire și structură diferă după mărimea suspensiilor și a procedeelor utilizate: grătare, site, dezintegretoare (tocătoare), deznisipatoare, separatoare de grăsimi, decantoare, filtre, etc. În aceasta tehnologie se apelează numai la procese finite de reținere prin blocare, sedimentare, flotație, separare gravitațională.

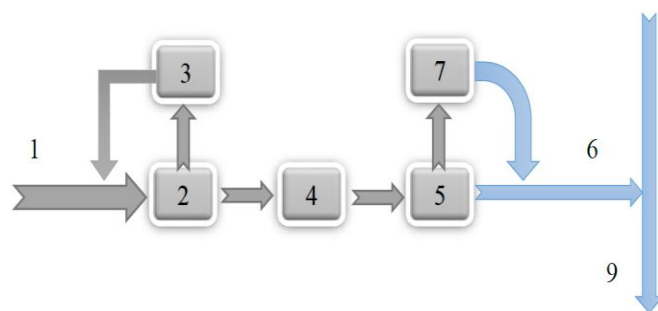


Fig. 2.1– Schema de epurare mecanică [Schema originala F. Nicolescu]

1- influent, 2 - gratar, 3 - dezintegrator, 4 - deznisipator, 5 – decantor primar, 6 – ape decantate, 7 – platforme de uscare, 8 – ape drenaj, 9 – emisar.

În figura 2.1 este reprezentată o schemă de epurare mecanică cu decantor. Suspensiile reținute din apele uzate formează nămolul care este o masă vâscoasă, urât mirositoare, cu un aspect neplăcut și cu un înalt grad de nocivitate. În funcție de condițiile locale, nămolul poate fi îndepărtat în stare proaspătă sau este prelucrat în instalațiile pentru fermentare și apoi incinerare. [87]

Epurarea mecano-chimică

Epurarea mecano-chimică este un procedeu mai complex care înglobează o treaptă mecanică și una chimică cu scopul de a îndepărta substanțele prezente în apă (figura 2.2). Epurarea chimică urmărește în special reținerea suspensiilor coloidale și a substanțelor dizolvate având la bază precipitarea chimică care constituie un procedeu industrial de tratare cu agenți de coagulare și floculare ce măresc depunerile gravimetrice reducând cantitățile de suspensii și coloizi din apa uzată cu 60...85%.

Pe lângă operația de precipitare chimică, frecvent utilizată, intervin și o altă serie de procese chimice ca, de exemplu:

- Neutralizarea, sau corectarea indicelui pH, operație care se aplică apelor uzate acide sau alcaline evacuate din diferite întreprinderi industriale;

- Schimbul ionic, bazat pe însușirea unor substanțe – schimbători de ioni – de a schimba ionii din soluția cu care vin în contact și în care nu se dizolvă;
- Oxidarea chimică, aplicată în cazul când apa uzată conține substanțe organice biorezistente sau unele substanțe anorganice nedorite prin dozarea clorului și a derivaților săi, permanganatul de potasiu și ferii de sodiu sau potasiu;
- Dezinfecția, ce se bazează pe principiul de distrugere a celulei vii prin metode chimice, cu reactivi care difuzează în interiorul celulelor bacteriene.

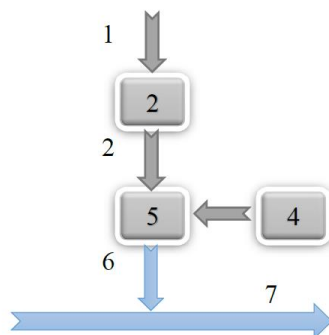


Fig. 2.2 – Schema epurării mecano-chimice [Schema originala F. Nicolescu]

1 – influent, 2 – epurare mecanică, 3 – ape decantate, 4 – stație de preparare și dozare agent coagulare, 5 – bazin de amestec și reacție, 6 – efluent ape epurate, 7 – emisar.

Epurarea mecano-biologică

Procesele biologice aerobe sunt frecvent utilizate în tratamentul apelor reziduale organice pentru atingerea unui grad ridicat de eficiență de epurare și au eficiență ridicată pentru apele uzate cu valori ale CBO5 cuprinse între 300 - 700 mg/l. Dezavantajul procesului aerob constă în acela că echipamentele de aerare utilizate necesită un consum ridicat de energie pentru introducerea aerului în sistem, ceea ce înseamnă costuri ridicate.

Pentru evaluarea performanțelor echipamentului de aerare, mărimea de bază este indicele energetic E [kg O₂/kWh] care se recomandă să fie mai mare de 3 kg O₂/kWh [60]. Numeroase cercetări au considerat faptul că intensitatea hidrodinamicii induse în bazinul de aerare se poate aprecia global prin indicele δ [W/m³], care reprezintă puterea echipamentului utilizat pentru insuflare de oxigen raportată la unitatea de volum a bazinului și ale cărei valori trebuie să depășească 20 W/m³, considerată ca limită inferioară a evaluării depunerilor flocoanelor de nămol [39].

Epurarea mecano-biologică poate fi realizată prin două grupe mari de construcții în care epurarea se poate produce în condiții apropiate de cele naturale – câmpuri de irigații, de infiltrații și iazuri biologice – din care se colectează apele de drenaj și se evacuează ca ape epurate în emisar și construcții în care epurarea biologică se realizează în condiții artificiale – filtre biologice și bazine cu nămol activ (figura 2.3).

Metoda de epurare mecano-biologică naturală (câmpuri de irigații și de infiltrație) se folosește din ce în ce mai rar datorită în principal marii suprafețe ocupate de câmpul de infiltrație, sustrasă circuitului agricol și în special datorită pericolului de

infecțare a pânzei de apă freatică cu bacterii patogene. În figura este prezentată schema generală a unei stații de epurare.

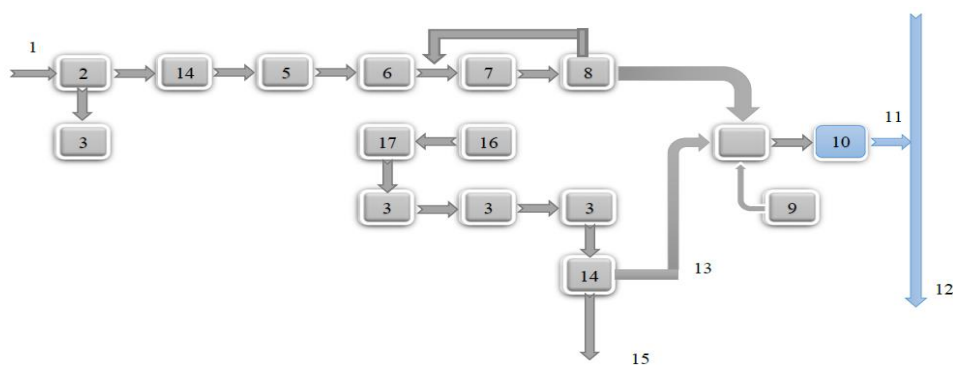


Fig. 2.3 – Schema epurării biologice cu nămol activ [Schema originala F. Nicolescu]

1 – Influent, 2 – grătar, 3 – dezintegrator, 4 – deznisipator, 5 – bazin egalizare uniformizare, 6 – decantor primar, 7 – bazin de aerare cu nămol activ, 8 – decantor secundar, 9 – instalație de clorinare, 10 – bazin de contact, 11 – ape epurate, 12 – emisar, 13 – ape drenaj, 14 – platforme uscare, 15 – nămol spre valorificare, 16 – concentrator de nămol, 17 – stație de pompare nămol.



Fig. 2.4 Vedere de ansamblu a amplasamentului SEAU Constanța Sud [internet]

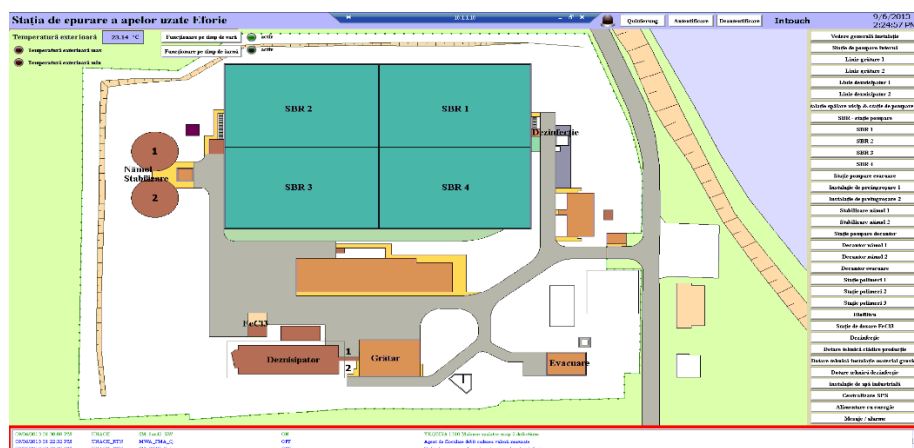


Fig. 2.5 Schema de poziționare a echipamentelor SEAU Eforie [internet]

Descrierea echipamentelor electrice din cadrul SEAU

2.3.1 Lista echipamentelor și aparatelor electrice din cadrul SEAU

În cadrul unei stații de epurarea a apelor uzate se găsesc o multitudine de echipamente și aparate electrice al căror rol este de a asigura desfășurarea în bune condiții și fără întreruperi a procesului de epurare. La alegerea echipamentelor și aparatelor electrice se va considera că numărul acestora să fie egal cu numărul echipamentelor necesare plus unul de rezervă.

2.3.2 Posturi de transformare, transformatoare

Posturile de transformare care asigură alimentarea cu energie electrică a SEAU sunt de tipul Mt/jt, 20/0,4 kV și fiind echipate cu transformatoare electrice ale căror puteri variază între 400 și 630 kVA funcție de valoarea puterilor active ale consumatorilor deserviți de fiecare post de transformare în parte.



Fig. 2.6 Post de transformare 20/0,4 kV[Fotografie originală F. Nicolescu]

Aceste transformatoare sunt trifazate răcite cu ulei, cu reglaj, circulația uleiului de răcire fiind forțată iar răcirea uleiului fiind naturală.



Fig. 2.7 - Transformator trifazat cu răcire în ulei 20/0,4 kV[Fotografie originală F. Nicolescu]

Celulele de medie tensiune alimentate din sistemul energetic național prin rețeaua de Mt de 20kV, alimentează transformatoarele care debitează tensiune pe tablourile electrice de distribuție de jT de 0,4 kV.



Fig. 2.8 - Celulă de medie tensiune[Fotografie originală F. Nicolescu]

2.3.3 Generatoare de rezervă

Deși obiectivele de acest tip sunt considerate deosebit de importante și ca atare, teoretic, sistemul energetic național prin distribuitorii de energie locali trebuie să asigure o schemă de alimentare continuă a lor, se pot întâmpla situații în care alimentarea cu energie electrică să fie întreruptă pentru diverse perioade de timp, ceea ce ar produce efecte majore la nivelul SEAU. De aceea, la proiectarea sistemului intern de alimentare cu energie electrică al unui asemenea obiectiv, se prevăd surse de alimentare de rezervă pentru asigurarea continuității în alimentarea cu energie electrică. Aceste surse de alimentare de rezervă sunt generatoarele electrice sau grupuri electrogene care sunt mașini termice cuplate la ax cu generatoare electrice.



Fig. 2.9 Generator electric ca sursă de alimentare de rezervă[Fotografie originală F. Nicolescu]

Având în vedere că la SEAU nu există noțiunea de mers în avarie, puterea generatoarelor pentru alimentarea de rezervă se va alege astfel încât să asigure întregul necesar de putere pentru funcționarea întregii SEAU.

Trecerea automată de la alimentarea de bază, din rețeaua electrică, la alimentarea de rezervă se face prin intermediul unei scheme de automatizare de tip A.A.R., anclanșarea automată a rezervei.

2.3.4 Tablouri electrice de distribuție, aparate electrice

Tablourile electrice de distribuție sunt echipamente electrice complexe ce au rolul de a distribui energia electrica de la transformatoare către consumatorii alimentați

de la barele sale. În funcție de complexitatea tablourilor electrice și de funcționalitatea pe care trebuie să o îndeplinească, acestea se împart în:

- tablouri generale de distribuție de j.t. – acestea se găsesc de obicei în postul de transformare și asigură distribuția energiei electrice prin intermediul cablurilor, a tablourilor electrice principale și secundare;
- tablourile principale și secundare – sunt alimentate din tablourile generale și alimentează la rândul lor secții sau echipamente tehnologice distincte în cadrul procesului tehnologic;
- tablouri dedicate ale diverselor echipamente (tablouri de pompe, de ventilație, compresoare, etc.) – asigură alimentarea unor echipamente distincte din cadrul procesului tehnologic.



Fig. 2.10 Tablou electric general [Fotografie originală F. Nicolescu]

În componența tablourilor electrice intră mai multe tipuri de aparate electrice fiecare dintre ele având un rol bine definit în schema electrică de distribuție a energiei. Întreruptoare automate aparate ce asigură conectarea și deconectarea circuitelor de alimentare a consumatorilor alimentați din tablourile electrice.

Contactorul este un aparat de comutație cu acționare mecanică, electromagnetică sau pneumatică, cu o singură poziție stabilă, capabil să stabilească, să suporte și să întrerupă curenții în condiții de exploatare normale pentru un circuit, (inclusiv curenții de suprasarcină).

Datorită numărului foarte mare de conectări cărora trebuie să le facă față un contactor, contactele sale sunt puternic solicitate atât mecanic, prin loviturile puternice pe care le suportă la închidere, cât și electric și termic, prin efectul arcului de întrerupere.

Compensarea energiei reactive se face tot la nivelul tablourilor electrice generale prin montarea de baterii automate de compensare a energiei reactive.

Reglatoarele detectează cantitatea de energie reactivă necesară a fi compensată în fiecare moment și comandă intrarea în funcțiune a unui număr suficient de trepte necesar acoperirii necesarului de energie reactivă din sistemul de alimentare.

Compensarea energiei reactive se poate face atât la nivelul tablourilor electrice generale de joasă tensiune din posturile de transformare, pe fiecare sursă de

alimentare în parte, dar și local, la nivelul consumatorilor mari ce generează energia reactivă.

În figura 2.11 este prezentată o instalație electrică de compensare a factorului de putere (baterie de condensatori) cu 12 trepte de compensare.



Fig. 2.11 - Baterie automată de compensare locală a energiei reactive [Fotografie originală F. Nicolescu]

CAPITOLUL III

Modelarea fiabilității

3.1. Etapele realizării unui model de simulare

Construirea modelelor de simulare constituie un proces amplu care în general, presupune parcurgerea următoarelor etape: Definirea problemei, aceasta fiind o etapă foarte importantă, cu mari consecințe în dezvoltarea modelului de simulare; ea trebuie să fie clară, concisă și precisă. În această etapă se stabilesc obiectivele simulării; întrebările la care trebuie să răspundă, ipotezele ce trebuie testate și efectele ce urmează a fi estimate. Întrebările trebuie să fie clare, ipotezele trebuie să fie însoțite de criterii de acceptare sau respingere, iar pentru efectele ce urmează a fi estimate trebuie stabilită precizia statistică a estimațiilor.

Colecționarea, analiza, interpretarea și prelucrarea primară a datelor

În această etapă se stabilește care sunt datele de observație necesare pentru studierea sistemului considerat și care sunt modalitățile de strângere a acestora. Această etapă este esențială deoarece colecționarea unor date eronate are mari consecințe în obținerea rezultatelor finale, motiv pentru care este necesară o analiză preliminară și o interpretare a lor pentru a depista eventualele neconcordanțe cu realitatea.

Formularea modelului de simulare

Pentru a construi un model matematic de simulare a unui sistem, componentelor sale li se asociază anumite variabile și parametri, unele dintre acestea

fiind cunoscute (controlabile) care se denumesc variabile și parametri de intrare, iar altele necunoscute (necontrolabile) denumite variabile și parametri de ieșire.

Modelul de simulare trebuie să conțină anumite variabile care să descrie stările componentelor sistemului (variabile de stare), o agendă care să memoreze evenimentele ce se produc în sistem și rutine pentru producerea (generarea) diferitelor tipuri de evenimente.

Construirea unui model de simulare diferă de la o problemă la alta, motiv pentru care nu pot fi stabilite niște reguli general valabile. Una dintre acestea se referă la numărul de variabile pe care le folosește modelul; un număr prea mare de variabile ar crea dificultăți în ceea ce privește stabilirea relațiilor funcționale, ar face ca modelul să fie mai puțin flexibil, iar timpul de calcul ar fi mult mai mare.

De mare importanță în realizarea modelelor de simulare este obținerea unui timp de calcul redus, fapt ce permite simularea diferitelor variante de sistem cu costuri (eforturi) rezonabile. O altă cerință de care trebuie să se țină seama la construirea modelelor de simulare se referă la mijloacele prin care poate fi verificată corectitudinea modelului și variantele ce urmează a fi simulate cu ajutorul calculatorului electronic – validarea modelului.

Estimarea parametrilor de intrare ai modelului

Parametrii de intrare ai modelului matematic de simulare se estimează prin metode statistice, folosind datele colecționate (în prima etapă) despre sistemul real. Caracteristicile operative pot avea forma unor ecuații sau sisteme de ecuații depinzând de anumiți parametri care pot fi estimați cu ajutorul tehnicilor specifice analizei regresiei.

Evaluarea performanțelor modelului și testarea parametrilor

Această „etapă” are ca scop verificarea modelului înainte ca el să fie programat. Se verifică dacă parametrii de intrare ai modelului au fost bine estimați (folosind testele de semnificație statistică), se verifică dacă modelul conține toate variabilele și parametrii esențiali precum și relațiile funcționale necesare reprezentării interdependențelor esențiale ale sistemului real. Dacă în urma acestor verificări se constată că o întrebare sau ipoteză nu este corect formulată, variabilele și parametrii nu au fost bine aleși, parametrii de intrare nu au fost bine estimați, sau se constată alte neconcordanțe în cadrul modelului, atunci toate etapele precedente vor fi reluate în vederea, corectării lor.

Descrierea algoritmului de simulare și scrierea programului de calcul

Pe baza rezultatelor etapelor precedente se construiește algoritmul de calcul care reprezintă succesiunea logică a evenimentelor ce urmează a fi reproduse cu calculatorul electronic.

Alegerea limbajului de programare depinde de mai mulți factori, din care se menționează: timpul calculator necesar simulării, forma sub care trebuie imprimare rezultatele simulării, experiența ca programator în limbajele amintite mai sus etc. Limbajele de simulare (specializate) fac mult mai ușoară descrierea unui sistem și a comportării lui în timp.

Validarea modelului

Validarea unui model, adică stabilirea adecvării modelului la realitate, este, de obicei, o sarcină complexă și dificilă. Valoarea unui model în raport cu contribuția sa

la studiul situației concrete modelate este determinată de gradul său de adecvare, adică de modul în care predicțiile concordă cu observațiile.

Metodele de validare a modelelor matematice de simulare nu sunt unice. O primă metodă constă în testarea modelului într-un caz particular, în care soluția se cunoaște sau poate fi dedusă cu ușurință pe cale analitică. A doua metodă constă în a compara rezultatele simulării cu datele obținute prin observarea comportării unor sisteme similare sau prin comparație cu evoluția trecută a sistemului real care a fost simulat. Variantele modelului care se dovedesc neadecvate sunt modificate până se ajunge la soluții care concordă cu realitatea.

Analiza datelor simulate

Rezultatele simulării ne prezintă care este „reacția” sistemului la modificarea valorilor variabilelor de intrare și, mai mult, în ele vom căuta răspunsurile la întrebările formulate la început. Acest lucru este posibil colecționând datele simulate, prelucrându-le calculând statisticile pentru testele de semnificație și apoi interpretând rezultatele.

Simularea fiabilității unui sistem în faza de concepție

Realizarea unor sisteme cu fiabilitate ridicată în faza de concepție se poate face prin simularea diferitelor structuri (variante de sistem), alegându-se aceea care corespunde cerințelor utilizatorului.

Algoritmul de calcul al fiabilității unui sistem

Calculul fiabilității unui sistem complex este o problemă dificilă; conduce la un volum mare de muncă și este greu de algoritmat. În asemenea cazuri, o evaluare numerică a funcției de fiabilitate poate fi realizată printr-o metodă experimentală, bazată pe programul MatLAB, cu ajutorul calculatorului.

Simulare utilizând programul Matlab

Fiabilitatea unui sistem poate fi evaluată dacă sunt cunoscute prin studii statistice și de probabilitate fiabilitățile componentelor acestuia. Pentru simularea unui studiu de fiabilitate trebuie precizate dacă componentele sunt conectate într-o schemă structurală de fiabilitate serie sau paralel (Fig. 3.1).. Pentru ca informația să treacă de la A la B, în schema serie trebuie ca toate componentele să fie în stare de funcționare, în timp ce într-o schemă structurală de fiabilitate paralel trebuie ca cel puțin o singură componentă să fie în stare de funcțiune.

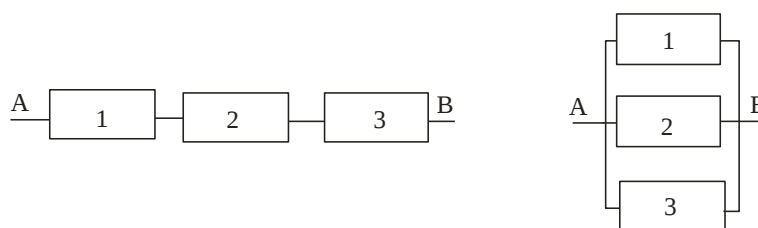


Fig. 3.1 – Scheme structurale de fiabilitate serie, paralel [167]

Simularea numerică a fiabilității unui sistem se face după următorul algoritm:

- pentru n componente conectate în serie, fiecare cu fiabilitatea p , se generează n numere uniform distribuite între zero și unu. Dacă toate cele n numere sunt mai mici sau egale cu p , se apreciază că sistemul funcționează.

- pentru n componente conectate în paralel, fiecare cu fiabilitatea p , se generează n numere uniform distribuite între zero și unu. Dacă cel puțin unul din cele n numere este mai mare sau egal cu p , se apreciază că sistemul funcționează.

Studiu de caz – termoscannerul tablourilor electrice ale unei SEAU

Cercetările experimentale în SEAU Constanța Sud au fost efectuate utilizând o cameră termografică FLIR E53, s-au urmărit și analizat panourile electrice de distribuție din stația de epurare precum și identificarea problemelor reale la echipamentele electrice ce deservește obiectivul. După cum se observă mai jos, majoritatea panourilor electrice funcționează la parametri nominali, dar s-au identificat și defecte de contact sau subdimensionari ale conductoarelor datorate fie dezechilibrelor între faze, fie adăugării în timp a unor consumatori suplimentari.

Din imaginile de mai jos (Fig. 3.19) se observă o încălzire la nivelul unui contact, datorat prinderii a doua conductoare cu secțiuni diferite în același contact. În punctul cel mai fierbinte apare o temperatură de 59,2°C, nu foarte mare față de temperaturile medii observate în restul tabloului, dar suficient să se identifice defectul. Se recomandă refacerea contactului.

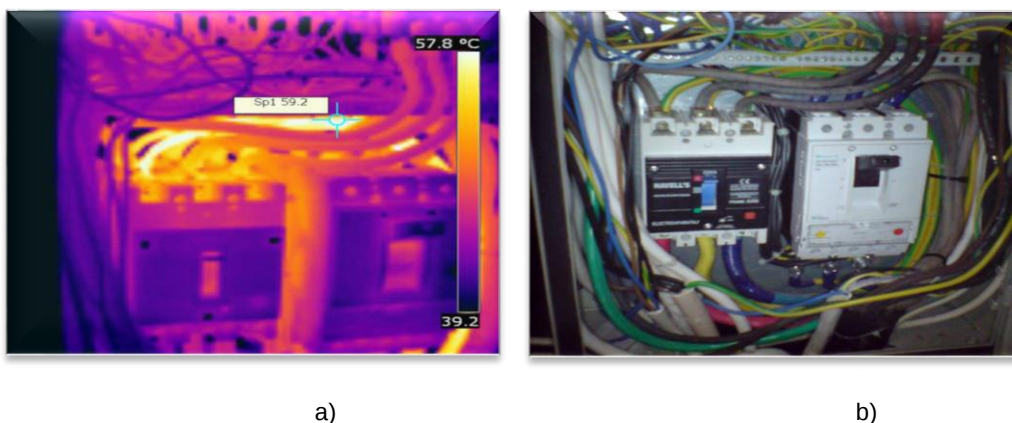


Figura 3.19 – Defect la bornele unui întrerupător [Fotografie originală F. Nicolescu]

În cea de-a doua imagine (Fig. 3.20) este prezentat un panou de siguranțe în care s-au identificat contacte imperfecte datorate strângerii insuficiente sau a efectului electrodinamic al curentului. Temperatura determinată de cameră este de 31°C. Se recomandă strângerea contactelor și înlocuirea celor două siguranțe (refacerea legăturilor electrice).[151]

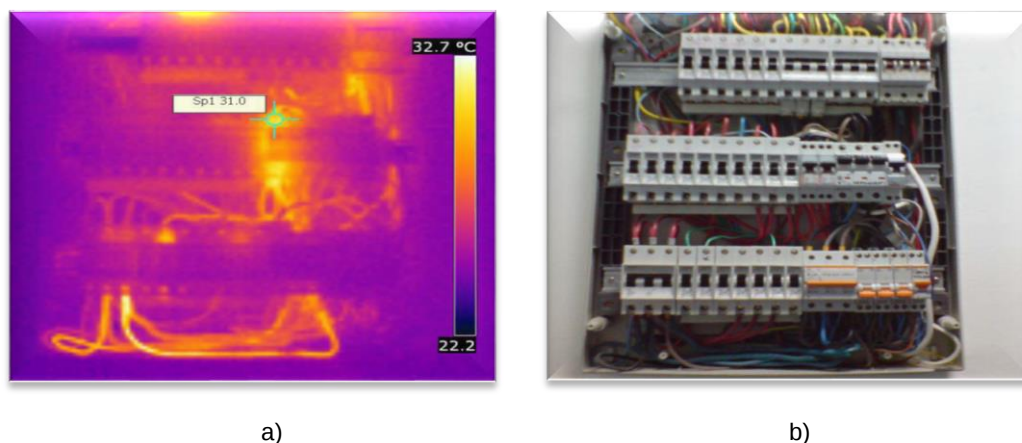


Figura 3.20 – Defect panou siguranțe [Fotografie originală F. Nicolescu]

În imaginile de mai jos (Fig. 3.21) se poate observa ca la acest panou majoritatea contactelor sunt slăbite.[151]

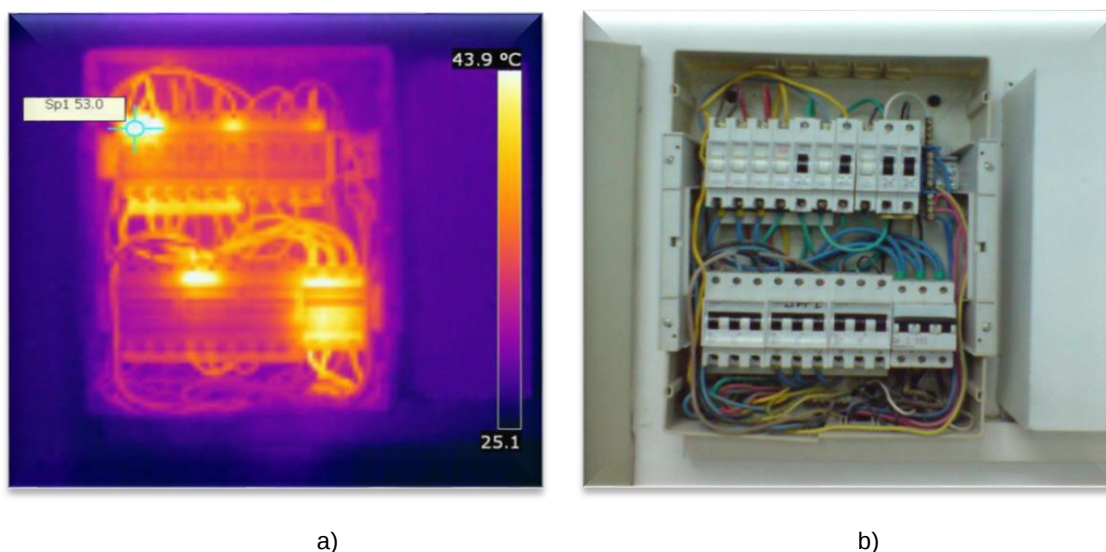


Figura 3.21 – Defect panou siguranțe [Fotografie originală F. Nicolescu]

Figura de mai jos (Fig. 3.22) prezintă un separator cu fuzibile tip MPR (mare putere de rupere) unde se observă un dezechilibru între faze. Pe doua dintre cele 3 faze se observa o temperatură apropiată (aprox. 54°C), iar pe cea de-a treia o temperatură de 72°C. Se recomandă o verificare în timp a încărcării pe faze și permutarea unor consumatori de pe cele 3 faze astfel încât să nu se depășească o diferență de încărcare, între cele 3 faze, de 10%.[151]

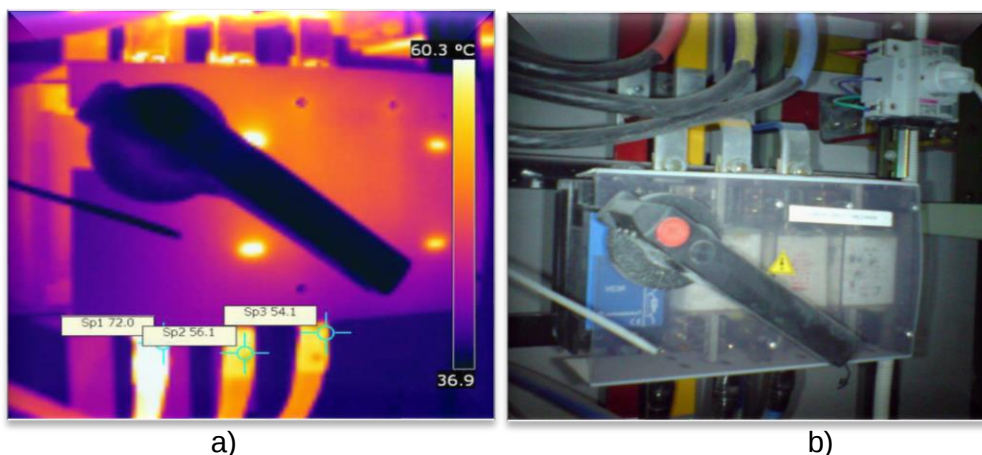


Figura 3.22 – Separator de faze în dezechilibru [Fotografie originală F. Nicolescu]

În această imagine (Fig. 3.23) se poate observa un defect la nivelul unei cleme de contact. La intrare există o temperatură de 69,5°C pe conductor și la ieșire 43,6°C, la o distanță între cabluri de maxim 4-5 cm. Se recomandă înlocuirea clemei respective și verificarea/refacerea contactelor.[151]

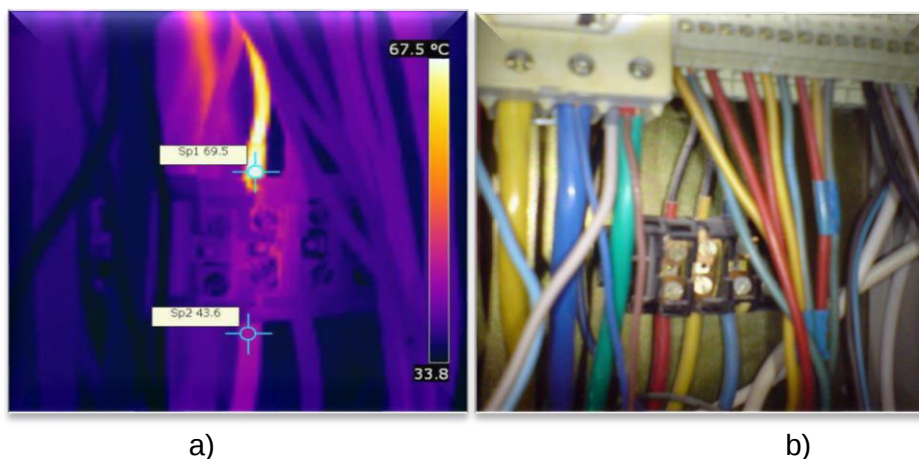


Figura 3.23 – Defect clemă [Fotografie originală F. Nicolescu]

În Figura 3.24 este prezentat un panou de siguranțe unde se remarcă faptul că în partea inferioară a siguranței, temperatura identificată de cameră la nivelul celor trei cele 3 faze este aproximativ egală, deci nu apare un dezechilibru între faze. Cel mai probabil contactele nu mai asigură o strângere optimă. Se recomandă înlocuirea siguranței.

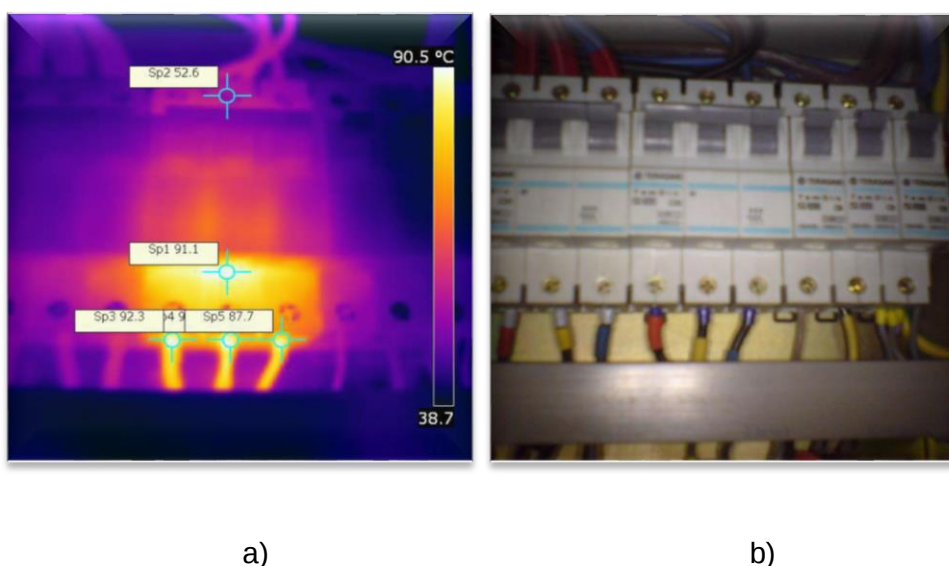


Figura 3.24 – Contacte imperfecte [Fotografie originală F. Nicolescu]

CAPITOLUL IV

4.1. Cercetări experimentale de fiabilitate a echipamentelor de epurare.

În acest capitol sunt redată sub formă tabelară datele provenite din exploatarea stației de epurare, pentru o perioadă de trei ani. O perioadă semnificativă a fost acordată extragerii din registre a datelor disponibile pentru perioada ianuarie 2017 – decembrie 2019, deoarece nu a existat o bază de date electronică. Această activitate a constatat în stabilirea tipului echipamentului, data constatării defecțiunii, data intrării în reparație, data ieșirii din reparație și defecțiunile remediate.

Defecțiunile remediate au fost repartizate în tabel în funcție de tipul de echipamentului, (tabelul nr. 4.1). Tabelul se prezintă sub forma următoare: număr

curent, tipul echipamentului, data constatării defectului, tipul defectului sau acțiunea corectivă, data reparației.

Pentru evaluarea fiabilității unui sistem, statistica matematică utilizează o serie de indicatori ce caracterizează anumite proprietăți cantitative. Acești indicatori sunt expresii statistice, pe baza cărora se evaluează anumite perioade de timp și analizând cauzele apariției defectelor vom stabili o strategie de mentenanță corespunzătoare în vederea îmbunătățirii fiabilității și a disponibilității unui sistem.

Indicatorii statisticii matematice care caracterizează fiabilitatea și pe baza cărora se fac analize comparative între diferite elemente, sisteme de același tip și exploatate în aceleași condiții de utilizare sunt:

1. Media timpului de bună funcționare - MTBF

Media timpului de bună funcționare este un indicator de fiabilitate frecvent utilizat în studiile de specialitate și prezintă două aspecte: în cazul sistemelor nereparabile reprezintă valoarea medie a timpului de funcționare până la defectare – MTTF (mean time to failure) iar în cazul sistemelor reparabile reprezintă valoarea medie a timpilor de funcționare între defectări – MTBF (mean time between failures).

Pentru a stabili legea de repartiție se organizează o observare statistică a timpului de bună funcționare a produsului.

2. Abaterea medie pătratică

Abaterea medie pătratică caracterizează împrăștierea variabilelor aleatoare – timpi de bună funcționare față de valoarea medie .

3. Funcția experimentală a fiabilității

Se determină ca raport între frecvența absolută a elementelor rămase în funcțiune la momentul t și numărul total de elemente.

4. Rata experimentală a defectărilor

Rata experimentală a defectărilor sau rata de defectare este definită ca probabilitatea de defectare la un moment dat, condiționată de buna funcționare a sistemului până la acel moment $\lambda(t)$. Se calculează ca raport între numărul elementelor k_i căzute în intervalul de timp (t_{i-1}, t_i) și numărul produselor N_{i-1} care nu au căzut până la momentul t_{i-1}

5. Statistica defectărilor

Prelucrând datele statistice (observate) funcție de intervalele de atenție, se obține repartiția statistică a defectărilor. Utilizând metoda grafică vom trece pe axa absciselor intervalele de timp egale iar pe axa ordonatelor numărul de elemente defecte și vom obține histograma frecvențelor absolute.

S-a realizat în programul Excel un tabel complex cu datele privind timpul de funcționare și timpul de reparare pentru echipamentele studiate pentru perioada ianuarie 2017 – decembrie 2019.

4.2. Pompe alimentare apă uzată

Scopul determinării parametrilor statistici ai fiabilității este obținerea de indici privind tipul legii de repartiție care ajustează cel mai bine datele experimentale.

Mod de lucru:

Preliminar cele n date experimentale, notate cu x_i se ordonează crescător. Se determină indicatorii de localizare, de variație și de formă a repartiției.

Indicatorii de localizare:

Media aritmetică:

$$Ma = \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.1)$$

Media geometrică:

$$Mg = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i} \quad (4.2)$$

Media armonică:

$$Mh = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}} \quad (4.3)$$

Media pătratică:

$$Mp = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i)^2} \quad (4.4)$$

Mediana:

$$me = \frac{\frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1}}{2}}{2} \quad (4.5)$$

Valoarea centrală

$$x_c = \frac{x_{\min} + x_{\max}}{2} = \frac{x_1 + x_n}{2} \quad (4.6)$$

Indicatorii de variație:

Dispersia

$$D = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \quad (4.7)$$

Dispersia corectată

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4.8)$$

Abaterea medie pătratică

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.9)$$

Abaterea medie pătratică corectată

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sigma \sqrt{\frac{n}{n-1}} \quad (4.10)$$

Coeficient de variație:

$$c_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (4.11)$$

În vederea determinării parametrilor funcției de repartiție a defectelor echipamentelor hidromecanice ce se regăsesc în stația de epurare folosită ca studiu de caz, se aplică metodele mai sus menționate pentru fiecare eșantion de date observate.

Folosind programul Excel se vor alcătui tabele cu datele necesare determinării tuturor parametrilor funcției de repartiție.

Parametri funcției de repartiție pentru cazul 1

Tabelul 4.2

n	Echipament	Xi	1/Xi	Xi^2	Xi-Xm	(Xi-Xm)^2
1	Pompă apă uzată Nr.1	720	0,001389	518400,00	-11949,88	142799688,25
2	Pompă apă uzată Nr.6	792	0,001263	627264,00	-11877,88	141084089,19
3	Pompă apă uzată Nr.7	936	0,001068	876096,00	-11733,88	137683995,07
4	Pompă apă uzată Nr.4	1704	0,000587	2903616,00	-10965,88	120250575,78
5	Pompă apă uzată Nr.6	2760	0,000362	7617600,00	-9909,88	98205768,25
6	Pompă apă uzată Nr.4	3216	0,000311	10342656,00	-9453,88	89375891,54
7	Pompă apă uzată Nr.3	3768	0,000265	14197824,00	-8901,88	79243509,43
8	Pompă apă uzată Nr.5	4656	0,000215	21678336,00	-8013,88	64222310,37
9	Pompă apă uzată Nr.8	6816	0,000147	46457856,00	-5853,88	34267938,60
10	Pompă apă uzată Nr.3	10320	0,000097	106502400,00	-2349,88	5521947,07
11	Pompă apă uzată Nr.4	10896	0,000092	118722816,00	-1773,88	3146658,60
12	Pompă apă uzată Nr.4	11856	0,000084	140564736,00	-813,88	662404,48
13	Pompă apă uzată Nr.4	11952	0,000084	142850304,00	-717,88	515355,07
14	Pompă apă uzată Nr.8	12384	0,000081	153363456,00	-285,88	81728,72
15	Pompă apă uzată Nr.7	12792	0,000078	163635264,00	122,12	14912,72
16	Pompă apă uzată Nr.9	13056	0,000077	170459136,00	386,12	149086,84
17	Pompă apă uzată Nr.1	14424	0,000069	208051776,00	1754,12	3076928,72
18	Pompă apă uzată Nr.2	14544	0,000069	211527936,00	1874,12	3512316,96
19	Pompă apă uzată Nr.4	14712	0,000068	216442944,00	2042,12	4170244,48
20	Pompă apă uzată Nr.6	14808	0,000068	219276864,00	2138,12	4571547,07
21	Pompă apă uzată Nr.5	14928	0,000067	222845184,00	2258,12	5099095,31
22	Pompă apă uzată Nr.9	15600	0,000064	243360000,00	2930,12	8585589,43
23	Pompă apă uzată Nr.8	16200	0,000062	262440000,00	3530,12	12461730,60
24	Pompă apă uzată Nr.5	16296	0,000061	265559616,00	3626,12	13148729,19
25	Pompă apă uzată Nr.6	16392	0,000061	268697664,00	3722,12	13854159,78

n	Echipament	X_i	$1/X_i$	X_i^2	$X_i - X_m$	$(X_i - X_m)^2$
26	Pompă apă uzată Nr.4	16680	0,000060	278222400,00	4010,12	16081043,54
27	Pompă apă uzată Nr.4	17376	0,000058	301925376,00	4706,12	22147543,31
28	Pompă apă uzată Nr.3	18792	0,000053	353139264,00	6122,12	37480324,48
29	Pompă apă uzată Nr.4	18888	0,000053	356756544,00	6218,12	38664987,07
30	Pompă apă uzată Nr.8	21072	0,000047	444029184,00	8402,12	70595580,96
31	Pompă apă uzată Nr.6	21432	0,000047	459330624,00	8762,12	76774705,66
32	Pompă apă uzată Nr.5	21600	0,000046	466560000,00	8930,12	79747001,19
33	Pompă apă uzată Nr.6	23952	0,000042	573698304,00	11282,12	127286178,60
34	Pompă apă uzată Nr.2	24456	0,000041	598095936,00	11786,12	138912569,19

Eșantionul studiat se referă la un număr de nouă pompe ce au rolul de a transporta apa uzată dintr-un bazin de colectare către instalațiile de epurare. Perioada studiată a fost trei ani de zile, de la 1 ianuarie 2017 până la 31 decembrie 2019. Pompele studiate sunt echipamente electromecanice antrenate de motoare electrice ce au o putere instalată/unitate $P_{\text{inst}} = 11$ kW. În perioada studiată au fost identificate și înregistrate un număr de treizeci și patru de defecte. Cauze variază de la echipament la echipament, dar o observare amănunțită a acestora atrage atenția asupra condițiilor de lucru.

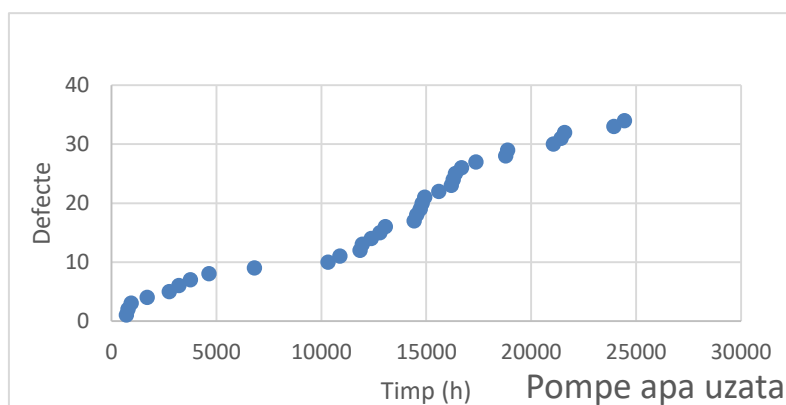


Fig. 4.1- Rata cumulată a defectelor observate în intervalul de timp studiat pentru pompele de apă brută [Figură originală F. Nicolescu]

În urma analizei statistice a datelor din tabelul 4.2, cu ajutorul formulelor (4.1-4.11) au fost determinați indicatorii de localizare și de variație ai șirului de date experimentale. Aceștia sunt prezentați în tabelul 4.3

Tabelul 4.3

Indicatori de localizare					
Media aritmetică(X_m)	Media geometrică	Media armonică	Media pătratică	Mediana	Valoare centrală
12669,88	9304,25	4699,65	2469,76	14484	12588
Indicatori de variație					
Dispersia D	Dispersia corectată s^2	Abaterea medie pătratică σ	Abaterea medie pătratică corectată	Amplitudinea W	Coefficient de variație

46864592,22	48284731,38	6845,77	6948,72	23736,00	0,54032
-------------	-------------	---------	---------	----------	---------

4.3. Pompe alimentare polielectrolit

Preliminar cele n date experimentale, notate cu x_i se ordonează crescător. Se determină indicatorii de localizare, de variație și de formă a repartiției.

În vederea determinării parametrilor funcției de repartiție a defectelor echipamentelor hidromecanice ce se regăsesc în stația de epurare folosită ca studiu de caz, se aplică metodele mai sus menționate pentru fiecare eșantion de date observate.

Folosind programul Excel se vor alcătui tabele cu datele necesare determinării tuturor parametrilor funcției de repartiție.

Parametri funcției de repartiție pentru cazul 2

Tabelul 4.4

nr	Echipament	X_i	$1/X_i$	X_i^2	$X_i - X_m$	$(X_i - X_m)^2$
1	Pompă alimentare polielectrolit Nr.1	432	0,0023148	186624	-13172,09	173504034,61
2	Pompă alimentare polielectrolit Nr.8	552	0,0018116	304704	-13052,09	170357132,29
3	Pompă alimentare polielectrolit Nr.3	552	0,0018116	304704	-13052,09	170357132,29
4	Pompă alimentare polielectrolit Nr.4	552	0,0018116	304704	-13052,09	170357132,29
5	Pompă alimentare polielectrolit Nr.8	552	0,0018116	304704	-13052,09	170357132,29
6	Pompă alimentare polielectrolit Nr.2	792	0,0012626	627264	-12812,09	164149727,64
7	Pompă alimentare polielectrolit Nr.4	2592	0,0003858	6718464	-11012,09	121266192,75
8	Pompă alimentare polielectrolit Nr.2	2832	0,0003531	8020224	-10772,09	116037988,10
9	Pompă alimentare polielectrolit Nr.1	2976	0,0003360	8856576	-10628,09	112956361,31
10	Pompă alimentare polielectrolit Nr.1	7224	0,0001384	52186176	-6380,09	40705586,99
11	Pompă alimentare polielectrolit Nr.2	7224	0,0001384	52186176	-6380,09	40705586,99
12	Pompă alimentare polielectrolit Nr.1	7344	0,0001362	53934336	-6260,09	39188764,66
13	Pompă alimentare polielectrolit Nr.10	7464	0,0001340	55711296	-6140,09	37700742,33
14	Pompă alimentare polielectrolit Nr.11	8904	0,0001123	79281216	-4700,09	22090874,43
15	Pompă alimentare polielectrolit Nr.1	10176	0,0000983	103550976	-3428,09	11751821,78

nr	Echipament	X_i	$1/X_i$	X_i^2	$X_i - X_m$	$(X_i - X_m)^2$
16	Pompă alimentare polielectrolit Nr.8	11712	0,0000854	137170944	-1892,09	3580016,01
17	Pompă alimentare polielectrolit Nr.8	14568	0,0000686	212226624	963,91	929116,66
18	Pompă alimentare polielectrolit Nr.6	14904	0,0000671	222129216	1299,91	1689758,15
19	Pompă alimentare polielectrolit Nr.1	15432	0,0000648	238146624	1827,91	3341243,92
20	Pompă alimentare polielectrolit Nr.2	15456	0,0000647	238887936	1851,91	3429559,45
21	Pompă alimentare polielectrolit Nr.10	16104	0,0000621	259338816	2499,91	6249534,89
22	Pompă alimentare polielectrolit Nr.4	16680	0,0000600	278222400	3075,91	9461203,73
23	Pompă alimentare polielectrolit Nr.3	16728	0,0000598	279825984	3123,91	9758794,80
24	Pompă alimentare polielectrolit Nr.1	17688	0,0000565	312865344	4083,91	16678296,19
25	Pompă alimentare polielectrolit Nr.2	17688	0,0000565	312865344	4083,91	16678296,19
26	Pompă alimentare polielectrolit Nr.1	17904	0,0000559	320553216	4299,91	18489200,01
27	Pompă alimentare polielectrolit Nr.2	18288	0,0000547	334450944	4683,91	21938984,57
28	Pompă alimentare polielectrolit Nr.10	18456	0,0000542	340623936	4851,91	23541001,31
29	Pompă alimentare polielectrolit Nr.3	19080	0,0000524	364046400	5475,91	29985557,22
30	Pompă alimentare polielectrolit Nr.4	19080	0,0000524	364046400	5475,91	29985557,22
31	Pompă alimentare polielectrolit Nr.1	19104	0,0000523	364962816	5499,91	30248976,75
32	Pompă alimentare polielectrolit Nr.1	19248	0,0000520	370485504	5643,91	31853685,96
33	Pompă alimentare polielectrolit Nr.3	19320	0,0000518	373262400	5715,91	32671592,57
34	Pompă alimentare polielectrolit Nr.1	19680	0,0000508	387302400	6075,91	36916645,59
35	Pompă alimentare polielectrolit Nr.3	19944	0,0000501	397763136	6339,91	40194420,47
36	Pompă alimentare polielectrolit Nr.2	20904	0,0000478	436977216	7299,91	53288641,87

nr	Echipament	X_i	$1/X_i$	X_i^2	$X_i - X_m$	$(X_i - X_m)^2$
37	Pompă alimentare polielectrolit Nr.2	21480	0,0000466	461390400	7875,91	62029910,71
38	Pompă alimentare polielectrolit Nr.8	21792	0,0000459	474891264	8187,91	67041820,66
39	Pompă alimentare polielectrolit Nr.5	21792	0,0000459	474891264	8187,91	67041820,66
40	Pompă alimentare polielectrolit Nr.6	21792	0,0000459	474891264	8187,91	67041820,66
41	Pompă alimentare polielectrolit Nr.4	22680	0,0000441	514382400	9075,91	82372087,45
42	Pompă alimentare polielectrolit Nr.3	23184	0,0000431	537497856	9579,91	91774617,68
43	Pompă alimentare polielectrolit Nr.3	24120	0,0000415	581774400	10515,91	110584299,54

Eșantionul studiat se referă la un număr de 10 pompe ce au rolul de a transporta apa cu agentul de coagulare (FeSO_4) dintr-un bazin de amestec și reacție. Perioada studiată a fost trei ani de zile, de la 1 ianuarie 2017 până la 31 decembrie 2019. Pompele studiate sunt echipamente electromecanice antrenate de motoare electrice ce au o putere instalată/unitate $P_{\text{inst}} = 5 \text{ kW}$. În perioada studiată au fost identificate și înregistrate un număr de 43 de defecte. Principalele cauze variază de la echipament la echipament, dar o observare amănunțită a acestora atrage atenția asupra condițiilor de lucru.

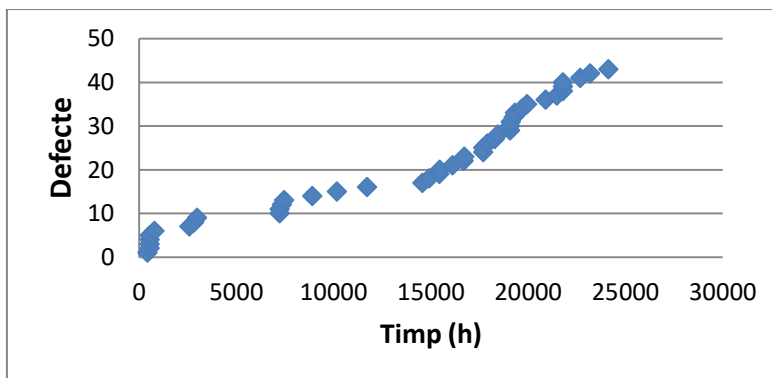


Fig. 4.2- Rata cumulată a defectelor observate în intervalul de timp studiat pentru pompele de alimentare polielectrolit [Figură originală F. Nicolescu]

În urma analizei statistice a datelor din tabelul 4.4, cu ajutorul formulelor (4.1-4.11) au fost determinați indicatorii de localizare și de variație ai șirului de date experimentale. Aceștia sunt prezentați în tabelul 4.5

Tabelul 4.5

Indicatori de localizare					
Media aritmetică ($\bar{X}_m$)	Media geometrică	Media armonică	Media pătratică	Mediana	Valoare centrală
13604,09	8862,00	0,000330	2381,69	16392	12276
Indicatori de variație					
Dispersia D	Dispersia corectată s^2	Abaterea medie pătratică σ	Abaterea medie pătratică corectată	Amplitudinea W	Coeficient de variație
58843783,06	60244825,51	7670,97	7761,75	23688,00	0,56387

4.4. Tablouri electrice

Preliminar cele n date experimentale, notate cu x_i se ordonează crescător. Se determină indicatorii de localizare, de variație și de formă a repartiției.

În vederea determinării parametrilor funcției de repartiție a defectelor echipamentelor hidromecanice ce se regăsesc în stația de epurare folosită ca studiu de caz, se aplică metodele mai sus menționate pentru fiecare eșantion de date observate.

Folosind programul Excel se vor alcătui tabele cu datele necesare determinării tuturor parametrilor funcției de repartiție.

Parametri funcției de repartiție pentru cazul 3**Tabelul 4.6**

nr	Echipament	X_i	$1/X_i$	X_i^2	$X_i - \bar{X}_m$	$(X_i - \bar{X}_m)^2$
1	Tablou Electric Nr.1	144	0,00694	20736	-10654,40	113516239,36
2	Tablou Electric Nr.1	240	0,00417	57600	-10558,40	111479810,56
3	Tablou Electric Nr.6	912	0,00110	831744	-9886,40	97740904,96
4	Tablou Electric Nr.8	2688	0,00037	7225344	-8110,40	65778588,16
5	Tablou Electric Nr.4	3384	0,00030	11451456	-7414,40	54973327,36
6	Tablou Electric Nr.5	7224	0,00014	52186176	-3574,40	12776335,36
7	Tablou Electric Nr.8	9408	0,00011	88510464	-1390,40	1933212,16
8	Tablou Electric Nr.9	10536	0,00009	111007296	-262,40	68853,76
9	Tablou Electric Nr.5	14760	0,00007	217857600	3961,60	15694274,56
10	Tablou Electric Nr.5	14880	0,00007	221414400	4081,60	16659458,56
11	Tablou Electric Nr.6	15600	0,00006	243360000	4801,60	23055362,56
12	Tablou Electric Nr.2	17688	0,00006	312865344	6889,60	47466588,16
13	Tablou Electric Nr.6	20952	0,00005	438986304	10153,60	103095592,96
14	Tablou Electric Nr.9	20976	0,00005	439992576	10177,60	103583541,76

nr	Echipament	X_i	$1/X_i$	X_i^2	$X_i - X_m$	$(X_i - X_m)^2$
15	Tablou Electric Nr.4	22584	0,00004	510037056	11785,60	138900367,36

Eșantionul studiat se referă la un număr de 9 Tablouri Electrice ce au rolul de a alimenta și proteja echipamentele stației de epurare de eventualele variații de tensiune. Perioada studiată a fost trei ani de zile, de la 1 ianuarie 2017 până la 31 decembrie 2019. În perioada studiată au fost identificate și înregistrate un număr de 15 de defecte. Principalele cauze variază de la echipament la echipament, dar o observare amănunțită a acestora atrage atenția asupra condițiilor de lucru.

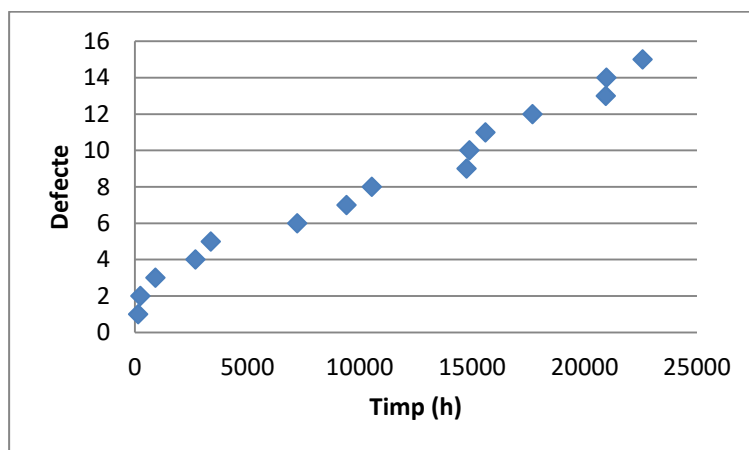


Fig. 4.3- Rata cumulată a defectelor observate în intervalul de timp studiat pentru Tablouri Electrice [Figură originală F. Nicolescu]

În urma analizei statistice a datelor din tabelul 4.6, cu ajutorul formulelor (4.1-4.11) au fost determinați indicatorii de localizare și de variație ai șirului de date experimentale. Aceștia sunt prezentați în tabelul 4.7

Tabelul 4.7

Indicatori de localizare					
Media aritmetică (X_m)	Media geometrică	Media armonică	Media pătratică	Mediana	Valoare centrală
10798,40	5488,34	0,000907	3435,63	9972	5471,2
Indicatori de variație					
Dispersia D	Dispersia corectată s^2	Abaterea medie pătratică σ	Abaterea medie pătratică corectată	Amplitudinea W	Coeficient de variație
60448163,84	64765889,83	7774,84	8047,73	22440,00	0,72000

4.5. Grătare

Preliminar cele n date experimentale, notate cu x_i se ordonează crescător. Se determină indicatorii de localizare, de variație și de formă a repartiției.

În vederea determinării parametrilor funcției de repartiție a defectelor echipamentelor hidromecanice ce se regăsesc în stația de epurare folosită ca studiu

de caz, se aplică metodele mai sus menționate pentru fiecare eșantion de date observate.

Parametri funcției de repartiție pentru cazul 4

Tabelul 4.8

n	Echipament	X_i	$1/X_i$	X_i^2	$X_i - X_m$	$(X_i - X_m)^2$
1	Grătar Nr.5	360	0,002778	129600,00	-20808,00	432972864,00
2	Grătar Nr.4	960	0,001042	921600,00	-20208,00	408363264,00
3	Grătar Nr.3	984	0,001016	968256,00	-20184,00	407393856,00
4	Grătar Nr.3	1248	0,000801	1557504,00	-19920,00	396806400,00
5	Grătar Nr.3	1416	0,000706	2005056,00	-19752,00	390141504,00
6	Grătar Nr.3	1584	0,000631	2509056,00	-19584,00	383533056,00
7	Grătar Nr.3	1704	0,000587	2903616,00	-19464,00	378847296,00
8	Grătar Nr.3	3408	0,000293	11614464,00	-17760,00	315417600,00
9	Grătar Nr.5	6816	0,000147	46457856,00	-14352,00	205979904,00
10	Grătar Nr.4	6888	0,000145	47444544,00	-14280,00	203918400,00
11	Grătar Nr.5	8112	0,000123	65804544,00	-13056,00	170459136,00
12	Grătar Nr.5	8112	0,000123	65804544,00	-13056,00	170459136,00
13	Grătar Nr.3	8496	0,000118	72182016,00	-12672,00	160579584,00
14	Grătar Nr.5	8976	0,000111	80568576,00	-12192,00	148644864,00
15	Grătar Nr.3	9624	0,000104	92621376,00	-11544,00	133263936,00
16	Grătar Nr.4	9624	0,000104	92621376,00	-11544,00	133263936,00
17	Grătar Nr.4	9696	0,000103	94012416,00	-11472,00	131606784,00
18	Grătar Nr.3	9696	0,000103	94012416,00	-11472,00	131606784,00
19	Grătar Nr.1	10128	0,000099	102576384,00	-11040,00	121881600,00
20	Grătar Nr.2	10272	0,000097	105513984,00	-10896,00	118722816,00
21	Grătar Nr.5	10752	0,000093	115605504,00	-10416,00	108493056,00
22	Grătar Nr.1	10632	0,000094	113039424,00	-10536,00	111007296,00
23	Grătar Nr.5	11112	0,000090	123476544,00	-10056,00	101123136,00
24	Grătar Nr.5	12384	0,000081	153363456,00	-8784,00	77158656,00
25	Grătar Nr.4	12528	0,000080	156950784,00	-8640,00	74649600,00
26	Grătar Nr.1	12528	0,000080	156950784,00	-8640,00	74649600,00
27	Grătar Nr.5	12792	0,000078	163635264,00	-8376,00	70157376,00
28	Grătar Nr.4	14640	0,000068	214329600,00	-6528,00	42614784,00
29	Grătar Nr.3	14952	0,000067	223562304,00	-6216,00	38638656,00
30	Grătar Nr.2	15024	0,000067	225720576,00	-6144,00	37748736,00
31	Grătar Nr.4	15216	0,000066	231526656,00	-5952,00	35426304,00

32	Grătar Nr.5	16032	0,000062	257025024,00	-5136,00	26378496,00
33	Grătar Nr.4	17496	0,000057	306110016,00	-3672,00	13483584,00
34	Grătar Nr.4	20712	0,000048	428986944,00	-456,00	207936,00

Eșantionul studiat se referă la un număr de 5 grătare ce au rolul de a reține particulele coloidale sedimentabile din apa uzată. Perioada studiată a fost trei ani de zile, de la 1 ianuarie 2017 până la 31 decembrie 2019. Șnecurile sunt antrenate de motoare electrice ce au o putere instalată/unitate $P_{\text{inst}} = 30 \text{ kW}$. În perioada studiată au fost identificate și înregistrate un număr de 34 de defecte. Principalele cauze variază de la echipament la echipament, dar o observare amănunțită a acestora atrage atenția asupra condițiilor de lucru.

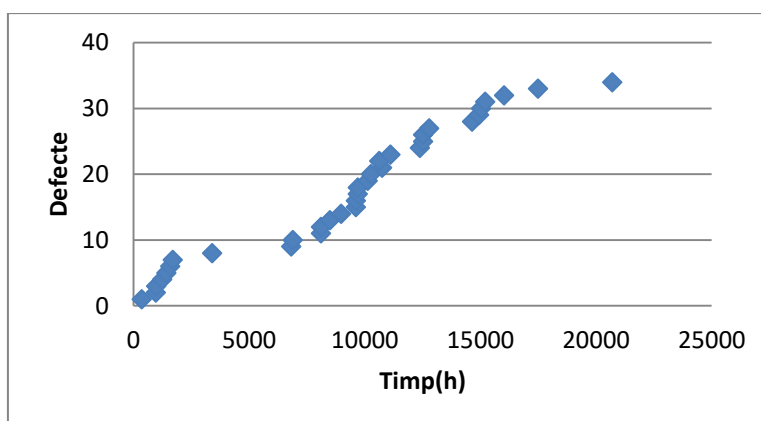


Fig. 4.4 - Rata cumulată a defectelor observate în intervalul de timp studiat pentru Grătare
[Figură originală F. Nicolescu]

În urma analizei statistice a datelor din tabelul 4.8, cu ajutorul formulelor (4.1-4.11) au fost determinați indicatorii de localizare și de variație ai șirului de date experimentale. Aceștia sunt prezentați în tabelul 4.9

Tabelul 4.9

Indicatori de localizare					
Media aritmetică (Xm)	Media geometrică	Media armonică	Media pătratică	Mediana	Valoare centrală
21168,00	6676,54	3312,74	1825,55	9696	10536
Indicatori de variație					
Dispersia D	Dispersia corectată s ²	Abaterea medie pătratică σ	Abaterea medie pătratică corectată	Amplitudinea W	Coeficient de variație
169282351,06	174412119,3	13010,86	13206,52	20352,00	0,61465

CAPITOLUL V

5.1 Modelarea matematică a funcției de fiabilitate a echipamentelor din treapta mecanică a stațiilor de epurare

Cazul 1 – Pompe apă uzată

Indicatorii de fiabilitate sunt estimați matematic în baza “istoricului evenimentelor” - respectiv, în urma analizei unor informații disponibile, legate de comportarea echipamentului pe perioada cât a fost supus observației.

Noțiunea de *variabilă aleatoare* este cea care realizează modelarea matematică a dezideratului. Se asigură, astfel, posibilitatea de a calcula probabilitățile tuturor evenimentelor ce prezintă interes în legătură cu o anumită variabilă aleatoare. Exemple de variabile aleatoare, folosite în teoria fiabilității, sunt **numărul defecțiunilor** ce apar într-o anumită perioadă de funcționare a unui sistem, **timpul de funcționare** fără defecțiuni a unui element, nivelul parametrilor tehnologici ai unui sistem, etc.[119]

Din baza de date creată în urma observațiilor în timp a instalațiilor din Stația de epurare studiată, bază de date ce aparține autorului și cuprinde Fișele de incidente/intervenții, pentru toate echipamentele, s-au ales următoarele *variabile aleatoare*:

- momentele de timp, t_{zi} (exprimate în zile), în care s-a întrerupt funcționarea echipamentelor de pompare a apei brute către instalația de sitare, au fost luate în considerare doar acele evenimente ce au fost urmate de acțiuni corective în instalație în vederea repunerii sistemului în funcțiune;
- durata acțiunilor corective t_{ri} (exprimate în minute), pentru repunerea liniei în funcțiune.

În urma rulării programului se obțin următoarele grafice: graficul timpilor de funcționare între reparații, graficul timpilor de reparație și histograma timpilor de reparație și funcționare.

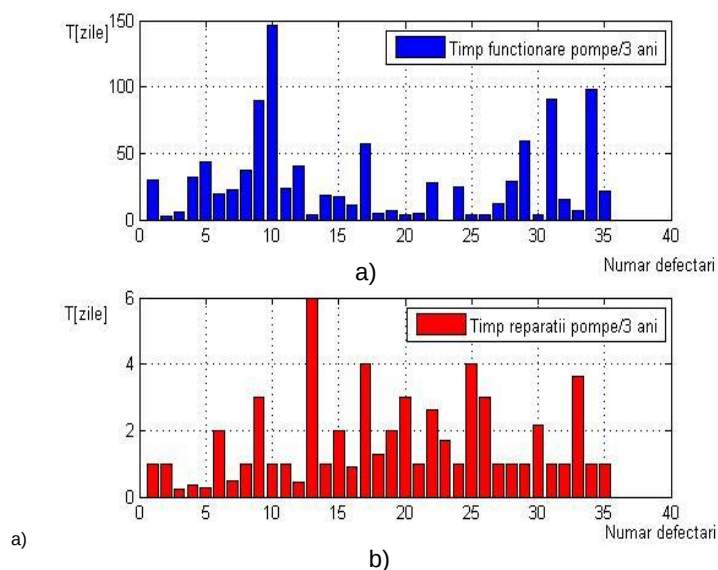


Fig. 5.2 Variația timpilor de funcționare și reparație pentru pompe apă uzată

[Figură originală F. Nicolescu]

În figura 5.2 se observă perioada de utilizare a echipamentelor de pompare a apei uzate între două defectări consecutive. De asemenea, se observă faptul că pentru 10 din defecte perioada de funcționare până la următoarea cădere, a fost de aproximativ 150 de zile.

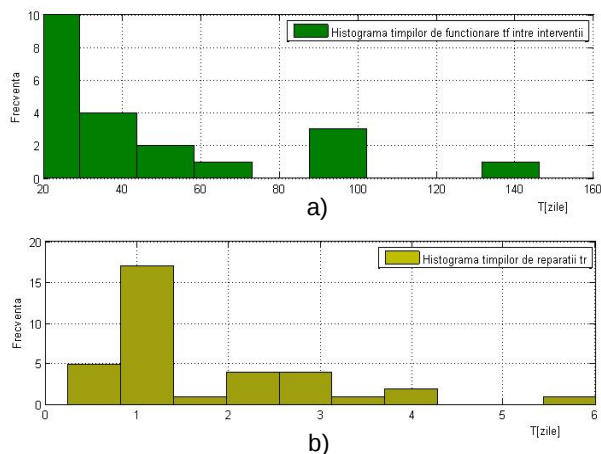


Fig. 5.3 Histograma timpilor de funcționare și reparație pentru pompe apă uzată
[Figură originală F. Nicolescu]

Din figura 5.3 se observă faptul că majoritatea defectelor, peste 90%, au fost remediate într-o perioadă foarte scurtă, respectiv 24h.

Pentru valorile aleatoare (experimentale) din tabelul 5.1, se trasează graficul funcției de fiabilitate și nonfiabilitate.

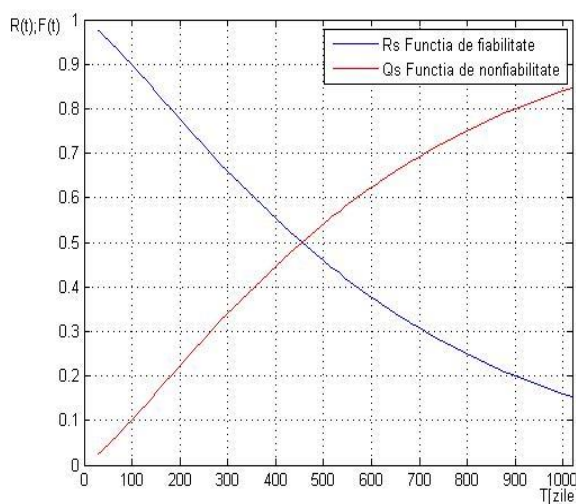


Fig. 5.4 Variația funcție de fiabilitate și nonfiabilitate pentru pompe apă uzată
[Figură originală F. Nicolescu]

Se observă că fiabilitatea echipamentelor, figura 5.4, studiate scade rapid, ajungând la valoarea de 50% după ce au funcționat numai 450 de ore. Deoarece valorile obținute din exploatare sunt trunchiate, perioada de observație nu coincide cu perioada punerii în funcțiune a instalației, graficul variației funcției de fiabilitate este considerat corect. Perioada studiată poate fi considerată perioada defectelor târzii,

unde rata defectelor este foarte mare, iar probabilitatea de apariție a unui defect este foarte crescută.

Funcția experimentală aleasă nu ține cont de factorii externi ce influențează rata fiabilității. Aceasta se bazează numai pe duratele de timp determinate în tabelul 5.1.

În tabelul 5.3 se prezintă factorii care influențează rata de defectare a echipamentelor.

Tabelul 5.3

Nr evenimente	10	5	12	8
Anotimp	Iarnă	Primăvară	Vară	Toamnă
Pondere	29%	14%	34%	23%

În urma analizei tipurilor de defecte și a perioadei de timp în care acestea apar se poate concluziona că o influență importantă asupra fiabilității echipamentelor de pompare o au defectele cauzate de cedarea rulmenților, blocajele mecanice și defecțiuni survenite la sistemul de etanșare și lagăre. Majoritatea defectelor survin în perioadele reci și în perioadele de debit crescut, când echipamentele sunt solicitate mai mult, conform datelor din tabelul 5.3.

Luând în considerare datele experimentale din tabelele 5.2 și 5.3 în funcția experimentală analizată se vor introduce o serie de coeficienți ce țin seama de aceste tipuri de defecte.

Funcția propusă are următoarea expresie matematică:

$$RN(t) = K \cdot \beta \cdot \left(\frac{F_p \cdot F \cdot F_u}{t} \right)^{(\beta-1)} \cdot \exp \left[-\lambda \cdot \left(a + b \cdot \frac{t}{T_N} \right) \right] \quad (5.19)$$

unde:

k – constantă de calibrare

F_p – factor de putere ; $F_p = \frac{P_{nom}}{P_{abs}}$

F- factor de anotimp

F_u - factor de utilizare – ține cont de regimul de funcționare: intermitent sau continuu

$$F_u = \frac{O_{reft}}{24} \quad (5.20)$$

a- factor de mediu

b-factor de corecție ce ține cont de importanța echipamentului

T_N – timpul normal de funcționare – pentru echipamentele de pompare a apei brute se consideră a fi de 15 ani

λ – parametru de scară

β - parametru de formă

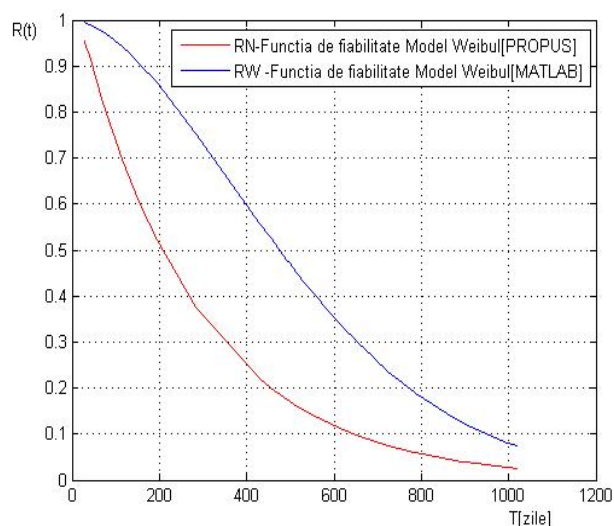


Fig. 5.5 Variația funcției de fiabilitate și nonfiabilitate pentru modelul matematic îmbunătățit [Figură originală F. Nicolescu]

În urma rulării programului rezultă următoarele valori pentru coeficienții funcției considerate:

General model:

$$f(x) = a \cdot \exp(-b \cdot 10^{-3} \cdot (c + d \cdot x / 10000))$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 1.176 \quad (-4.348e+07, 4.348e+07)$$

$$b = 140.7 \quad (-5.248e+08, 5.248e+08)$$

$$c = 0.1901 \quad (-2.628e+08, 2.628e+08)$$

$$d = 141.2 \quad (-5.267e+08, 5.267e+08)$$

Goodness of fit:

SSE: 0.094

R-square: 0.9698

Adjusted R-square: 0.9668

RMSE: 0.05506

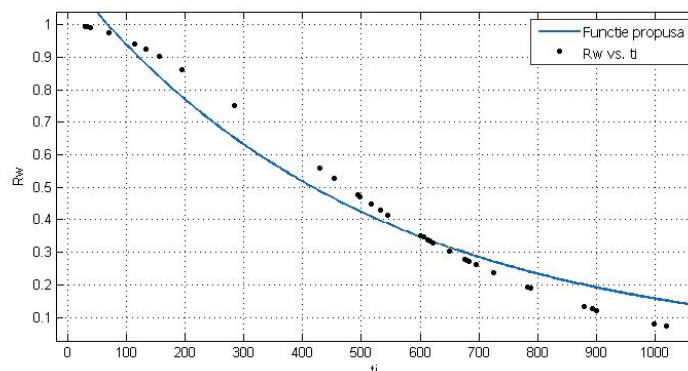


Fig. 5.6 Variația funcției de fiabilitate pentru modelul matematic îmbunătățit [Figură originală F. Nicolescu]

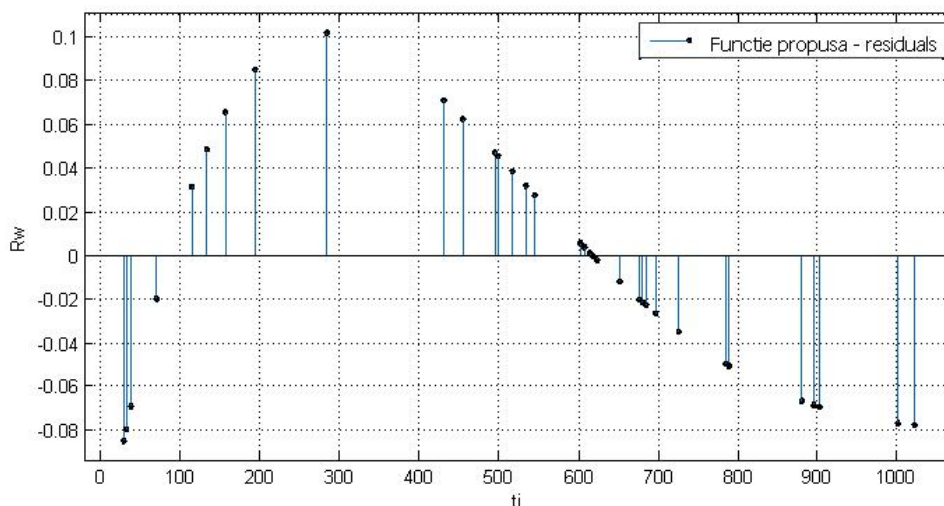


Fig. 5.7 Valoarea erorilor [Figură originală F. Nicolescu]

Din figurile 5.6 și 5.7 se observă că eroarea calculată între funcția propusă și cea reală se încadrează în limitele de valori $[+0.1; -0.08]$, deci este mai mică de 1%. Se poate afirma că funcția propusă este viabilă.

În urma analizei efectuate, rezultă următoarea funcție matematică pentru determinarea fiabilității:

Caz 1		
		k=1
	$f(x) = a \cdot \exp(-b \cdot 10^{-3} \cdot (c + d \cdot x / 10000))$	Fp=0,75
	Coefficients (with 95% confidence bounds):	Fu=0,33
	a = 1.176 (-4.348e+07, 4.348e+07)	F=3,415
	b = 140.7 (-5.248e+08, 5.248e+08)	a=0,1901
	c = 0.1901 (-2.628e+08, 2.628e+08)	b=141,2
	d = 141.2 (-5.267e+08, 5.267e+08)	
Caz 2		
		k=1
	$f(x) = a \cdot \exp(-b \cdot 10^{-3} \cdot (c + d \cdot x / 10000))$	Fp=0,8
	Coefficients (with 95% confidence bounds):	Fu=0,08
	a = 1.134 (-1.045e+06, 1.045e+06)	F=13,15
	b = 198.7 (-8.016e+08, 8.016e+08)	a=0,07419
	c = 0.07419 (-4.673e+06, 4.673e+06)	b=198,6
	d = 198.6 (-8.014e+08, 8.014e+08)	
Caz 3		
		k=1

	$f(x) = a \cdot \exp(-b \cdot 10^{-3} \cdot (c + d \cdot x / 35000))$	Fp=0,62
	Coefficients (with 95% confidence bounds):	Fu=0,04
	a = 1.286 (-1.1e+06, 1.1e+06)	F=29,37
	b = 256 (-6.806e+08, 6.806e+08)	a=0,866
	c = 0.866 (-2.208e+06, 2.208e+06)	b=256
	d = 256 (-6.806e+08, 6.806e+08)	
Caz 4		
		k=1
	$f(x) = a \cdot \exp(-b \cdot 10^{-3} \cdot (c + d \cdot x / 8500))$	Fp=0,7
	Coefficients (with 95% confidence bounds):	Fu=1
	a = 1.098 (-1.539e+06, 1.539e+06)	F=1,21
	b = 439.6 (-1.253e+09, 1.253e+09)	a=0,008092
	c = 0.008092 (-3.189e+06, 3.189e+06)	b=439,6
	d = 439.6 (-1.253e+09, 1.253e+09)	

CONCLUZII GENERALE

Necesitatea abordării acestui subiect provine din faptul că toate echipamentele din stațiile de epurare trebuie să funcționeze continuu în condiții grele de lucru. Cerințele impuse stațiilor de epurare sunt stricte, reglementate de legislația actuală, și presupun funcționarea continuă a echipamentelor la parametrii inițiali de proiectare în vederea menținerii procesului de epurare a apelor uzate la o eficiență ridicată.

Se accentuează faptul că procesele din SEAU au un caracter de continuitate impus de însăși faptul că din rețeaua de canalizare intră mereu apa în stație. Procesele nu pot fi gestionate independent. Aceasta impune o abordare specială și justifică caracterul special asupra funcționării utilajelor și echipamentelor care trebuie să aibă o fiabilitate și durabilitate ridicate.

Oportunitatea dezvoltării subiectului ales este de a trage un semnal de alarmă autorităților în vederea introducerii în documentațiile de atribuire și în normativele de proiectare a indicatorilor de fiabilitate pentru echipamentele ce vor fi utilizate în exploatare.

Analizele de fiabilitate au ca scop studiul determinării performanțelor și îmbunătățirea fiabilității, realizabile pe baza datelor din încercări și exploatare. Una dintre cerințele importante în calculul echipamentelor de epurare este menținerea valorilor indicatorilor de fiabilitate pe o perioadă cât mai lungă de timp.

Importanța studiului fiabilității stațiilor de epurare se datorează următorilor factori: creșterea complexității sistemelor tehnice a instalațiilor și a funcțiunilor pe care trebuie să le realizeze asemenea sisteme, intensificarea regimurilor de lucru ale echipamentelor, diversificarea condițiilor de exploatare, cerințele ridicate față de

calitatea funcționării sistemelor, introducerea automatizării parțiale sau totale și creșterea cheltuielilor de exploatare, impun o abordare matematică a problemelor de fiabilitate.

Indiferent de condițiile atmosferice, de anotimp sau de parametrii apei uzate, echipamentele ce deservește stația de epurare trebuie să asigure eficiența procesului de epurare și să asigure îndeplinirea parametrilor de deversare a apei epurate pe o perioadă normată de lucru (anduranță și fiabilitate operațională) de 20-50 de ani.

Limitările întâlnite în literatura de specialitate au dus la dezvoltarea unor modele matematice noi pentru determinarea fiabilității creând astfel o mai bună corelare între modelele teoretice și realitatea experimentală.

Teoria probabilităților constituie un instrument deosebit de util în studiul proceselor, sistemelor, elementelor care au un caracter de repetabilitate a datelor sau se desfășoară în condiții similare.

Studiul efectuat asupra stadiului actual al cercetărilor privind încercările de fiabilitate permite formularea următoarelor concluzii:

- fiabilitatea este o problemă complexă având în vedere caracterul probabilistic al caracteristicilor de fiabilitate și faptul că determinarea lor presupune încercări îndelungate de fiabilitate;
- este necesară stabilirea unei concordanțe între rezultatele și indicatori stabiliți pe baza modelării matematice și cei estimați pe baza informațiilor din exploatare;
- fiabilitatea se bazează pe calculul și analiza statistică a datelor obținute în urma studiului comportării produselor în timpul testelor, astfel încât să se estimeze indicatorii de fiabilitate;
- în cazul când durata îndelungată a încercărilor ridică nepermis de mult costul operațiunilor și atunci când nevoia obținerii rapide a informațiilor asupra unui produs este presantă, se utilizează încercările accelerate de fiabilitate;

Analizele de fiabilitate au la bază noțiunile de probabilitate, variabile aleatoare, repartiții pentru variabilele aleatoare, dar și metode și modelele statistice de analiză.

Dintre repartițiile prezentate în teză se poate afirma că:

- distribuția Poisson joacă un rol deosebit în studiile de fiabilitate, ea descriind legea de apariție a defectelor aleatoare într-un sistem complex, atunci când defectările se produc brusc;
- legea de repartiție normală este frecvent utilizată în teoria erorilor;
- distribuția exponențială are un rol esențial în teoria fiabilității și în calculul practic, aceasta, deoarece există sisteme complexe sau elemente din sistem care au timpul de bună funcționare repartizat după o lege exponențială;
- repartiția Weibull este utilizată în studiul fiabilității datorită faptului că intensitatea defectărilor prezintă multiple forme (în funcție de valorile parametrului β).

Indicatorii de fiabilitate sunt mărimi caracteristice care permit aprecierea cantitativă a nivelului de fiabilitate al sistemelor.

Funcția de fiabilitate permite:

- aprecierea nivelului de încredere în utilizarea unui sistem la un anumit moment t din viața sa;
- compararea nivelului de fiabilitate al unor sisteme realizate de producători diferiți;
- compararea condițiilor de utilizare ale unor sisteme realizate de același producător, dar aflate la utilizatori diferiți.

Funcția densitate de repartiție a timpului de bună funcționare reprezintă raportul dintre numărul de defecțiuni ce apar în unitatea de timp pe parcursul unui subinterval și numărul de sisteme luate inițial în observare, deci reprezintă viteza de defectare a sistemelor.

Densitatea de probabilitate a timpului de bună funcționare:

- permite aprecierea producției dacă se referă la dispozitive realizate de o singură firmă (omogenitatea producției);
- oferă informații privind omogenitatea solicitărilor în utilizare și a calității și frecvenței operațiilor de mentenanță;
- este utilă în planificarea activității de mentenanță.

Rata de defectare reprezintă raportul dintre numărul de defecțiuni în unitatea de timp produse într-un subinterval de timp și numărul de dispozitive aflate în bună stare de funcțiune la începutul subintervalului de observare.

Rata de defectare:

- permite compararea nivelului de fiabilitate al dispozitivelor realizate de diferiți producători;
- permite compararea condițiilor de utilizare a aceluiași tip de dispozitive;
- permite identificarea etapei din viața dispozitivelor și, implicit, a naturii defecțiunilor;
- Se exprimă în defecțiuni/unitatea de timp.

Rata de defectare are forma unei căzi de baie și este caracteristică pentru trei perioade:

- perioada defectărilor timpurii – sau perioada de rodaj, unde apar căderi premature care au frecvență ridicată, datorită cauzelor ascunse și deficiențelor de control de calitate a fabricației. Apar defectări precoce datorită erorilor de montaj, defecte de calitate din execuție, efectuarea rodajului peste valoarea nominală a parametrilor, erori ale operatorilor și de întreținere. Perioada I este caracterizată de repartiții de tip Weibull cu $\beta < 1$ sau hyper – exponențiale.
- perioada de bază – sau perioada de viață utilă, constituie perioada principală de funcționare (perioada de maturitate) a unui sistem, cu durata cea mai lungă. În condiții normale căderile sunt aleatorii, relativ constante, caracteristica generală a acestei perioade fiind frecvența redusă a defectărilor. Pentru această perioadă aplicând o strategie de mentenanță caracteristică sistemului în raport de intensitatea defectărilor mărim perioada de viață, dar până la deprecierea morală a acestuia. Perioada de bază este caracterizată de o repartiție de tip Weibull cu $\beta = 1$, devenind exponențial negativă.

- perioada defectărilor târzii – perioada de îmbătrânire, se caracterizează printr-o creștere bruscă a frecvenței defectărilor datorită uzurii accelerate, a oboselii sau îmbătrânirii sistemului. Menținerea în funcționare a produsului în această perioadă este neeconomică. Această perioadă nu se prea atinge, deoarece intervine deprecierea morală a sistemului. Perioada de îmbătrânire este caracterizată de o repartiție de tip normal.

MTBF este un indicator care apreciază nivelul global al fiabilității dispozitivelor, se exprimă în ore și se utilizează pentru efectuarea unor comparații între diferite componente de același tip luând în considerare și prețul produselor respective.

Abaterea medie pătratică reprezintă gradul de împrăștiere a valorilor variabilei aleatoare timp de bună funcționare față de valoarea medie m .

Creșterea fiabilității reprezintă o condiție, caracterizată printr-o îmbunătățire progresivă a performanțelor de fiabilitate ale unei entități, în decursul timpului.

Îmbunătățirea fiabilității este reprezentată de un proces realizat cu intenția deliberată de îmbunătățire a performanțelor de fiabilitate, prin eliminarea cauzelor de defectare sistematică și/sau prin reducerea probabilității de apariție a altor defectări.

Problema alegerii modelului statistic reprezintă, din punct de vedere al teoriei statistice, o problemă de stabilire a concordanței între o repartiție empirică – furnizată de un anumit experiment – și repartiția teoretică aleasă drept model.

Cerințele de calitate și fiabilitate impun analiza și modelarea statistico-matematică pentru planificarea, analiza, controlul și interpretare inginerescă a datelor statistice, în vederea optimizării cerințelor sistemului.

Asigurarea continuității regimurilor de funcționare ale instalațiilor și echipamentelor ce deservește stațiile de epurare este o cerință de bază a proceselor din domeniul protecției mediului și în special în epurarea apelor uzate. O tehnologie de epurare este o sumă de procese unitare bazate pe fenomene fizice, chimice și biochimice, ce necesită o analiză amănunțită a soluției optime folosită. Procesul de tratare a apei uzate se caracterizează prin fenomene ce evoluează în mod continuu, ceea ce presupune o funcționare continuă a instalațiilor și echipamentelor în parametrii impuși prin caietele de sarcini sau normativele de proiectare.

Nivelul de pregătire al personalului de exploatare, precum și al profesioniștilor, tehnica de intervenție asupra defectărilor, dar și metodele și procedeele de realizare ale acestora sunt principalele atuuri pentru a desfășura operativ, eficient și în condiții de siguranță operarea stației de epurare.

Fiabilitatea se menține prin folosirea unor metode adecvate de conservare, transport și punere în funcțiune și prin exploatare și service corect organizate cu un personal cu calificare corespunzătoare.

Sistemele tehnice pot fi considerate ca fiind alcătuite dintr-un număr oarecare de elemente care sunt dispuse într-o anumită configurație pentru a îndeplini misiunea acestora.

În majoritatea analizelor de fiabilitate sunt utilizate modele logice (structurale) de fiabilitate. Prin model logic de fiabilitate se înțelege o schemă logică echivalentă, care descrie funcționarea sistemului din punct de vedere fiabilistic, astfel întâlnim scheme de tip serie, paralel, mixte (paralel – serie sau serie – paralel), sisteme cu

rezervă, și sisteme nedecompozabile care se analizează prin metodele cunoscute de ingineri.

Analiza schemei funcționale a instalațiilor din stația de epurare conduce la realizarea schemei logice de fiabilitate, aceasta făcând apel la teoria probabilităților condiționate, pentru că procesul de epurare depinde de funcționarea fiecărui echipament în parte.

Creșterea fiabilității reprezintă o condiție caracterizată printr-o îmbunătățire progresivă a performanțelor de fiabilitate ale unei entități, în decursul timpului.

Îmbunătățirea fiabilității este reprezentată de un proces realizat cu intenția deliberată de îmbunătățire a performanțelor de fiabilitate, prin eliminarea cauzelor de defectare sistematică și/sau prin reducerea probabilității de apariție a altor defectări.

Pentru creșterea fiabilității se poate și trebuie să se acționeze în toate etapele prin care trece un dispozitiv sau o instalație: concepție, proiectare, fabricare, încercare, transport, montaj, punere în funcțiune, exploatare, întreținere și reparare.

Influența factorului uman la fiabilitatea operațională a stațiilor de epurare este majoră. Aceasta se poate manifesta în etapele de proiectare, instalare și mentenanță. Neluarea în calcul a contribuției factorului uman la determinarea fiabilității operaționale conduce la evaluări supraestimate ale acestui indicator care, în practică, se poate solda cu consecințe grave pentru sănătatea populației oameni și a mediului înconjurător.

Fiabilitatea instalațiilor și echipamentelor din stațiile de epurare depinde de factori de natură fizică, chimică, mecanică. Acești factori ce nu au fost luați în considerare în studiul fiabilității echipamentelor din stațiile de epurare fapt ce face necesar determinarea coeficienților și parametrilor specifici procesului de epurare care să se introducă în legi de fiabilitate originale și să permită apropierea datelor teoretice de realitatea experimentală.

Pentru determinarea indicatorilor de fiabilitate este necesară prelucrarea statistică a datelor experimentale.

Principalele etape ale procedurii de prelucrare a datelor experimentale sunt următoarele:

- a. culegerea datelor experimentale, pe baza încercărilor, probelor și testărilor din exploatare sau/și laborator, sau în urma simulării funcționării produselor;
- b. verificarea omogenității statistice a datelor experimentale, care constă în verificarea caracterului aleator al acestora și eliminarea valorilor aberante;
- c. reprezentarea grafică a datelor experimentale, în vederea determinării repartiției experimentale pe care datele experimentale le urmează;
- d. adoptarea repartiției teoretice, pe baza celei experimentale, apelând la una din repartițiile uzuale utilizate la studiul fiabilității: repartiția exponențială, normală, lognormală, Weibull, Gamma etc.;
- e. estimarea indicatorilor de fiabilitate, utilizând una din metodele: metoda grafică, metoda celor mai mici pătrate, metoda momentelor, metoda verosimilității maxime;
- f. propunerea unei noi relații ca să ia în considerare factorii de operare „in situ”

g. validarea repartiției teoretice adoptate pe baza unor teste analitice (generale sau speciale) ca de exemplu: testul **Chi**², testul Kolmogorov-Smirnov, testul Lilliefors, testul Hahn-Shapiro, testul Nancy Mann, tec.

Datele analizate provenite din exploatare corespund instalațiilor de epurare a apelor uzate, care se găsesc în a III-a perioadă de funcționare din punct de vedere al analizei de fiabilitate (perioada de îmbătrânire).

S-a enunțat ipoteza H₀ referitoare la tipul funcției de repartiție și s-au utilizat metodele de verosimilitate maximă, pentru estimarea statistică a parametrilor, în final aplicându-se testul de concordanță Chi². Ipotezele enunțate pentru metoda de verosimilitate maximă verifică repartiția Weibull de parametri λ și β .

Deci funcția de fiabilitate a echipamentelor din stația de epurare, originală propusă de autor este de tipul:

$$R(t) = K \cdot \beta \cdot \left(\frac{F_p \cdot F \cdot F_u}{t} \right)^{(\beta-1)} \cdot \exp \left[-\lambda \cdot \left(a + b \cdot \frac{t}{T_N} \right) \right]$$

De asemenea se observă ca media timpului de mentenanță pentru reparațiile defectelor este de 48 ore, valoare foarte mare în raport cu condițiile de operare impuse de specificul acestei activități. Aceste diferențe imense se datorează managementului logisticii de mentenanță, care cuprinde: limita pieselor de schimb, disponibilitatea reparatorilor și performanțelor acestora și nu în ultimul rând planificarea executării reparațiilor generale, luând în calcul și reparațiile curente.

Funcția matematică care modelează valorile provenite din exploatare pentru timpii de cădere ai echipamentelor din stația de epurare prin programul Matlab este de tip Weibull dar a fost îmbunătățită prin introducerea unor parametri de operare și de mediu. Media timpilor de bună funcționare fiind de 549.16 de ore, rezultă că o dată la o lună unul din echipamente se va defecta. După 2 ani funcția de fiabilitate scade la 50%, timp relativ mic, deci echipamentele hidromecanice, datorită depășirii perioadei de utilizare normală, nu se mai comportă foarte bine în exploatare și trebuie să se efectueze un calcul riguros pentru a determina o politică de asigurare a mentenanței eficiente.

Contribuții originale

Teza de doctorat cuprinde o sinteză a celor mai noi și eficiente metode teoretice pentru studiul, menținerea și îmbunătățirea fiabilității, iar din cuprinsul ei nu lipsesc elemente originale complexe bazate pe analiza și modelarea valorilor din exploatare.

Contribuțiile originale care au stat la baza finalizării Tezei de doctorat, constau în:

- Elaborarea stadiului actual al teoriei fiabilității în capitolul I, știindu-se că analizele de fiabilitate au la bază noțiunile de probabilitate, variabile aleatoare, repartiții pentru variabilele aleatoare, dar și metodele și modelele statistice de analiză.
- Analiza tipurilor de defecte a instalațiilor și echipamentelor din stațiile de epurare și realizarea schemei logice de fiabilitate pentru diferite tipuri de echipamente.

- Catalogarea defectelor în funcție de natura acestora și determinarea factorilor ce influențează funcționarea în condiții bune a echipamentelor.
- Determinarea repartiției teoretice pentru valorile de defectare a echipamentelor din stația de epurare, pe baza statisticii matematice, obținându-se funcția matematică de tipul: $R(t)=e^{-\lambda t^\beta}$
- Îmbunătățirea modelului matematic inițial prin adăugarea de coeficienți proprii, ce țin cont de condițiile de lucru. În urma studiului efectuat s-a constatat că determinarea fiabilității echipamentelor din stațiile de epurare nu ține cont de factorii externi ce acționează asupra instalațiilor precum și de regimurile de curgere. S-a dorit îmbunătățirea modelelor matematice clasice utilizate pentru determinarea fiabilității prin adăugarea de noi coeficienți ce țin seama de condițiile de exploatare.
- Modelarea fiabilității echipamentelor hidromecanice, utilizând metoda verosimilității maxime și programul MatLAB, rezultând astfel, funcția matematică de forma:

$$R(t)=K*\beta*\left(\frac{F_p*F*F_u}{t}\right)^{(\beta-1)}*\exp[-\lambda*\left(a+b*\frac{t}{T_N}\right)],$$
 unde $F_p=0,75$, $F_u=0,33$, $F=3,415$, $a=0,1901$, $b=141,2$. Fapt ce este
- Realizarea în programul Excel a unui tabel complex cu datele privind timpul de funcționare și timpul de reparare pentru echipamentele studiate pentru perioada ianuarie 2010 – decembrie 2012.
- Modelarea valorilor provenite din exploatare pentru timpii de cădere ai echipamentelor din stația de epurare prin programul MatLAB cu ajutorul unor algoritmi de calcul de concepție proprie. Aceste modelări matematice sunt determinări efectuate pentru regimuri de solicitare mai intense, în comparație cu regimul nominal teoretic determinat de producător, și au drept scop intensificarea proceselor de degradare a produselor, iar ca rezultat economic scurtarea perioadei și costurilor aferente încercării, în condițiile păstrării aceluiași moduri, mecanisme de defectare și structuri ale defectelor.
- Modelarea acestor valori în programul MatLAB pe repartiția de tip Weibull, pentru care s-au determinat parametrii λ , β , F_p , F_u , F , a și b . Scopul acestor modelări matematice a fost acela de a identifica factorii externi ce influențează funcționarea echipamentelor și introducerea lor în funcții matematice complexe pentru o mai bună determinare a fiabilității echipamentelor mecanice utilizate în stațiile de epurare.
- Sintetizarea soluțiilor teoretice și tehnice pentru menținerea fiabilității echipamentelor din stația de epurare în vederea utilizării metodelor viabile pentru rezolvarea situațiilor reale ale logisticii operative.
- Pentru prima dată au fost efectuate cercetări prin metode de termoviziune asupra echipamentelor electrice. Aceste au permis formularea concluziilor prezenței teze de doctorat precum și o identificare clară a locului unde apar defectele la partea electrică și a modalităților pentru îndepărtarea acestora.

Direcții viitoare de cercetare

Lucrarea are la bază fundamente teoretice matematice și aplicații ingineresti și deschide noi orizonturi de cercetare în domeniul fiabilității, disponibilității și mentenanței care să rezolve situațiile reale ale muncii operative din SEAU.

Analiza fiabilității instalațiilor moderne în perioada defectelor târzii, determinarea funcției matematice care caracterizează această perioadă de funcționare, determinarea indicatorilor de fiabilitate, și urmărirea comportării echipamentelor în perioada de rodaj și funcționare normală.

Evaluarea costurilor pentru asigurarea mentenanței instalațiilor din stațiile de epurare.

Analiza funcționării echipamentelor din punct de vedere al funcționării în regim forțat, determinarea coeficientului de forțare pe categorii de echipamente.

Determinarea soluțiilor optime pentru diagnosticarea defectelor provenite în timpul exploatării.

Realizarea unei logistici de mentenanță optime pe baza funcțiilor matematice determinate în teză.

Bibliografie selectivă

- [1] A. BIRLONI, Reliability Engineering. Theory and practice, Springer, 2004.
- [2] Bagdanovicius V., Nikulin M., Accelerated Life Models, Modeling and Statistical Analysis, Chapman & Hall, New York, 2002.
- [11] Burlacu Gabriel Fiabilitatea, mentenabilitatea și disponibilitatea sistemelor tehnice. Editura Tehnică, București, 2005.
- [26] D. CROWE, Design for reliability, New York: CRC, 2001.
- [28] D. ROBESCU, Fiabilitatea proceselor și instalațiilor de oxigenare a apelor, Bren, 2002.
- [31] DODSON, B.S., Accelerated Testing: A Practitioner's Guide to Accelerated And Reliability Testing, Har/ Cdr, 2006
- [36] Ebeling, C., Introduction to Reliability and Maintainability Engineering, McGraw- Hill, 2005
- [37] Exarhu M., Exploatarea și reparațiile turbomașinilor hidraulice. Editura Matrix Rom, București, 2003.
- [38] F. BAICU, Elemente de fiabilitate, Victor, 2005.
- [40] G. Bendea, Fiabilitatea sistemelor electrice din centralele termoelectrice, București: MatrixRom, 2002.
- [58] Lawless J., Statistical Models and Methods for Lifetime Data - 2nd edition, John Wiley & Sons, Hoboken, 2003
- [74] Neacșa F., Autospeciale destinate intervențiilor în situații de urgență, Ed. Printech, București, 2007.
- [87] Robescu Dan, Robescu Diana, Fiabilitatea proceselor și instalațiilor de oxigenare a apelor – Editura Bren, București, 2002.
- [88] Robescu Dan, Robescu Diana, Szabolcs Lanyi, Attila Verestoy, Fiabilitatea proceselor, instalațiilor și echipamentelor de tratare și epurare a apelor. Editura Tehnică, București, 2002.
- [89] Rogoveanu Radosavlevici Iuliana, Stoicescu Andrei, Robescu Dan, Aspects of water demineralization with mixed-layer ion-exchangers, Conferinta Tehnico-Stiintifica "Tehnologii noi de epurare a apelor uzate", 2012
- [90] Savu Tom, Curs Modelare și simulare, Universitatea Politehnica București, 2004.
- [93] Stoia N., Elemente de teoria probabilităților și statistică matematică. București, 2002.
- [94] **Stoicescu A.**, Robescu D., Condiții Generale Și Specifice De Operare A Stațiilor De Epurare, Volumul conferinței A saptea conferința a hidroenergeticienilor din Romania - Dorin Pavel - 2011

- [95] **Stoicescu A.**, Robescu D., Solutions for treatment and disposal of sludge from wastewater treatment plants, Conferinta Tehnico-Stiintifica - "Tehnologii noi de epurare a apelor uzate"- 2012
- [96] **Stoicescu A.**, Robescu D., Specific and General Operating Conditions for Equipment in Wastewater Treatment Plants, 1st Danube-Black Sea Regional Young Water Professionals Conference , 2011
- [97] **Stoicescu A.**, Robescu D., Theoretical Aspects Of The Reliability Requirements Of Wastewater Treatment Plants, First International Conference on Moldavian Risks - From Global To Local Scale - 2012
- [98] **Stoicescu A.**, Robescu D., Tratarea și eliminarea nămolurilor provenite de la stațiile de epurare, Ecoterra Journal of Environmental Research and Protection, Vol. 28/2011
- [99] **Stoicescu A.**, Robescu D., Modern solutions to reduce energy consumption of wastewater treatment plants, Conferinta Tehnico-Stiintifica Internationala "Water services and the new energy challenges"- 2013
- [100] **Stoicescu A.**, Robescu D., Reliability determination for wastewater treatment plant equipment - Screens, INCER 2013
- [102] Șerbu T., Elemente de teoria și ingineria fiabilității instalațiilor. Editura Matrixrom, București, 2003.
- [103] Ștefanescu V., Teoria probabilităților și statistică matematică. Editura Pământul, București, 2005.
- [114] Trofin Aurel Costurile fiabilității și mentenabilității, a X-a Sesiune de comunicări științifice cu participare internațională a Facultății de Pompieri, SIGPROT 2007, București.
- [115] Trofin Aurel Modelele matematice ale analizei de mentenabilitate, a X-a Sesiune de comunicări științifice cu participare internațională a Facultății de Pompieri, SIGPROT 2007, București.
- [116] Trofin Aurel Optimizarea previzională a mentenabilității, a X-a Sesiune de comunicări științifice cu participare internațională a Facultății de Pompieri, SIGPROT 2007, București.
- [117] Trofin Aurel Enciu ValentinMentenanța sistemelor de stingere, a VIII-a Sesiune de comunicări științifice cu participare internațională a Facultății de Pompieri, SIGPROT 2005, București.
- [118] Trofin Aurel Soare L., Fiabilitatea defectărilor, a VIII-a Sesiune de comunicări științifice cu participare internațională a Facultății de Pompieri, SIGPROT 2005, București.
- [119] Ungureanu N.Fiabilitate și diagnoză. Editura Risoprint, Cluj – Napoca, 2003.
- [144]**Nicolescu F**, Robescu D, Fault analysis for wastewater treatment plant equipment using thermography
- [145]**Florin Nicolescu** Contract de inspecție termografica, Fabrica medicamente Sindan, Bucuresti, 2009;
- [146]**Florin Nicolescu** Contract de inspecție termografica, Complex comercial Dragonul Roșu, Bucuresti, 2010;
- [147]**Florin Nicolescu** Contracte de inspecție termografica, Fabrica medicamente Actavis, Bucuresti, 2011, 2013, 2015, 2017, 2019;
- [148]**Florin Nicolescu** Contract de inspecție termografica, Fabrica medicamente Swisscaps, Cornu, Prahova, 2014;
- [149]**Florin Nicolescu** Contracte de inspecție termografica, la Hipermarket Auchan, Bucuresti, 2013, 2015, 2017;
- [150]**Florin Nicolescu** Contract de inspecție termografica, Fabrica medicamente Actavis, Stara Zagora, Bulgaria 2017;
- [151]**Florin Nicolescu** Inspectii termografice la RAJA Constanta (SEAU Constanta Sud și SEAU Eforie), 2017 – 2020;