

UNELTE ȘI STRATEGII IIoT PENTRU INTEROPERABILITATEA SISTEMELOR ȘI PENTRU CREȘTEREA INTELIGENȚEI SOLUȚIILOR DIN INDUSTRIA APEI

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor
la

Universitatea Politehnica Timișoara
în domeniul Ingineria sistemelor
de către

Andrei Mihai NICOLAE

Conducător științific:
Referenți științifici:

prof.univ.dr.ing. Ioan SILEA
prof.univ.dr.ing. Radu-Emil PRECUP
prof.univ.dr.ing. Eva-Henrietta DULF
prof.univ.dr.ing. Ioan Ștefan SACALĂ
prof.univ.dr.ing. Daniel ANDREESCU

Ziua susținerii tezei: 10 septembrie 2021

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|--|
| 1. Automatică | 9. Inginerie Mecanică |
| 2. Chimie | 10. Știința Calculatoarelor |
| 3. Energetică | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 4. Ingineria Chimică | 12. Ingineria sistemelor |
| 5. Inginerie Civilă | 13. Inginerie energetică |
| 6. Inginerie Electrică | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 15. Ingineria materialelor |
| 8. Inginerie Industrială | 16. Inginerie și Management |

Universitatea Politehnica Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul Școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2021

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității Politehnica Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
Tel./fax 0256 403823
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Automatică și Informatică Aplicată al Universității Politehnica Timișoara.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorului de doctorat prof.univ.dr.ing. Ioan SILEA pentru sprijinul și îndrumarea acordate pe parcursul întregii perioade de cercetare doctorală, experiența dânsului generând, fără echivoc, în multe momente, îmbunătățiri de ordin calitativ demersurilor întreprinse.

În egală măsură, îmi exprim profunda recunoștință față de domnul conf.dr.ing. Adrian KORODI, fără a cărui implicare necondiționată și expertiză de cel mai înalt nivel, concretizarea ideilor de studiu inițiale ar fi fost mult mai dificilă. Pe această cale, îi mulțumesc dânsului pentru eforturile semnificative depuse și timpul investit, atât în perioada doctorală, cât și anterior, pe durata ciclului de master și a elaborării lucrării de licență.

Desigur, gratitudinea este direcționată și spre restul personalului universitar, didactic și nedidactic, ale căror nume nu sunt menționate explicit, însă care au ajutat, direct și indirect, la construirea oportunității materializării acestei preocupări doctorale.

Nu în ultimul rând, le aduc mulțumiri părinților mei, care m-au susținut întotdeauna, cu tot ce a fost necesar, atât în perioada studiilor doctorale, cât și premergător acesteia, în toate etapele de educație, specializare și dezvoltare profesională traversate de subsemnatul.

Alături de precizările de mai sus, dezvălui dorința de a consemna faptul că aproximativ jumătate din întinderea temporală pe care s-au desfășurat aceste cercetări, mai precis partea secundă, s-a derulat în condiții excepționale, din mai multe puncte de vedere, resimțite de toate părțile implicate, din cauza tulburărilor generate de pandemia globală contemporană acestor vremuri.

Timișoara, septembrie 2021

Andrei Mihai NICOLAE

NICOLAE, Andrei Mihai

Unelte și strategii IIoT pentru interoperabilitatea sistemelor și pentru creșterea inteligenței soluțiilor din industria apei

Teze de doctorat ale UPT, Seria X, Nr. YY, Editura Politehnica, 2021, 165 pagini, 58 figuri, 9 tabele.

Cuvinte cheie: industrial internet of things, industry 4.0, historian proactiv, unelte optimizare, eficiență energetică, algoritmi software, aplicații software inteligente.

Rezumat,

Prezenta teză abordează subiectul unor soluții inteligente, aplicate în industria apei, care pot aduce beneficii substanțiale, pe fondul integrării tot mai accentuate a puterii digitale în mediile industriale existente. Astfel, după o recenzie amănunțită a stadiului actual al cercetării în domeniul de interes, se dezvoltă o aplicație software capabilă să monitorizeze și să înregistreze parametri de funcționare ai unui sistem tehnic. În continuare, se studiază și implementează practic metode și strategii de utilizare a datelor acumulate, pentru a transforma una într-una proactivă, cu posibilități de a influența, în mod pozitiv, sistemul supravegheat. În final, activitățile culminează cu dobândirea unei automatizări complete a unei modalități de aplicare a unei strategii inovatoare de reducere a consumului de energie într-o stație de tratare și distribuție a apei potabile, bazată pe prioritizarea surselor acesteia.

CUPRINS

Notății, abrevieri, acronime	7
Lista de tabele	8
Lista de figuri	9
1. Introducere	12
1.1. Domeniul tezei	12
1.2. Obiectivele cercetării	14
1.3. Aplicabilitatea practică vizată de rezultatele cercetării	15
1.4. Structura tezei	16
2. Stadiul actual al cercetării în domeniul tezei	17
2.1. Noțiuni generale	17
2.2. Concepte și caracteristici de bază ale Industry 4.0	18
2.3. Concepte principale ale Industrial Internet of Things	21
2.4. Direcțiile de dezvoltare principale ale Industry 4.0	22
2.4.1. Rețelistică și OPC UA	22
2.4.2. Plug & Produce	25
2.4.3. Modele de informații și date	26
2.4.4. Big Data și Cloud Computing	27
2.4.5. Standardizare	29
2.5. Industry 4.0 în industria apei	30
2.6. Concluzii	36
3. Aplicație historian elementară pentru industria apei	40
3.1. Perspectivă practică asupra aplicațiilor historian în industria apei ...	40
3.2. Conceptul general al aplicației Historian	42
3.3. Implementarea practică a aplicației Historian	45
3.4. Scenarii de test	50
3.5. Concluzii	51
4. Arhitectura software de referință pentru elevarea aplicației Historian spre nivelul proactiv	53
5. Identificarea dependențelor dintre datele stocate	58
5.1. Procesele și problemele tipice în STAP	58
5.2. Descrierea algoritmului	61
5.3. Integrarea algoritmului în aplicația Historian	64

5.4. Scenariu de test	66
5.5. Concluzii	72
6. Reducerea consumului de energie în STAP	73
6.1. Detalierea instalației de apă țintite	73
6.2. Soluția cercetată și implementată	77
6.3. Scenarii de test și rezultatele aferente	84
6.4. Concluzii	93
7. Strategie predictivă bazată pe meteorologie în SE	95
7.1. Procesele tipice în SE	95
7.2. Probleme definitorii și dependențe meteorologice în SE	98
7.3. Soluția implementată	100
7.4. Scenarii de test și discutarea rezultatelor	110
7.5. Concluzii	115
8. Automatizarea completă a strategiei de reducere a consumului de energie din STAP	117
8.1. Aspecte specifice STAP relevante în context	117
8.2. Legătura indispensabilă cu cercetările anterioare	121
8.3. Soluția implementată	123
8.4. Scenarii de test și interpretarea rezultatelor	133
8.5. Concluzii	141
9. Concluziile tezei	143
9.1. Concluzii finale	143
9.2. Contribuții personale	145
9.3. Publicații	146
9.4. Direcții viitoare de cercetare și dezvoltare	147
Bibliografie	150

NOTAȚII, ABREVIERI, ACRONIME

Termen	Descriere
IIoT	Industrial Internet of Things
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
PLC	Programmable Logic Controller
RAMI 4.0	Reference Architecture Model Industrie 4.0
OPC UA	Open Protocol Communication Unified Architecture
AML	AutomationML
CAN	Controller Area Network
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
CoAP	Constrained Application Protocol
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
AMQP	Advanced Message Queuing Protocol
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
RESTful	Representational State Transfer
TSN	Time-Sensitive Networking
IPSec	Internet Protocol Security
SDN	Software-Defined Networking
QoS	Quality of Service
IEC	International Electrotechnical Commission
UML	Unified Modeling Language
SOME/IP	Scalable Service-Oriented Middleware over Internet Protocol
LAN	Local Area Network
HMI	Human Machine Interface
IT	Information Technology
OPC HDA	Open Protocol Communication Historical Data Access
WAN	Wide Area Network
JSON	JavaScript Object Notation
PDF	Portable Document Format
CSV	Comma Separated Values
JDBC	Java Database Connectivity
SQL	Structured Query Language
STAP	Stație de Tratare a Apei Potabile
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
IGSS	Interactive Graphical SCADA System (Schneider Electric)
SE	Stație de Epurare
API	Application Programming Interface
BFS	Breadth-First Search
XML	Extensible Markup Language
DTD	Document Type Definition

LISTA DE TABELE

Tabelul 2.1. Sinteză a direcțiilor de interes per fiecare domeniu de dezvoltare identificat	38
Tabelul 6.1. Consumurile de energie electrică ale instalației țintite, cu și fără SDC	92
Tabelul 7.1. Perioadele și impactul influenței vremii în scenariile de test ale nivelului secund	110
Tabelul 8.1. Explicarea abrevierilor și denumirilor din Figura 8.7	132
Tabelul 8.2. Partea din ieșirea algoritmului de identificare a dependențelor care este de interes	134
Tabelul 8.3. Orele de funcționare cele mai recent înregistrate pentru sursele de apă, la momentul optimizării	135
Tabelul 8.4. Debitele minime și maxime posibile, cele mai recent înregistrate, pe care fiecare sursă le poate livra, la momentul optimizării	135
Tabelul 8.5. Cazurile de test executate și rezultatele acestora, în primul scenariu de test	138
Tabelul 8.6. Cazurile de test executate și rezultatele acestora, în al doilea scenariu de test	139

LISTA DE FIGURI

Figura 2.1.	Piramida clasică a automatizării	19
Figura 2.2.	Conceptele principale ale Industry 4.0	20
Figura 2.3.	Conceptele principale ale IIoT	21
Figura 2.4.	Perspectivă generală asupra proceselor din STAP	35
Figura 2.5.	Perspectivă generală asupra proceselor din SE	36
Figura 2.6.	Reprezentare grafică a direcțiilor de dezvoltare identificate	39
Figura 3.1.	Arhitectura generală a aplicației Historian dezvoltată și relația cu structurile OPC UA	45
Figura 3.2.	Mașina cu stări finite a aplicației Historian	46
Figura 3.3.	Fila Status din interfața grafică a aplicației Historian	48
Figura 3.4.	Fila Configuration din interfața grafică a aplicației Historian	49
Figura 3.5.	Fila Data din interfața grafică a aplicației Historian	50
Figura 3.6.	Reprezentare, în modulul de diagrame, a evoluției presiunii apei, într-un interval de timp selectat	50
Figura 4.1.	Arhitectură de referință pentru o aplicație historian proactivă	55
Figura 5.1.	Procesele din interiorul unei stații de tratare a apei potabile	59
Figura 5.2.	Pașii algoritmului de identificare a dependențelor dintre date	63
Figura 5.3.	Integrarea funcționalității de analiză a datelor, oferită de către algoritm, în interfața grafică cu utilizatorul a aplicației Historian ..	65
Figura 5.4.	Aplicația Historian în relație cu structurile locale implicate în testare	66
Figura 5.5.	Reprezentarea grafică numărul 1 a evoluției valorilor în timp și rezultatele executării algoritmului	68
Figura 5.6.	Reprezentarea grafică numărul 2 a evoluției valorilor în timp și rezultatele executării algoritmului	69
Figura 5.7.	Reprezentarea grafică numărul 3 a evoluției valorilor în timp și rezultatele executării algoritmului	70
Figura 5.8.	Reprezentarea grafică numărul 4 a evoluției valorilor în timp și rezultatele executării algoritmului	70
Figura 6.1.	Instalația de apă potabilă țintită, în ansamblu	74
Figura 6.2.	STAP din instalația de apă țintită	75
Figura 6.3.	Partea de distribuție a apei din instalația țintită	75
Figura 6.4.	Parametrii electrici ai instalației țintite	77
Figura 6.5.	Soluția SDC interfațând cu o instalație de apă potabilă tipică și cu centrul de control SCADA regional	78

Figura 6.6.	Soluția SDC integrată în instalația țintită	79
Figura 6.7.	Exemplu al evoluției debitelor de la foraje, cu referințe fixe	85
Figura 6.8.	Orele de funcționare ale forajelor	86
Figura 6.9.	Evoluția indicatorilor de prioritate ai forajelor, identificați de către soluția SDC	87
Figura 6.10.	Evoluția debitelor surselor și a nivelului apei din rezervorul de distribuție, după aplicarea SDC	88
Figura 6.11.	Diferența de putere, procentual, după folosirea SDC	89
Figura 6.12.	Debitele forajelor și consumul total de energie, cu soluția SDC constrânsă, pe sistemul real, în săptămâna 1	90
Figura 6.13.	Debitele forajelor și consumul total de energie, cu soluția SDC constrânsă, pe sistemul real, în săptămâna 2	90
Figura 6.14.	Debitele forajelor și consumul total de energie, fără soluția SDC, pe sistemul real, în săptămâna 1	91
Figura 6.15.	Debitele forajelor și consumul total de energie, fără soluția SDC, pe sistemul real, în săptămâna 2	91
Figura 6.16.	Debitele forajelor și consumul total de energie, fără soluția SDC, pe sistemul real, în săptămâna 3	91
Figura 6.17.	Debitele forajelor și consumul total de energie, fără soluția SDC, pe sistemul real, în săptămâna 4	92
Figura 7.1.	Procesele tipice în SE	96
Figura 7.2.	Elementele noi ale interfeței grafice cu utilizatorul, după îmbunătățirea versiunii aplicației Historian precedente implementării nivelului secund al arhitecturii de referință	102
Figura 7.3.	Prezentare generală a algoritmului predictiv implementat	103
Figura 7.4.	Noua versiune a fișei Configuration din interfața grafică, integrând Process Editor	106
Figura 7.5.	Editarea unui obiect (item) în Process Editor din Historian	107
Figura 7.6.	Subproces al unei SE, așa cum este definit în Process Editor din Historian	107
Figura 7.7.	Constrângerile procesului, adăugate în Process Editor din Historian	107
Figura 7.8.	Tablourile care fixează elementele predefinite folosite în Process Editor	108
Figura 7.9.	Exemplu de XML folosit pentru stocarea definițiilor proceselor realizate în Process Editor din Historian	109
Figura 7.10.	Graficul de dependențe în scenariul de test cu numărul 7, reprezentare cuprinzând doar etichetele dependente de caracteristici meteorologice	111
Figura 7.11.	O parte a ieșirii algoritmului de predicție pentru scenariul de	

test cu numărul 5	112
Figura 7.12. Cele mai semnificative rezultate ale scenariilor de test	113
Figura 8.1. Reprezentare simplificată a drumului apei, de la surse, până în rețeaua de apă potabilă	119
Figura 8.2. Exemplu al minimului de obiecte care trebuie să fie definite, în interiorul Historian Process Editor, pentru procesul folosit în prezent, pentru a executa strategia de optimizare	125
Figura 8.3. Caracteristicile surselor de apă care trebuie să aibă etichete asociate, în interiorul Historian Process Editor, pentru procesul folosit în prezent, pentru a executa strategia de optimizare	125
Figura 8.4. Alegerea obiectivelor de optimizare, în interiorul aplicației Historian proactive	126
Figura 8.5. Algoritmul implementat care determină qf din rezultatele de la algoritmul de identificare a dependențelor de la primul nivel	127
Figura 8.6. Un rezumat, la nivel înalt, al algoritmului pentru divizarea debitului, detaliat în Figura următoare	129
Figura 8.7. Algoritmul implementat pentru divizarea debitului total de apă solicitat în debite specifice pentru fiecare sursă, într-un mod optim pentru reducerea consumului de energie	131
Figura 8.8. Exemplu de afișare, în interfața grafică a aplicației Historian, a rezultatelor rulării soluției de optimizare	133

1. INTRODUCERE

1.1. Domeniul tezei

În prefața lucrării, se aduce în centrul atenției așa-numitul concept Cyber Physical Systems, care simbolizează un sistem computerizat, în interiorul căruia un mecanism fizic este controlat sau monitorizat de către algoritmi software, caracteristica esențială a acestei noțiuni fiind legată de o întrepătrundere puternică, pe de-o parte, între componentele fizice, iar de cealaltă parte, elementele cibernetice, digitale. Datorită unui cumul de dezvoltări recente, în direcții cum ar fi tehnologiile de comunicații, prin noul standard 5G, dar și a sistemelor și a senzorilor inteligenți, această viziune este tot mai prezentă în lumea științifică și în cercetarea aplicată. Astfel, doctrine cum sunt Industry 4.0 sau Industrial Internet of Things (IIoT) nu fac decât să implementeze ideile din jurul Cyber Physical Systems în mediul economic, desigur, cu particularizări specifice diferitelor domenii. Pe fondul globalizării, beneficiile acestor acțiuni se resimt la toate palierele ierarhice, începând de la producție și până la management.

Tranzitând spre cercetarea desfășurată ca fundament pentru elaborarea prezentei teze doctorale, aceasta a fost orientată în proximitatea conceptelor de Industrial Internet of Things și Industry 4.0, vizând, în același timp, componente implementate practic, cu aplicabilitate directă în domeniul industriei apei.

În acest sens, Industry 4.0 și IIoT constituie paradigme asemănătoare, sub ghidarea cărora diverse direcții de dezvoltare se diferențiază recent, suma acestora contribuind la îmbunătățiri semnificative cu privire la eficiență, flexibilitate, comunicare, adaptabilitate, personalizare și modularitate, pentru zona industrială. De asemenea, beneficii la fel de importante, precum reducerea costurilor, creșterea siguranței, a disponibilității și a productivității se află în vizorul noilor tehnologii, chiar dacă, la momentul actual, un răspuns limpede referitor la felul în care se vor materializa aceste avantaje și impactul lor, nu poate fi oferit în totalitate de către literatura de specialitate, numeroase studii aflându-se încă în desfășurare. Cu toate acestea, cel puțin la nivel conceptual, unele aspecte privind interoperabilitatea și căile pe care industria le va urma pentru a implementa principiile IIoT, s-au clarificat. Lăsând la o parte incertitudinile, atât industria, cât și instituțiile de cercetare sunt conștiente de efectul pozitiv imediat al IIoT.

În continuare, considerând o perspectivă practică simplificată, automatizarea proceselor poate fi redusă la conectarea elementelor fizice cu elemente software, în aceste circumstanțe, datele procesului automatizat vehiculându-se între primul nivel de structuri SCADA locale și până la cel mai înalt nivel SCADA sau, după caz, la sisteme de management. Bineînțeles, pentru a obține un asemenea flux vertical de date, în contextul variatelor tipuri de soluții implementate la toate nivelurile, este necesară integrabilitatea și interoperabilitatea structurilor locale. Însă, un prim obstacol în acest demers îl constituie interfațarea de bază cu echipamentul fizic, care se realizează prin protocoale proprietar (de exemplu: Modbus TCP, Ethernet/IP, Profinet, Mewtocol, CC-Link), folosind module puse la dispoziție și protejate de diferite companii, cum ar fi Siemens, Beckhoff, Schneider Electric, Softing, Kepware, Matrikon, Unified Automation.

Revenind la peisajul contemporan din industria apei, se poate observa o dominare din partea sistemelor tehnice vechi, moștenite, care, deși au reprezentat soluții viabile la vremea introducerii lor, marea majoritate a celor care se găsesc astăzi în industria apei sunt neoptimizate și ineficiente după standardele moderne, transformând astfel industria apei în mediul perfect pentru a livra îmbunătățirile promise de tehnologiile Industry 4.0 și IIoT. Mai mult, întregul sector al apei se confruntă cu probleme ample de eficiență, una dintre cauzele principale datorându-se faptului că soluțiile funcționale curente din decorul industrial constau într-o varietate largă de sisteme dispersate, atât cronologic, cât și din punct de vedere al locației.

Corespunzător cu situația existentă din industria apei, se acutizează, în mod evident, nevoia asigurării interoperabilității acestor soluții, cu scopul exploatarei mai departe a posibilităților deschise de noile tehnologii aliniate ideologiilor Industry 4.0 și IIoT. Pe această linie, se remarcă, în anii recenti, eforturi susținute, în special sub îndrumarea paradigmei IIoT, pentru a dezvolta un nivel crescut, atât de conectivitate, cât și de inteligență, în funcționarea proceselor industriale. Consecvent, aceste abordări au condus la apariția conceptului de acumulare de date, interpretat în sfera practică prin aplicații de tip historian, obiectivul acestora cristalizându-se în achiziția și stocarea parametrilor și datelor de funcționare ale sistemului tehnic supravegheat. Alături de apariția acestei noțiuni, studiile au deschis calea spre interoperabilitate pe orizontală, între structuri de același nivel, ceea ce alimentează conceptul de historian în câștigarea a tot mai multă importanță, dincolo de funcția monitorizării proceselor. De altfel, specificitatea industriei apei revendică un historian descentralizat, capabil să facă față exigențelor particulare ale prelucrărilor locale. În ciuda faptului că diverse soluții de historian clasic sunt disponibile, capacitatea de a optimiza și influența sistemul supravegheat, într-un mod proactiv, rezultând în mărirea eficienței, reducerea costurilor sau îmbunătățirea indicatorilor de calitate, nu a putut fi identificată, până în prezent, deși conjuncturile Industry 4.0 și IIoT împing spre acest deziderat.

Pe de altă parte, chiar dacă datele adunate de aplicațiile historian clasice rămân în mare parte nefolosite, acestea deschid totuși noi oportunități în materie de aplicații historian de tip proactiv, unde aprofundările dirijate spre algoritmi de analiză a datelor stocate și strategii de optimizare se cuvin a inaugura perspective atât asupra distingării de tipare, cât și a capacităților de învățare sau a concluziilor solide cu privire la eficientizări aplicabile în lumea reală. În plus, urmărind dezvoltarea unei bucle de optimizare complet autonome, atât o analiză bazată pe model, cât și proceduri de decizie și control trebuie să fie aplicate sistemelor tehnice, într-o manieră neinvazivă, pentru a închide bucla în cauză. Fără îndoială, cantitatea mare de date stocate nu poate să genereze valoare adăugată fără utilizarea tehnicilor de analiză a datelor.

În mod similar, comunicațiile îmbunătățite, concretizate ca urmare a implementării IIoT, deschid drumul dezvoltării de soluții viitoare mai inteligente și sofisticate, capabile să perfecționeze caracteristicile de funcționare ale sistemelor industriale, prin aplicarea de tehnici de optimizare autonome asupra acestora. În consens cu această idee, cele mai recente progrese se înregistrează spre dezvoltarea de soluții care pot folosi datele deja colectate. Astfel, aplicația historian a viitorului va fi, cu siguranță, inteligentă și proactivă, întrebuițând datele stocate pentru identificarea dependențelor și relațiilor dintre caracteristicile sistemului monitorizat, care, la rândul lor, vor fi utile pentru a prezice evoluția viitoare a sistemului tehnic, ca punct de plecare pentru optimizarea sistemului supravegheat, într-o manieră autonomă, neinvazivă, neasistată de om, întreaga aplicație fiind așezată într-o zonă intermediară, aproape de sistemul monitorizat. De exemplu, câteva dintre problemele

din industria apei care pot fi rezolvate, fie total, fie parțial, prin procedee automate sau prin interpretări ulterioare, contând pe valorificarea unei soluții historian, mai exact a datelor înmagazinate de aceasta, ar fi: consumul energetic înalt, consumul mare de substanțe chimice, mentenanța costisitoare a echipamentelor.

În concluzie, preambulul tezei edifică în privința domeniului țintit prin activitățile de cercetare academică și a branșei unde au fost plasate pentru evaluare rezultatele implementărilor practice survenite în urma studiilor întreprinse.

1.2. Obiectivele cercetării

În primul rând, obiectivele cercetării doctorale curente derivă din tematica asumată, care, așa cum poate fi intuit grație secțiunii precedente, se armonizează conceptelor IIoT și Industry 4.0. În această împrejurare, tema de cercetare o reprezintă dezvoltarea atât a unor unelte, cât și a unor strategii, care să permită aplicarea acestora cu succes în industrie, scopul urmărit constituindu-l creșterea interoperabilității sistemelor, dar și a inteligenței soluțiilor din industria apei. În ceea ce privește uneltele, se va avea în vedere dezvoltarea primordială de aplicații software care să etaleze posibilitatea funcționării într-o manieră neinvazivă, alături de soluțiile deja implementate în industrie. Cu privire la strategii, tema de cercetare urmărește dezvoltarea de noi algoritmi și metode care să faciliteze crearea de soluții software mai inteligente, cu potențial de a optimiza diverse caracteristici ale sistemelor tehnice.

În mod concret, obiectivele majore ale temei de cercetare sunt următoarele:

1. Investigarea domeniului și a stadiului actual al cercetării în tematica propusă a tezei
2. Dezvoltarea unor algoritmi de optimizare a performanțelor sistemelor de monitorizare din industria apei
3. Realizarea și testarea unei aplicații historian de tip proactiv autonom, capabilă să optimizeze sistemul tehnic supravheat din industria apei

Totuși, se admite aprecierea complexității și dificultății îndeplinirii celui de-al treilea obiectiv antemenționat ca fiind ridicate, motiv pentru care obiectivul în discuție impune completarea în prealabil a unei serii de obiective specifice, subsecvente:

1. Realizarea unei analize a cerințelor și performanțelor sistemelor din sectorul industriei apei
2. Identificarea și dezvoltarea unor modalități de stocare a valorilor parametrilor de funcționare ai sistemelor aferente domeniului
3. Elaborarea sau îmbunătățirea unor metode de analiză și identificare a dependențelor între parametrii sistemului monitorizat
4. Elaborarea sau adaptarea de algoritmi pentru predicția evoluției parametrilor, folosind istoricul valorilor stocate și alte informații
5. Dezvoltarea unor modalități de recunoaștere a unor rețete pentru optimizare, aplicabile sistemului supravheat, pentru îndeplinirea anumitor obiective de optimizare consfințite
6. Elaborarea unei arhitecturi software de referință și a cerințelor hardware minimale pentru un sistem de monitorizare proactiv, specific industriei apei
7. Dezvoltarea și implementarea unui historian proactiv autonom experimental

Așadar, subsecțiunea de față a inventariat celor 3 obiective principale stabilite aprioric demarării studiilor de cercetare doctorală, unul dintre acestea fiind, mai apoi, descompus, din punct de vedere logic, în 7 subobiective proprii.

1.3. Aplicabilitatea practică vizată de rezultatele cercetării

Examinând obiectivele fixate pentru cercetarea doctorală în cauză, se poate desluși prezența unui pronunțat caracter practic aplicativ, uneltele și strategiile dezvoltate sub umbrela acestui studiu încuviințând testarea acestora pe sisteme reale din industrie, în acest fel furnizând și posibilitatea validării studiilor cu ajutorul unor rezultate reale. Chiar dacă tema de cercetare urmărește, în special, subiecte conexe industriei apei, cel puțin o parte dintre produsele cercetării vor avea, totuși, un caracter generic, fiind astfel favorizată aplicarea acestora și în alte industrii.

Din perspectivă practică, tematica cercetării vizează dezvoltarea unei soluții software de tip historian proactiv autonom pentru industria apei, care să dețină, pe lângă capabilitățile de stocare a valorilor parametrilor de funcționare ai sistemelor tehnice monitorizate, și capabilități de a identifica și înțelege relațiile specifice dintre diferiți parametri, în acest fel permițându-i aplicației punerea în practică ulterioară a optimizării sistemului tehnic urmărit, într-o manieră neinvazivă. Astfel, implementarea practică a soluției software menționată poate integra toate chestiunile tratate în tema de cercetare prevăzută, ceea ce ar deschide oportunitatea livrării directe a avantajelor provenite în urma cercetării către mediul industrial.

Mulțumită acestui potențial ridicat de aplicabilitate practică a rezultatelor tezei doctorale, se constată, în acest caz, o șansă de a transpune ideile din sfera teoretică, abstractă, spre lumea reală, în industrie. În acest sens, se evaluează, la nivel filozofic, faptul că unul dintre cele mai importante aspecte ale unei cercetări, și anume posibilitatea introducerii unui beneficiu direct, concret, palpabil, în lumea reală, pe baza rezultatelor respectivei cercetări, poate fi atins prin teza doctorală curentă. În consecință, acest raționament este unul dintre motivele esențiale care au stat la temelia alegerii acestei teme de cercetare.

Într-o articulare mai explicită, prin intermediul proiectului experimental Historian se vizează a se obține, pentru industria apei, un instrument software ușor de utilizat, instalat pe o platformă hardware accesibilă, amplasată fie în apropierea fizică a sistemului monitorizat, fie la distanță. Mai departe, după o scurtă perioadă inițială de configurare, ustensila va putea funcționa autonom și automat, suplimentar simplei scrieri într-o bază de date a valorilor semnalate pentru distincți parametri ai sistemului, aceasta cunoscând procesul asociat, calculând unele optimizări și aplicându-le sistemului tehnic de care este atașată, nereclamând nici un fel de participare umană. În mod natural, un exemplu de asemenea optimizare este, dintre multe altele, reducerea consumului de energie într-o stație de tratare și distribuție a apei potabile, prin prioritizarea surselor de apă aflate la îndemână, diminuându-se, pe această cale, costurile de operare ale stației, turnură care se bucură de un interes apreciabil din partea companiilor de apă existente.

În final, se poate conchide că aplicabilitatea practică a cercetării este accentuată, acest fapt conferind dezvoltărilor de factură teoretică din această lucrare un plus de valoare.

1.4. Structura tezei

Mai presus de orice, o structurare bună înlesnește atât o parcurgere comodă a textului, cât și o înțelegere superioară a mesajului, pentru împărțirea conținutului acestui manuscris onorându-se, preponderent cronologic, etapele de cercetare desfășurate, dar și înlănțuirea logică a subiectelor abordate de către acestea. Ca atare, această lucrare este sistematizată în 9 capitole substanțiale, comentate concis în paragraful succesor.

În mod previzibil, primul capitol are un rol preparatoriu, pentru ca cel de-al doilea să descrie stadiul la zi al studiilor în ramura de competență a tezei, arborând un recensământ amănunțit al celor mai pregnante articole științifice din arealul de interes. Apoi, fragmentul terț înșiruie cercetarea și dezvoltarea unei aplicații software elementare, de tip historian, cu necesități scăzute, destinată industriei apei. După aceea, punctul culminant, în speță capitolele patru, cinci, șase, șapte și opt, surprinde cercetările, implementările și testele efectuate sub egida doctorală pentru a converti soluția rudimentară din delimitarea antecedentă într-o unealtă autonomă, proactivă, inteligentă și îndreptățită să aprovizioneze industria cu atuuri capitale, manifestate prin intermediul unor optimizări sprijinite pe analiza datelor istorice. Pe această filieră, multitudinea fronturilor din elevarea spre proactivitate a fost, la rândul ei, repartizată în cinci capitole reliefante, fiecare dintre acestea înglobând câte un pas, o treaptă din drumul spre obținerea însușirilor proactive: arhitectura de referință în partea a patra, identificarea dependențelor și a relațiilor dintre datele stocate în secvența cinci, strategie de reducere a consumului de energie în porțiunea cu numărul șase, strategie predictivă bazată pe meteorologie în cea de-a șaptea diviziune, respectiv automatizarea completă a strategiei de reducere a consumului energetic în pasajul al optulea. Firește, la capătul documentului, cel de-al nouălea capitol concluzionează teza.

În această distribuție, pentru claritate și grupare, informațiile au fost eșalonate în nu mai puțin de 56 de subsecțiuni, majoritatea dintre acestea fiind subordonate altora, într-o structură ierarhică bine determinată, de granularitate medie.

În paralel, pe criterii statistice, lucrarea are 165 de pagini, din care 138 de pagini de conținut și 16 pagini de bibliografie, acestea înregimentând 58 de figuri, 9 tabele, 9 formule și referind 239 de titluri bibliografice.

2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIUL TEZEI

2.1. Noțiuni generale

Păstrând locul unei remarci inițiale, pe lângă faptul că acest capitol secund al tezei oferă o prezentare generală, de ansamblu, asupra principalelor direcții de dezvoltare din Industry 4.0, în contextul Industrial Internet of Things, de asemenea, înfățișează, pe scurt, o recenzie a literaturii de specialitate relevante pentru stadiul actual al cercetării în fiecare din aceste căi de expansiune. Adicional, se investighează adoptarea noilor dogme, în mod deosebit în industria apei. Astfel, analiza minuțioasă de față poate fi foarte folositoare, în același timp, prilejuind economisirea de timp, pentru cercetători din zona academică interesați de această latură, mai ales datorită punerii la dispoziție a unei modalități mai ușoare de a contura o imagine globală, cuprinzătoare, a domeniului.

În ceea ce privește metodologia urmată pentru evaluarea stadiului actual, autorul tezei a ghidat studiul cu pricina după ideile expuse în continuare. În primul rând, au fost identificate lucrări științifice relevante pentru stadiul actual al cercetării, atenția concentrându-se, cu precădere, pe conferințe și jurnale cu un factor de impact mare, fiind privilegiate, de asemenea, lucrări de cercetare care au fost citate de un număr însemnat de ori de către comunitatea științifică. Pentru aceasta, mai multe cuvinte cheie au fost utilizate pentru căutări, în timp ce procesul de selecție și filtrare a fost bazat atât pe fezabilitatea, cât și pe sustenabilitatea cercetărilor. Prin urmare, lucrările de cercetare cotate de către autorul tezei ca fiind nesustenabile sau neavând o influență semnificativă, nu au fost menționate în această secțiune a doua a tezei. În plus, au fost analizate, cu atenție, tendințele existente din industrie, încercându-se, în acest mod, o restrângere a diferențelor dintre cercetare și nevoile reale ale mediului economic. Nu în ultimul rând, cu scopul de a menține actualitatea perspectivei formulate, perioada de timp considerată a fi de interes se plasează între anul 2016 și prezent, deși un număr mic de lucrări relevante publicate înainte de anul 2016 au fost, totuși, luate în calcul.

Ținând cont de metodologia rezumată anterior, se poate derula tranziția spre precizarea câtorva noțiuni schematice, interdependente cu domeniul vizat. Pe acest fond, Industry 4.0 desemnează un subiect foarte popular în prezent, atât în industrie, cât și în mediul academic [1], acest termen fiind promovat inițial de către trei ingineri germani [2] și susținut de guvernul german. Concret, noua viziune promite să elimine decalajul dintre lumea fizică și cea digitală în industrie [3], țelul Industry 4.0 constituindu-se în inserarea puterii digitale în industrie și în interconectarea digitală a întregii lumi [4]. Desigur, acest concept Industry 4.0 poate fi etichetat ca reprezentând o adevărată Revoluție Industrială pe scară largă, transformare care deține potențialul de a aduce beneficii imense și a schimba viețile multor oameni, din diverse sectoare economice.

Cumpănind dintr-un unghi ușor diferit, se poate observa că ideea de Industry 4.0 [5][6][7][8][9] este strâns legată de paradigma Industrial Internet of Things [10][11][12][13] datorită faptului că unul dintre cele mai importante puncte de interes, în ambele teoretizări, este comunicarea inteligentă între diferite entități

industriale. De fapt, IIoT este un concept derivat din mai cunoscutul Internet of Things [14][15][16], ariile sale de aplicabilitate aflându-se într-o perpetuă amplificare. În mod similar, IIoT încearcă să conecteze calculatoare, controllere, actuatori și senzori la Internet, îngăduind astfel un schimb de informații între toate componentele implicate [17]. Mai departe, această comutare de informații poate forma baza pentru construirea de viitoare servicii inteligente, cu potențial mare de a crește nivelurile de eficiență și flexibilitate care pot fi găsite astăzi în industrie [18][19][20].

Plecând de la aceste premise, multe dezvoltări țintesc sectoarele menționate, iar cercetările se ramifică și se extind continuu cu diverse concepte, însă uneori fără o șansă reală de materializare a studiilor, din cauza lipsei de susținere din industrie. Fără îndoială, această problemă apare din cauza pierderii conexiunii efective la ideile de ultimă oră din IIoT și Industry 4.0 și la direcțiile de dezvoltare stabilite, pe de o parte, de către majoritatea sau principalele mișcări de cercetare de succes și, pe de altă parte, de către reprezentanți industriali în domeniu. Pentru a depăși aceste probleme, o perspectivă organizată și bine structurată asupra stadiului actual este absolut necesară.

Sintetizând comasat noțiunile generale aduse precedent în atenție, subsecțiunea curentă se încheie, cedând locul unei detalieri a stadiului actual al cercetării în domeniul tezei, care se întinde pe parcursul următoarelor subcapitole.

2.2. Concepte și caracteristici de bază ale Industry 4.0

Scopul acestei secțiuni îl constituie evidențierea celor mai proeminente caracteristici, componente și concepte ale Industry 4.0, conlucrând, în acest mod, la o mai bună înțelegere a termenului.

Astfel, denumirea de Industry 4.0 a fost lansată pentru prima dată la târgul de la Hanovra, în anul 2011 [21][22]. Începând cu acest moment inițial, impactul estimat al acestei așa-numite a 4-a Revoluție Industrială este uriaș și legat de diverse aspecte ale societății, nelimitându-se doar la producția industrială [4]. Între timp, târgul de la Hanovra a evoluat, în special după anul 2016, într-unul dintre cele mai mari târguri comerciale din lume, ajungând, în prezent, să acopere toate zonele de tehnologie industrială și să seteze trendurile de sub paradigma Industry 4.0. Târgul se adresa inițial în mod exclusiv țărilor europene, însă, începând cu anul 2016, când SUA a devenit țară parteneră, a avut loc o facilitare a accelerării apariției inovației științifice și a studiilor de sub paradigma Industry 4.0, ceea ce a transformat târgul într-unul dintre reperele cercetătorilor din domeniu.

În primul rând, Industry 4.0 dizolvă conceptul precedent al piramidei automatizării, în care tehnologia informației și tehnologia operațiilor erau separate, iar componentele comunicau doar cu alte elemente situate la nivelurile adiacente. Conform noii paradigme, această piramidă a automatizării este înlocuită cu o structură în interiorul căreia entitățile pot fi conectate între ele în mod direct, permițând în acest fel unei entități să comunice cu oricare altă entitate prezentă [23][24][25]. De asemenea, comunicarea clasică dintre senzori și PLC-uri este completată și, uneori, chiar înlocuită de o comunicare între senzori și Cloud. În continuare, piramida clasică a automatizării este evocată în Figura 2.1, de mai jos.



Figura 2.1. Piramida clasică a automatizării

În cercetarea [26] autorii au identificat 8 zone prioritare de acțiune în ceea ce privește Industry 4.0: managementul sistemelor complexe, productivitatea și eficiența resurselor, livrarea unei infrastructuri de tip broadband, standardizarea și arhitectura de referință, training și dezvoltare profesională continuă, siguranță și securitate, organizarea muncii, cadrul de reglementare.

Bineînțeles, conceptele Industry 4.0 apar în întâmpinarea cerințelor pieței pentru produse mai personalizate, care trebuie să beneficieze de faze de inovare cât mai scurte posibil [3]. Pentru îndeplinirea acestor obiective, Industry 4.0 va dezvolta noi tehnologii, care vor contribui la deschiderea de noi sectoare economice și locuri de muncă [27], acestea, la rândul lor, necesitând noi abilități din partea angajaților [28]. În ceea ce privește consecințele negative, există numeroase locuri de muncă aflate în analiză pentru posibilitatea de a fi automatizate [29], fapt care ridică probleme legate de șomaj [30]. De asemenea, un alt sector social care trebuie să țină pasul este cel al educației deoarece, în prezent, companiile care încearcă să evolueze spre Industry 4.0 sunt restricționate de lipsa calificărilor și a pregătirii adecvate a muncitorilor, subiect care este abordat în [31].

Așadar, condițiile actuale din piață conduc spre creșterea cererilor din partea clienților industriei de bunuri, transformând cu această ocazie vechea paradigmă de producție în masă spre o personalizare în masă. În acest sens, pentru a reuși să țină pasul, producătorii trebuie să ofere diferite caracteristici opționale și o gamă mai largă de specificații din care clienții lor să poată alege [32]. Astfel, aceste transformări vor cauza un set de noi provocări pentru industria de bunuri, generate de: (i) niveluri mai înalte de incertitudine, grație modificărilor frecvente ale caracteristicilor, proprietăților sau însușirilor produselor; (ii) o diversitate crescută a produselor; (iii) schimbări rapide în ciclurile de viață ale producției [33].

Conform [34], fabricile și produsele vor deveni inteligente, profitând de un schimb de informații automat între toate resursele, procese de producție independente și autonome, alături de comunicare între producători, furnizori și clienții finali.

Urmărind aceeași direcție, mijloacele de producție ale viitorului vor deveni, la rândul lor, inteligente și se vor transforma în sisteme de producție mixte, îmbinând elementele cibernetice cu cele fizice, aducând, în acest fel, adaptabilitate, flexibilitate, deschidere și modularitate proceselor de producție [35][36].

Pentru atingerea dezideratelor menționate în prealabil, Industry 4.0 pune la dispoziție îmbunătățirea interoperabilității sistemelor de producție atât pe orizontală, cât și pe verticală, bazându-se pe tehnologia informației și a comunicațiilor, dar și pe tehnologie operațională avansată [37].

În altă ordine de idei, eforturile de standardizare a arhitecturii Industry 4.0 au dus la crearea Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0) [19], care este o arhitectură pe niveluri, încercând să combine elementele specifice tehnologiei informației cu celelalte componente implicate, într-o manieră structurată.

Drept exemplu, în continuare, pornind de la modelul RAMI 4.0, se prezintă în [38] o arhitectură rafinată pentru un sistem de fabricație, conținând doar 4 niveluri. De asemenea, studiul a folosit o combinație de OPC UA și AutomationML (AML) ca fundație a sistemului și a implementat o demonstrație de laborator a prototipului.

Mai degrabă concentrându-și atenția asupra zonei de asigurare a calității, cercetarea [39] explorează posibilitatea de a corecta deviațiile calitative ale produselor în timpul producției, fără a mai fi necesară fabricarea unui întreg lot defectuos, plecând de la analiza proceselor de producție și a datelor de test postproducție.

Pe de altă parte, principiile Industry 4.0 influențează și mentenanța instalațiilor de fabricație. În această direcție, paradigma de mentenanță se schimbă, la rândul său, spre o abordare de tip predictiv, analizând cantitățile mari de date generate în facilitățile de producție și identificând anomalii în comportamentul activelor. În acest sens, în [40] se introduce o arhitectură pentru un sistem de mentenanță inteligent și predictiv, care este aliniat cu paradigma Industry 4.0. Astfel, sistemul constă în: (i) un modul de colectare a datelor; (ii) un modul de analiză online a datelor colectate, care poate detecta posibile cedări mecanice în faze incipiente, cu ajutorul inteligenței artificiale; (iii) un modul de predicție a defectelor și a duratei de viață; (iv) un modul de asistență cu realitate augmentată, care ajută tehnicienii pentru a realiza intervențiile de mentenanță la un nivel înalt de performanță. Plasându-se în aceeași zonă de mentenanță predictivă, însă direcționând aplicabilitatea practică spre căile ferate electrice, studiul [41] propune o abordare termografică, bazată pe sisteme fuzzy, pentru a obține îmbunătățiri semnificative față de soluțiile precedente. Prin prisma susținerii aproximativ aceleiași direcții, un nou algoritm iese la suprafață în [42], pentru a transforma detectarea defectelor într-o problemă de clasificare, metodele experimentale urmate demonstrând atât capabilități superioare față de uneltele clasice, utilizate anterior, cât și posibilitatea detectării, în timp real, a defectelor. Pe lângă acestea, un ecosistem deschis este discutat în [43], utilitatea acestuia fiind demonstrată în zona de mentenanță a unui parc eolian. Desigur, același subiect al mentenanței predictive constituie și preocuparea cercetării [44], unde se investighează mecanisme de oprire și recuperare a mașinilor industriale.

În concluzia acestei secțiuni, concomitent cu expunerea premergătoare, conceptele esențiale ale Industry 4.0 sunt sumarizate și în Figura 2.2, poziționată în continuare, conceptualizarea grafică simplificând viziunea de ansamblu asupra ideilor anterior prezentate.

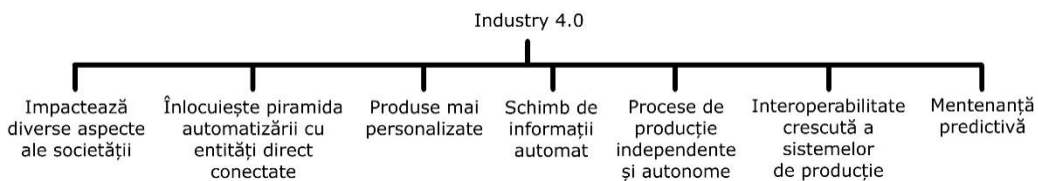


Figura 2.2. Conceptele principale ale Industry 4.0

2.3. Concepte principale ale Industrial Internet of Things

Secțiunea curentă relevă o succintă privire de ansamblu asupra noțiunilor și aspectelor de bază din jurul Industrial Internet of Things, având ca scop principal facilitarea atât a unei mai bune înțelegeri a conținutului acestui material, cât și a unei diferențieri exacte a termenilor IIoT și Industry 4.0.

Din punct de vedere conceptual, IIoT [45][46][47][48][49] este foarte similar paradigmei Industry 4.0, în lucrarea [50] autorii considerând cele 2 concepte ca fiind, în fapt, același fenomen, diferența de denumiri datorându-se exclusiv domeniilor lor ușor diferite de aplicabilitate.

În continuare, principalele concepte ale IIoT sunt ilustrate în Figura 2.3, de mai jos, pentru conturarea unei imagini de ansamblu, aceasta urmând a fi detaliată mai departe, pe parcursul acestei secțiuni.



Figura 2.3. Conceptele principale ale IIoT

În lumina celor evidențiate retroactiv, se poate remarca unul dintre obiectivele principale ale IIoT, și anume, conectarea obiectelor fizice prin intermediul Internet-ului, rezultând astfel faptul că principala caracteristică oferită de către această paradigmă o reprezintă nivelul înalt de conectivitate dintre diferite entități industriale. Această caracteristică principală, alături de software-ul inteligent, permit crearea de sisteme tehnice mai sofisticate, care vor admite monitorizarea [51][52] și controlul lor de la distanță, utilizând aplicații software. De asemenea, paradigma IIoT promite îmbunătățirea caracteristicilor de funcționare ale sistemelor tehnice (eficiență în folosirea timpului, consum de energie, reducerea costului), prin implementarea de diverși algoritmi software, care pot optimiza, în mod autonom, sistemele [53][54].

Din punct de vedere arhitectural, IIoT beneficiază de o arhitectură de referință, care a fost elaborată de către Industrial Internet Consortium. Această arhitectură de referință [55] este împărțită, din punct de vedere logic, în 3 niveluri: margine, platformă și întreprindere. Nivelul margine este responsabil de colectarea datelor de la nodurile de margine și transferarea acestora mai sus, spre nivelul platformă. Principalele responsabilități ale nivelului platformă sunt furnizarea de analize și operațiuni de date, precum și funcții de management pentru activele industriale. Nivelul întreprindere reprezintă interfața cu utilizatorul final și trebuie să implementeze diverse sisteme și aplicații de susținere a mecanismelor de luare a deciziilor.

Pe lângă arhitectura de referință, literatura propune, de asemenea, multe arhitecturi diferite, fiecare dintre acestea adresându-se nevoilor zonei respective de aplicare [56][57][58]. Majoritatea arhitecturilor propuse sunt bazate pe conceptul Software-Defined Network [59][60][10]. Similar, în [61] autorii prezintă o arhitectură cu 5 niveluri pentru sisteme de control distribuite în rețea, sub paradigma IIoT. Arhitectura propusă de aceștia favorizează procesul de control în rețele distribuite și agreează formarea de agenți cu interacțiuni între senzori, controllere și actuatori.

În contextul IIoT, senzorii inteligenți evoluează spre o abordare mai independentă, în [62] fiind prezentate diverse metode pentru a dezvolta senzori

autoalimentați cu energie, fructificând surse de energie din infrastructura de apă, cum ar fi: (i) conversia, cu ajutorul transductorilor electromagnetici sau piezoelectrice, a energiei cinetice a vibrațiilor induse în țevile de apă, în energie electrică; (ii) folosirea unui generator termoelectric care utilizează efectul Seebeck din diferența de temperatură dintre un material care stochează energie termică solară și apa din țevi, pe post de radiator. În aceeași zonă a senzorilor inteligenți, lucrarea [63] introduce un prototip de contor inteligent pentru energie electrică, dispunând de capabilități de comunicare fie prin interfața CAN, fie prin radio și oferind, în plus, posibilitatea de a fi folosit pe post de repetor pentru valorile măsurate de alți senzori, alături de funcțiile de măsurare în mod bidirecțional și de contabilizare atât a energiei active, cât și a energiei reactive. Într-o optică apreciabil mai largă, o metodologie în 3 faze pentru construirea unei rețele de senzori inteligenți este elaborată în [64], pașii stabiliți aici fiind: (i) identificarea căilor de rutare simplă, cu tehnologia de căutare în adâncime (depth-first search) propusă în articolul cu pricina; (ii) aplicarea tehnicii Analytic Hierarchy Process (AHP) pentru a analiza structura problemei și a obține ponderi pentru anumite criterii; (iii) utilizarea tehnicii Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) pentru a ierarhiza rutele.

Firește, sunt importante în acest domeniu și modalitățile de comunicare, în [65] autorii oferind o perspectivă asupra numeroaselor protocoale de comunicare întrebuințate în vecinătatea IIoT, cum ar fi OPC UA, HTTP, CoAP (ca și protocol de transfer web specializat), MQTT (ca protocol orientat pe mesaj) și AMQP (ca protocol pentru middleware orientat pe mesaj), aceeași problemă fiind atacată în [66] și [67].

Mai recent, se poate remarca un trend puternic spre integrarea tehnologiilor de tip blockchain în IIoT, un exemplu elocvent fiind reprezentat de lucrarea [68], care aduce îmbunătățiri pe partea de securitate. Suplimentar, o recenzie asupra celor mai interesante aplicații bazate pe blockchain cu destinație pentru IIoT este adusă în discuție atât în [69], cât și în [70], iar modul în care tehnologia blockchain poate sprijini aplicațiile inteligente în producție este investigat în [71].

În mod îmbucurător, se pot sublinia și manifestări precum [72], îndrumate spre sfera sustenabilității industriei prin încurajarea diminuării emisiilor și a consumului energetic.

În încheierea celor discutate, se estimează că subsecțiunea de față și-a atins, într-un spațiu rezonabil, țelul fixat, acela de a elucida principalele idei din jurul paradigmei Industrial Internet of Things, printr-o analiză lucidă și concisă a literaturii de specialitate.

2.4. Direcțiile de dezvoltare principale ale Industry 4.0

2.4.1. Rețelistică și OPC UA

Datorită faptului că atât Industry 4.0, cât și IIoT accentuează importanța conectării a diferite entități industriale, în mod natural, una dintre cele mai consistente direcții de dezvoltare este în zona interfațării și rețelisticii.

În acest sens, cea mai mare provocare din zona de rețelistică o reprezintă obținerea unei conectivități omniprezente între toate entitățile existente. Pentru a aborda această provocare, este necesară implementarea configurării de management a dispozitivelor în mod automat, urmărind astfel scopul de a face posibil pentru entitățile care posedă caracteristici diferite să fie configurate în interiorul sistemului, fără a reclama intervenție din partea utilizatorului [73].

În altă ordine de idei, OPC UA [74][75][76][77][78] este o tehnologie de comunicare client-server implementată peste stiva TCP/IP standard și concepută în mod specific pentru domeniul automatizării industriale. De asemenea, tehnologia este dezvoltată de către OPC Foundation [79], fiind lansată inițial în anul 2008. Mai mult, protocolul este independent de platformă și oferă o arhitectură orientată pe servicii, aspecte care îl propulsează ca fiind adecvat pentru nevoile Industry 4.0. La fel de important, OPC UA suportă, în prezent, 2 tipuri de protocoale: unul binar (accesibil via `opc.tcp://Server`) și unul de tip serviciu Web (accesibil via `http://Server`). Așadar, principalele caracteristici ale OPC UA sunt: independența de platformă, echivalența funcțională (față de predecesorul său, OPC Classic), securitatea, fiabilitatea, extensibilitatea, scalabilitatea, codificarea comună. Datorită acestor caracteristici, OPC UA a devenit una dintre pietrele de fundație în zona de dezvoltare a rețelisticii.

Rămânând în aceeași zonă, studiul din [80] prezintă un nou serviciu de traducere, folosit pentru permiterea interoperabilității dintre OPC UA și diferite protocoale cu arhitecturi orientate pe servicii (de exemplu, HTTP și CoAP). Asemănător, lucrarea [81] propune o nouă interfață, open source, bazată pe OPC UA și RAMI 4.0, urmărindu-se dobândirea interoperabilității între diferite tipuri de platforme, obiectiv avut în vedere și în [82].

De asemenea, OPC UA a fost asimilat cu principiile RESTful pentru comunicare industrială în [83], cercetarea în vizor făcând uz de intervenții minimale în stiva de comunicare OPC UA.

Pe de altă parte, se apelează la OPC UA în [84] pentru a încorpora diferite rețele din domeniul industrial într-un singur sistem de management al energiei, la nivel de întreprindere.

În plus, lucrările [85] și [86] au studiat combinarea OPC UA cu AutomationML (AML), identificând 2 aplicabilități distincte: schimbări fără pierderi ale configurațiilor de sistem OPC UA și operaționalizarea AML folosind OPC UA. Similaritățile dintre OPC UA și AML sunt studiate și prezentate în detaliu în [86].

O nouă abordare pentru utilizarea OPC UA este evidențiată în [87], cercetarea implementând o încapsulare (wrapper), oferind astfel diferite capabilități de interfațare cu sistemele locale. Mai departe, această încapsulare este folosită pentru a obține o soluție de control neinvazivă, care să crească nivelul de pregătire tehnologică (technological readiness level), prin rezolvarea a două probleme specifice distribuției de apă: blocaje în stațiile de pompare a apei reziduale și volum excesiv al apei reziduale la admisia în stații. Dând curs unor procedee asemănătoare, în [88] și [89] se prezintă soluții pentru încapsularea (wrapper) OPC UA, cu un nivel înalt de pregătire tehnologică (technology readiness level), aplicate la companii de distribuție a apei, conducând în această manieră la interoperabilitate.

Corespunzător acestei direcții de dezvoltare, este adus în atenție un studiu, [90], despre cuprinderea rețelisticii sensibile la timp (TSN) în OPC UA. Cercetarea prezintă, de asemenea, modalități de înglobare a diferite dispozitive OPC UA, în aceeași zonă de inovații rețeliste fiind propus, în [91], un studiu referitor la aplicabilitatea modelului Publisher-Subscriber în OPC UA, la diferite niveluri (nivelul câmp, nivelul de control, nivelul întreprindere). În aceeași direcție, în [92] se investighează integrarea serverelor OPC UA de tip non-real-time cu Publisher-Subscriber OPC UA de tip real-time, în TSN.

Pe o cale de cercetare ușor diferită, sunt prezentate în [93] noi tipuri care pot fi adăugate la OPC UA, noi programe și blocuri de funcții OPC UA și se studiază, de asemenea, modelarea funcționalității dispozitivului.

În continuare, în [94] este alăturat un nou model la OPC UA, care conține informații despre variabilitate și este neinvaziv. În legătură cu același subiect, se

propune un model care rezolvă toate problemele din cauza cărora OPC UA este obstrucționat în demersurile de a deveni fără sesiune (stateless), în [50].

Într-o notă separată, cercetătorii recurg în [95] la programe OPC UA pentru a standardiza funcțiile oferite de un sistem, exemplificând prin aprinderea și stingerea unui bec electric.

În ceea ce privește securitatea OPC UA, studiul din [96] concluzionează faptul că aceasta nu este destul de eficientă pentru transferul de date la nivelul dispozitivelor din câmp, recomandând îmbunătățiri securității OPC UA, fie prin alipirea IPSec alături de OPC UA, fie prin includerea unui nou profil de securitate pentru autentificare în OPC UA. Lărgind puțin orizontul până la nivelul rețelei, cercetarea [97] evaluează vulnerabilitățile cibernetice, oferă o recenzie a literaturii în privința soluțiilor de detectare a intruziunilor și testează eficacitatea unei noi metode de analiză a vulnerabilității rețelelor, bazată pe tehnologii de tip Machine Learning. Totodată, acest tip de tehnologie este utilizat și în [98], unde se testează o altă abordare pentru detectarea intruziunilor în rețelele industriale, prin analizarea înregistrărilor conexiunilor de rețea dintr-o bază de date.

O evaluare a conceptului de rețelistică definită de software (SDN) este prezentată în [99], lucrarea furnizând identificarea a 10 cerințe pentru managementul rețelei în cazuri de utilizare industrială. De asemenea, contribuția lucrării este extinsă, fiind studiat modul în care SDN poate juca un rol facilitator pentru viitoare sisteme de management industrial, însă, din cauza unor probleme identificate (cum ar fi: asigurarea resurselor QoS, lipsa mecanismelor de planificare, sincronizare), se recomandă combinarea ambelor concepte, SDN și TSN, pentru managementul și configurarea viitoarelor rețele industriale.

În aceeași ordine de idei, lucrarea [100] analizează starea curentă a eforturilor de implementare pentru realizarea unei comunicații în rețea securizate și sensibile la timp (time-sensitive), cu aplicabilitate în monitorizarea și controlul proceselor la distanță. De asemenea, se afirmă problemele deschise, nerezolvate din zona de cercetare și se propune o arhitectură generică, incluzând tehnologii TSN și SDN.

Conform articolului [101], problema sistemelor de control în rețea (Network Control Systems) este deja rezolvată de apariția unui set de unelte care răspund unora dintre provocările impuse de IIoT, cum ar fi bruiatul și latența, dar scalabilitatea și interoperabilitatea încă reprezintă probleme deschise, nerezolvate. În aceeași direcție, în [102] se prezintă o abordare distribuită a Network Control Systems (DNCS), dar această abordare nu poate oferi bucle de control stabile, din cauza dispozitivelor de tip Plug & Play și aspectului non-deterministic al Internet-ului.

În continuare, componentele în timp real ale Industry 4.0 (de exemplu, aplicațiile de control al mișcării sau sisteme de siguranță critice) pretind o comunicare deterministă cu latență scăzută. Pentru a îndeplini aceste cerințe, tehnologia TSN [103][104] reprezintă un candidat potrivit pentru a permite integrarea atât a dispozitivelor în timp real, cât și a dispozitivelor care nu operează în timp real, în aceeași rețea. Alături de aceste cerințe, componentele în timp real necesită, de asemenea, redundanță și mecanisme pentru obținerea toleranței la erori. În [105] se prezintă un cadru (framework) pentru dispozitive în timp real, acoperind orchestrarea, infrastructura de comunicare, ingineria și componentele Industry 4.0. Cadru în cauză acceptă conexiuni TSN unice între dispozitive în timp real, dar nu tratează subiectele toleranței la erori și redundanței. Lucrarea inițială a fost extinsă în [106] de către aceeași echipă, ajungându-se astfel la redundanță de tip end-to-end între nodurile Industry 4.0, cu 0 pachete pierdute în caz de erori, folosind comunicație TSN, transmisie redundanță a cadrelor (frames) și trimiterea pe interfețe multiple. Examinând aceeași pistă, în [107] este descrisă o arhitectură de rețea rezistentă la

erori, de tip mono-hop, bazată pe tehnologie TSN. Pentru a obține toleranța la erori, s-a utilizat o topologie de tip stea, replicată, cu 2 echipamente de tip bridge, care au software duplicat. Insistând în tematica unor cadre (framework) pentru comunicare eficientă, care să asigure interoperabilitate, respectând principiile IIoT, se remarcă, de asemenea, studiul [108].

Raportându-ne la tendințele de evoluție ale acestei direcții, se identifică activitate temeinică înspre OPC UA, TSN și SDN. Desigur, rezultate notabile se consemnează, până acum, pentru creșterea interoperabilității și a interfațării, dar unele probleme încă sunt sesizate, de mai mulți cercetători, mai ales legate de securitate sau de scalabilitate.

Așadar, au fost enunțate anterior, în această subsecțiune, diverse tematici și abordări de cercetare din direcția de dezvoltare a rețelisticii și OPC UA, conturând, în acest mod, stadiul actual al cercetării în această zonă. Cu siguranță, navigarea spre aceste orizonturi este fundamentală atât pentru conceptul Industry 4.0, cât și pentru paradigma IIoT, viitoarele aplicații inteligente fiind sprijinite indispensabil pe facilitățile puse la dispoziție de conexiuni și interoperabilitate de nivel foarte ridicat. În acest cadru, rețelistica se va bucura, probabil, de cea mai rapidă dezvoltare de noi tehnologii.

2.4.2. Plug & Produce

Considerând noile perspective emergente sub Industry 4.0, sistemele de producție și fabricație tind să devină mai adaptabile și flexibile sub antemenționata paradigmă, având scopul de a face față cerințelor tot mai mari de personalizare [109]. Din cauza acestor modificări, industria se va confrunta cu schimbări rapide și va solicita ca timpul de configurare a dispozitivelor nou adăugate să fie cât mai scurt posibil. Pentru a satisface aceste revendicări, se profilează o nouă traiectorie de dezvoltare îndreptată spre integrarea noilor dispozitive în sistemele de producție deja existente, fără a cere intervenție manuală [110][111].

De fapt, termenul de Plug & Produce este inspirat din binecunoscutul termen Plug & Play, care este folosit pentru domeniul calculatoarelor. Cu scopul de a dobândi cu succes dispozitive Plug & Produce care să poată fi puse în valoare în industrie, este nevoie a fi identificată o metodă care să permită dispozitivelor să se descopere singure, în mod autonom, peste nivelurile arhitecturii de referință, RAMI 4.0. În speranța îndeplinirii acestui deziderat, cercetarea din [112] utilizează serviciul de descoperire oferit de OPC UA, atât pentru a detecta noile dispozitive conectate, cât și pentru a implementa configurarea automată a sistemului. În opoziție cu acest tip de abordări care presupun inteligență la nivelul dispozitivelor pentru selectarea partenerului la care se dorește conectarea, studiul [113] oferă o soluție care, deși se bazează tot pe serviciul de descoperire oferit de OPC UA, mută inteligența spre un controller SDN centralizat.

În mod similar, lucrarea [114] detaliază cerințele pentru integrarea dispozitivelor Plug & Produce, și anume: descrierea semantică a dispozitivului [115][116], interoperabilitate [115], integrarea de noi active, model informațional standardizat [117]. De asemenea, se prezintă o arhitectură pentru a integra diferite componente într-un spațiu de date bazat pe OPC UA și se utilizează caracteristica OPC UA Discovery cu scopul de a permite dispozitivelor atât să se descopere singure între ele, cât și să descopere capabilitățile lor în rețea.

Pe de altă parte, mecanismele de autodescoperire care sunt implementate pentru obținerea capabilităților Plug & Produce ridică, de asemenea, preocupări legate

de securitate. În acest sens, în [118] se adresează problema asigurării autenticității și securității pe parcursul întregului proces de descoperire și autoconfigurare.

Vizând un alt punct de vedere, lucrarea [119] introduce o arhitectură care asigură un mecanism pentru descoperirea dispozitivelor IIoT. Pentru aceasta, se folosește o abordare bazată pe ontologie și se integrează diferite protocoale IIoT într-o poartă (gateway), obținându-se în acest fel reconfigurarea entităților în timpul funcționării și facilitând capabilitatea Plug & Produce.

Urmărind reducerea eforturilor din etapa finală a integrării dispozitivelor Plug & Produce, în care încă este actuală necesitatea intervenției umane pentru a valida funcționalitatea sistemului și pentru a asigura livrarea calității și performanței așteptate, cercetarea [120] propune un cadru (framework) pentru susținerea deciziilor în sistemele de asamblare Plug & Produce.

În sfera practică, un modul Plug & Produce este implementat pentru automatizarea punerii în funcțiune a unei mașini de alimentare cu fluid, în [121], lucrarea detaliind întregul proces și aliniindu-se conceptelor moderne Industry 4.0.

În concluzie, prezenta subsecțiune a evidențiat succint cele mai semnificative rezultate recente în zona Plug & Produce (sisteme mai adaptabile și flexibile, autodescoperirea dispozitivelor și a capabilităților acestora în rețea, autoconfigurare), contribuind astfel la construirea unei imagini relevante asupra direcției de dezvoltare, a cărei înclinație va rămâne spre automatizarea completă a procesului de adăugare a unui nou element de producție ansamblurilor deja existente.

2.4.3. Modele de informații și date

În primul rând, modelele de informații și modelele de date păstrează o importanță semnificativă pentru industria automatizării deoarece acestea oferă posibilitatea de a contribui la atingerea nivelului dorit de interoperabilitate între diferite sisteme și entități industriale. Cu toate acestea, industria se bazează încă, în prezent, pe numeroase standarde și unelte pentru modelarea datelor, fapt contributor în mod direct la apariția problemelor de interoperabilitate, în special între echipamente provenind de la producători diferiți. Din această cauză, o parte importantă a eforturilor de cercetare și dezvoltare în Industry 4.0 se concentrează pe zona modelelor de date.

În concordanță cu cele expuse în paragraful precedent, se poate observa că funcționalitățile și capabilitățile oferite de sisteme încep să fie modelate folosind un model de informații OPC UA [122], care aduce beneficiul de a avea funcționalitatea dispozitivelor accesibilă de oriunde.

În acest sens, un nou model de date pentru OPC UA este prezentat în [123], unde abordarea aleasă stochează datele într-o bază de cunoștințe (knowledgebase), reflecție cu potențial de a reprezenta o schimbare fundamentală pentru viitor deoarece permite introducerea de aplicații bazate pe inteligență artificială în industria de fabricație, pentru zona de analiză a datelor și îmbunătățirea proceselor, capitalizând datele istorice. În mod cert, inteligența artificială oferă un mare potențial în reducerea costurilor, creșterea productivității și creșterea eficienței pentru industriile de automatizare și fabricație.

Continuând pe aceeași linie, inteligența artificială este, de asemenea, adusă în ecuație și în cercetarea [124], cu scopul de a implementa sisteme de asigurare a calității, idealul fiind reprezentat de concretizarea fabricației cu 0 defecte. Mai mult, lucrarea prezintă, de asemenea, o arhitectură de sistem care integrează controlul proceselor și al calității pentru instalațiile de fabricație. Din perspectiva practică a cercetării, sunt prezentate 2 exemple de unelte de inspecție inteligente, cu autocalibrare: unul predestinat măsurătorilor precise ale dimensiunilor interne a

componentelor turnate, iar celălalt proiectat pentru diagnosticarea unui ventilator pe bază de vibrații. Din nou, inteligența artificială își deschide drumul spre zona industrială în [125], unde se studiază o modalitate de învățare și antrenare care să asigure confidențialitatea datelor utilizate în acest proces.

Revenind la zona de modelare, în [126] se propune un nou concept referitor la un nivel de agregare a datelor energetice (Energy Data Aggregation Layer) și se introduce un model al stației de producție energetică (Energetic Production Site Model). Astfel, nivelul nou introdus colectează date de la multiple noduri locale și le face disponibile pentru nivelurile superioare. În același timp, datele sunt structurate într-un model AutomationML [127], care este un limbaj de modelare neutru din punct de vedere al producătorului și vânzătorului.

În încercarea de a adresa problema binecunoscută a eterogenității, care este specifică domeniului IIoT, în [128] se propune un model generic pentru configurarea dispozitivelor de control. În lucrare se modelează dispozitive pe post de rețele alcătuite din blocuri de funcții, în corelație cu un standard IEC.

În altă ordine de idei, conform [129] și [130], variabilitatea producției constituie un subiect foarte discutat în mediile de producție inteligente, însă ridică, de asemenea, diverse probleme, aceste probleme în sistemele de producție fiind clasificate în [131]. În acest context al variabilității producției, în [94] se propune un model de informație OPC UA neintruziv, care poate fi util pentru modelarea informațiilor de variabilitate. De asemenea, se uzitează de modele de caracteristici (feature models), deoarece acestea sunt deja binecunoscute și utilizate în managementul liniilor de produse software. Totuși, noul model de informație nu interferează cu structura internă a informațiilor de domeniu existente. În continuare, modelarea variabilității sistemelor de producție automatizate este, din nou, investigată în [132], iar în [133] autorii adaugă capabilități de modelare a variabilității la tehnologii preexistente prin crearea unei librării AutomationML și modificând diferite librării de componente specifice vânzătorului (vendor-specific component libraries).

La fel de important, în [134] se transformă o paradigmă de modelare generică în modele de informație OPC UA. Pentru aceasta, se pornește de la diagrame de clasă UML, care sunt transformate în modele de informație OPC UA. Pe parcurs se identifică însă o problemă legată de această transformare, din cauza capabilităților diagramelor de clasă UML, care sunt superioare celor ale OPC UA.

În final, cu toate că în această subsecțiune se semnalează doar referiri relativ sumare ale realizărilor și activităților din lucrările de cercetare a căror valoare și impact le conferă un statut înalt în formarea unei perspective informate asupra zonei de modele de informații și date, acestea au fost consultate cu meticulozitate. Pe această cale s-au creionat următoarele rezultate și direcții de prim rang ale modelelor: variabilitatea sistemelor de producție automatizate, transformarea diagramelor de clasă UML în modele de informații OPC UA, model generic pentru configurarea dispozitivelor de control, îmbunătățirea performanțelor prin reducerea costurilor, creșterea productivității și a eficienței, nivel de agregare a datelor energetice, accesibilitate universală la funcționalitățile dispozitivelor, promovarea aplicațiilor bazate pe inteligență artificială în industria de fabricație.

2.4.4. Big Data și Cloud Computing

Examinând domeniul de interes al tezei, dat fiind faptul că experții remarcă o creștere continuă a IIoT, se constată generarea unei cantități foarte mari de date, care pot fi benefice pentru a sprijini obiectivele operaționale și de afaceri. În aceste

împrejurări, se impune adoptarea tehnologiilor Big Data [135], permițând în acest fel analizei datelor să își deschidă drumul în automatizarea industrială.

Continuând în aceeași direcție, sistemele Big Data înfruntă, de obicei, 3 provocări principale, și anume: (i) colectarea unor cantități mari de date din surse multiple, cu diferite semantici și sintaxe; (ii) pregătirea datelor pentru analiză folosind stadii multiple (de exemplu: validare, transformarea datelor prin curățare/data cleansing, indexare, agregare, stocare); (iii) alegerea tehnicii de procesare corecte pentru cerințele de afaceri decise. În legătură cu ultima provocare, două tehnici de procesare diferite pot fi delimitate: procesarea loturilor (batch processing – inițial datele sunt colectate de-a lungul timpului și apoi sunt trimise pentru procesare) și procesarea în timp real (datele sunt trimise spre procesare în timp real) [136].

Adițional, punctul de vedere evocat anterior este susținut și de lucrarea [137], aceasta sugerând faptul că IIoT produce cantități mari de date semistructurate și nestructurate, transformând astfel tehnologiile Big Data într-o necesitate, având ca scop adresarea unora dintre problemele legate de date, cum ar fi analizarea, distribuția, vizualizarea și procesarea paralelă.

De asemenea, în [138] se arată că datele produse în contextul IIoT încep să devină dificil de stocat și analizat prin intermediul tehnologiilor tradiționale, din cauza complexității datelor, cercetarea evaluând că tehnologiile Big Data și IIoT vor evolua cooperativ și într-o relație strânsă.

Deviind puțin spre zona practică, se pot identifica cercetări recente care deja reușesc capitalizarea beneficiilor tehnologiilor Big Data în industrie, cum ar fi [139], unde se implementează un model nou pentru predicția prețului electricității, cu aplicabilitate directă în rețele electrice inteligente. Un alt exemplu îl reprezintă cercetarea [140], unde tehnologiile Big Data reușesc să ofere sfaturi cu privire la fezabilitatea unei anumite culturi agricole pentru o fermă.

Pe de altă parte, scenariile cazurilor de utilizare Industry 4.0 necesită, de asemenea, soluții bazate pe Cloud, pentru servicii de mentenanță predictivă și monitorizarea stării. În același timp, conceptul de Cloud Computing aduce infrastructură la cerere și flexibilă pentru serviciile industriale, așa că automatizarea industrială începe să folosească treptat și această tehnologie [18].

În eventualitatea în care s-ar favoriza adoptarea acestei tehnologii, se identifică în [135] cerințele pe care o platformă Cloud trebuie să le îndeplinească pentru a fi utilă în industria de fabricație: scalabilitate, securitate, fiabilitate, latență scăzută, protocoale suportate, integrare, modele de stabilire a prețurilor. Mai departe, cercetarea prezintă, de asemenea, un studiu al unora dintre platformele Cloud deja existente, atât de uz general, cât și de uz industrial. La fel de important, cercetarea [141] se concentrează asupra identificării tehnicilor Big Data foarte performante, care pot fi aplicate datelor industriale.

Într-o notă ușor diferită, datorită creșterii cantității de date generate de IIoT într-un ritm foarte rapid, o abordare orientată spre mutarea tuturor acestor date în Cloud devine ineficientă. Fără îndoială, o asemenea practică poate introduce probleme legate de latență, afectând în acest mod calitatea generală a aplicațiilor IIoT. Urmărind rezolvarea acestor probleme, se introduce în [142] conceptul de Fog Computing, această nouă paradigmă propunând mutarea proceselor de stocare, calculare și analiză mai aproape de sursele de date. În esență, Fog Computing [143][144] reprezintă un nivel intermediar, un strat de mijloc, plasat între dispozitivul IIoT și Cloud. În ceea ce privește beneficiile, va avea loc o reducere a traficului în rețea între dispozitivele locale și platforma Cloud, în același timp fiind introduse conexiuni de rețea cu latență redusă între dispozitive și punctele finale de analiză a datelor. În plus, alte potențiale probleme rezolvate de către conceptul de Fog

Computing sunt disponibilitatea, securitatea și preocupările legate de control profilate în mod inevitabil în jurul platformelor de Cloud publice. Cu toate acestea, studiul [145] urmărește o platformă de tip middleware, care suportă dezvoltarea rapidă a soluțiilor bazate pe IIoT, atât în configurație Fog Computing, cât și în configurație Cloud, performanțele acestora fiind analizate în scenarii de irigații cu apă. În același sens, o evaluare comparativă a conceptului de Fog Computing, prin analogie cu perspectiva Cloud, constituie subiectul principal al eforturilor din [146] și [147]. Din punct de vedere practic, ideologia Cloud Computing ar putea fi aplicată, pe de o parte, soluțiilor de decizie și control asociate cu parcuri eoliene hibride [148], iar pe de altă parte, utilitatea acestora poate fi valorificată în situații în care procese distribuite la scară largă ar fi analizate dintr-o perspectivă mai puțin granulară, în încercarea de a ajusta sau optimiza procesul integrat (de exemplu, un furnizor cheie și mai mulți producători în aval, situație întâlnită în [149]). La rândul său, conceptul de Edge Computing este aprofundat în [150].

În ciuda faptului că mutarea tuturor datelor în Cloud nu reprezintă o soluție fezabilă, lucrarea [151] propune, totuși, o metodă generică și sigură pentru migrarea spre Cloud a sistemelor industriale existente, investigând, de asemenea, dacă cerințele sistemelor de control în timp real pot fi îndeplinite pe parcursul tranziției, minimizând întreruperea operațiunilor în acest interval.

În spiritul studiilor anteprecizate în subsecțiunea de față, aceasta se concluzionează rezervând convingerea că scopul prezentării incursiunilor de ultimă oră în zona de Big Data și Cloud Computing a fost atins cu succes, prin discernerea, pe întinderea acestui subcapitol, a unor linii clare, unde deja s-au înregistrat rezultate palpabile, iar dezvoltarea va persista, fără ezitare, pe aceste făgașe: Fog Computing, Edge Computing, platforme Cloud și migrarea sistemelor existente spre acestea, tehnici Big Data performante.

2.4.5. Standardizare

În mod indubitabil, conceptele de IIoT și Industry 4.0 conduc în prezent la transformări semnificative atât în industria de fabricație, cât și în industria de automatizare. Datorită faptului că numeroase companii din zona de fabricație implementează o varietate largă de soluții, într-un peisaj eterogen, se dezvoltă astfel o lipsă de standarde din punct de vedere arhitectural în domeniul industrial. În mod concret, cele mai afectate zone sunt interoperabilitatea și conectivitatea IIoT.

Beneficiind de contextul inițial consfințit, cu certitudine se poate remarca faptul că standardele pentru informații sunt necesare pentru a permite sistemelor de automatizare să schimbe între ele și să înțeleagă diverse date [152].

Deși se poate distinge un efort masiv canalizat spre implementarea noilor concepte IIoT în industrie, companiile se confruntă, în continuare, cu provocări și obstacole în timp ce implementează noile tehnologii [36] deoarece este disponibil un număr foarte mare de unelte folosite pentru a migra de la sistemele vechi, tradiționale, la noile sisteme de producție, care îmbină elementele cibernetice și cele fizice. Principalul motiv pentru care încă se regăsesc aceste probleme îl reprezintă lipsa standardelor tehnice IIoT, standarde care ar trebui să le ofere inginerilor specificațiile și cerințele detaliate, atât pentru comunicare, cât și pentru schimbul sau procesarea datelor între sistemele de producție care îmbină elementele cibernetice cu cele fizice [153].

În mod similar, cercetarea [154] scoate în evidență faptul că dezvoltarea de standarde arhitecturale pentru IIoT este foarte importantă în susținerea unei implementări mai ușoare și a unei interoperabilități mai bune între entități. În aceeași

manieră, tiparele de design care ar trebui aplicate în IIoT sunt sugerate de lucrarea [155].

Pe de altă parte, în prezent se pot repera multe organizații și inițiative de standardizare, care pot fi împărțite în 2 categorii distincte. Astfel, prima categorie este cea a organizațiilor de dezvoltare a standardizării (Standardization Development Organizations - SDO), care cuprinde World Wide Web Consortium (W3C), International Electrotechnical Commission (IEC), International Organization for Standardization (ISO), International Telecommunication Union (ITU), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) și altele. Referindu-ne la cea de-a doua categorie, aceasta constă în parteneriate, cum ar fi comitetul tehnic comun IEC, sau ISO. Mai mult, alături de aceste organizații internaționale își derulează, de asemenea, activitatea și comitete naționale sau regionale (cum ar fi European Telecommunication Standards Institute - ETSI, sau German Institute for Standardization - DIN) și inițiative din industrie (Industrial Internet Consortium - IIC, Labs Network Industrie 4.0 - LNI 4.0, Platform Industrie 4.0, Standardization Council Industrie 4.0 - SCI 4.0, Open Connectivity Foundation - OCF, Alliance for IoT Innovation - AIOTI). Așadar, domeniul standardizării pentru IIoT prezintă un caracter eterogen, cu multe organizații și abordări. În acest sens, în studiul [156] se estimează că figurează peste 100 de organizații de standardizare care contribuie la standardizarea IIoT. În ciuda acestui efort semnificativ, studiul apreciază că este destul de dificil de identificat cele mai relevante standarde dintre numeroasele formulate deoarece obiectivele pe care se concentrează atenția se schimbă constant în domeniul industrial.

Totuși, cele mai importante subiecte pentru standardizare includ, în prezent, protocoale pentru tehnologie de comunicare, platforme de comunicare, colectarea și transformarea datelor, stocarea datelor, modelarea datelor și interoperabilitate semantică între diferite componente.

Cu toate acestea, conform cercetării [152], contemporanele Standardization Development Organizations (SDO) nu pot ține pasul cu evoluția rapidă a tehnologiilor, în contextul tranziției de la arhitectura clasică a întreprinderii industriale la noua arhitectură distribuită și orientată pe servicii, cu entități de producție inteligente. În consecință, standardele IIoT existente se dovedesc a fi insuficiente în industrie.

În ceea ce privește viitoarele direcții de acțiune, în [157] se identifică 7 obiective de standardizare: middleware, interfețele cu utilizatorul, aplicații inteligente, obiecte inteligente, strategii Industry 4.0, comunicații, semantică. De asemenea, lucrarea analizează în detaliu cele 7 lacune de standardizare identificate și oferă un set de recomandări, înainte de a concluziona faptul că încă își face simțită prezența o nevoie puternică de a dezvolta atât documentație tehnică, dar și noi standarde, cu scopul susținerii adopției de noi principii digitale în industria fabricației.

Având în vedere ideile prezentate, subsecțiunea de față se încheie în urma sintetizării preocupărilor definitorii plasate în jurul sectorului de standardizare a Industry 4.0, și anume: eterogenitatea domeniului standardizării, lacune în standardizare, incapacitatea de a ține pasul cu progresul alert al tehnologiilor, dificultatea găsirii celor mai potrivite standarde, multitudinea organizațiilor de standardizare participante.

2.5. Industry 4.0 în industria apei

Chiar dacă subsecțiunile premergătoare ale capitolului curent s-au axat pe analiza amănunțită a tehnologiilor de ultimă oră din Industry 4.0 și IIoT, adoptându-se o manieră nerestricționată la o anumită industrie, prin prisma aplicabilității practice

care derivă din cercetarea doctorală întreprinsă se impune în această subsecțiune prezentarea studiilor desfășurate în accepțiunea Industry 4.0 care sunt orientate în mod specific spre industria apei.

Astfel, deși necesitatea interoperabilității, a tehnologiilor IIoT și analizei datelor este menționată în cercetările direcționate spre industria apei [158] și [159], distanța până la implementarea completă, la nivel industrial, a respectivelor aspirații rămâne, totuși, considerabilă. În orice caz, nevoia integrabilității și a interoperabilității structurilor locale se păstrează actuală, fiind accentuată atât în [160], cât și în [161] sau în [162].

Mai presus de orice, bucurându-se de o importanță aparte, tratarea și distribuția apei potabile reprezintă procese critice cu mulți parametri implicați, unde îmbunătățiri în funcționare sunt indispensabile. Dat fiind studiul activ al procesului de tratare, în [163] se demonstrează că acest proces, în sine, a determinat impactul pe care schimbările climatice l-au avut asupra sistemelor de apă potabilă. Mai specific, indicatorii calității apei sunt, de asemenea, de mare importanță, diverse metode fiind evaluate pentru a implementa creșterea valorilor acestor indicatori. Bineînțeles, eficiența întregului proces se bazează, printre altele, și pe aspecte legate de costuri, această problemă a costurilor transformându-se într-unul dintre subiectele analizate intens și legate de anumiți parametri, cum ar fi consumul de substanțe, de energie sau mentenanță. În timp ce în lucrarea [164] se dovedește eficiența folosirii de substanțe asupra indicatorilor de calitate ai apei, unele studii, precum [165], certifică o soluție de tip fuzzy pentru a determina calitatea apei, lansând în acest mod posibilitatea adoptării metodei de către companiile de distribuție a apei. În aceeași ordine de idei, problema costurilor este studiată în [166], dar fără un interes specific asupra surselor de apă și a procesului de tratament. Altfel, unele studii s-au concentrat pe problema costurilor considerând tehnici de automatizare, un exemplu elocvent distingându-se prin dovada reducerii costurilor oferită în cercetarea [167], unde au fost întrebuițate pompe cu convertoare de frecvență. Mai mult, această abordare a avut impact asupra surselor de apă și a stabilit că soluția optimă pentru acestea o reprezintă echiparea lor cu pompe dotate cu convertoare de frecvență. Prin urmare, se obține controlul debitului de apă local și se nivelează algoritmi de control în buclă închisă referențiați. Deși costul a fost prezentat din diverse perspective, inclusiv al impactului parametrilor, consumului de energie al echipamentului, defecțiunilor echipamentului, costurilor de mentenanță sau a tehnicilor de optimizare în rețeaua de distribuție a apei în studiul foarte complex legat de percepția costului în industria apei [168], acesta s-a focalizat pe rețeaua de distribuție și nu s-a îngrijit de procesul de tratare a apei. În același context, în [169] s-a prezentat o strategie de optimizare a funcționării rezervoarelor, cu scopul de a minimiza pierderile economice cauzate de poluare, iar în [170] au fost detaliate cerințele energetice și amprenta de carbon pentru apa din piscinele turistice aprovizionată din instalații de desalinizare. Chiar dacă studiul propune un algoritm capabil să identifice funcția caracteristică definitorie atât pentru consumul de apă, cât și de energie, utilizând analiza datelor stocate, lucrarea nu evidențiază nici o procedură sau pas de optimizare. O altă problemă importantă se distinge în cercetarea [171], cu privire la influența apei brute asupra procesului de tratament. La fel, studiul din [172] arată o degradare a calității apei pentru sursele de apă potabilă, în urma unui studiu cuprinzător, desfășurat pe termen lung, implicând 441 de sisteme de alimentare cu apă și luând în calcul date adunate pe parcursul a 18 ani. Deznodământul acestui studiu amplifică necesitatea determinării calității apei la fiecare sursă de apă, ținând cont că, în practică, nu există senzori de calitate pe sursele de apă și toate informațiile trebuie să fie deduse apelând la proceduri complexe de monitorizare, analiză și învățare. În acest sens, importanța

strângerii de date, analizei și învățării este recunoscută în mai multe studii. Consecvent, în [173] nivelurile de turbiditate a surselor de apă au fost prezise cu ajutorul tehnicilor de Data Mining, un sistem de avertizare timpurie fiind, de asemenea, implementat, pe când în [174] o detecția a creșterilor rapide de presiune și cedare a țevilor (burst detection) în zonele de măsurare ale distribuției apei a fost elaborată contând pe tipare funcționale ale cererii de apă, cu învățare supravegheată. Similar, același tip de cercetare a fost abordată în [175], unde, bazându-se pe SCADA, cedarea sau scurgerile țevilor au fost detectate într-o rețea pe distanțe lungi. Desigur, datele fiind extrem de importante în cercetarea cantitativă, în [176] se dezvăluie o soluție pentru a imputa datele lipsă în sistemele de distribuție a apei. Dintr-un alt unghi, studiul [177] se folosește de instrumente software pentru a executa o comparație între două stații, observându-se diferențe majore, pricinuite atât de elementele chimice utilizate, cât și de sursa de energie folosită.

Așa cum reiese din ideile precedente, pe fondul adaptării la Industry 4.0 a cât mai multe instalații de apă potabilă, încep să fie evidențiate unele probleme specifice, cum ar fi consumul ridicat de energie, mentenanța, schimbări ale calității surselor de apă [178], defecțiuni ale pompelor de apă [179] sau consum ridicat de substanțe, în speță probleme de cost al clorului [180].

Urmărindu-se îmbunătățirea sistemelor funcționale, studiul din [181] propune o metodologie atât pentru control, cât și pentru optimizarea pierderilor de apă din sistemul de alimentare cu apă, folosind monitorizare în timp real și sisteme SCADA industriale. În aceeași direcție, în [182] se examinează resursele de apă subterană exploatate pentru irigații și se identifică un model de distribuție optimă, neliniară, pe mai mulți ani, pentru apa subterană, care este capitalizat pentru obținerea unei utilizări sustenabile a apei subterane în irigații. Pe de altă parte, tiparul cererii de apă este analizat în termeni de impact asupra procesului de calibrare, în [183]. În plus, cercetarea [184] abordează subiectul optimizării tratării apei în privința nivelurilor turbidității apei, utilizând un coagulant natural, în timp ce monitorizarea calității apei este analizată în [185] atât din perspectiva colectării datelor, cât și din punctul de vedere al analizării acestora.

Investigând o viziune distinctă, în contextul gestionării resurselor de apă, diverse probleme sunt luate în considerare și analizate. De exemplu, pe filiera modelării hidraulice, cercetarea [186] studiază multiple regimuri hidraulice, folosind diferite seturi de date asociate evenimentelor de inundații și debit redus. În continuare, studiul din [187] face o trecere în revistă a evoluției și problemelor istorice ale surselor de apă și distribuției acestora, iar în [188] se investighează efectul de infiltrare în digurile fluviale, care poate afecta calitatea și disponibilitatea suprafeței surselor de apă.

Cu privire la tratarea apelor uzate, în [189] se prezintă un studiu numeric în care se creează noi căi pentru apă prin introducerea unor structuri de tip perete, asigurând astfel faptul că fluxurile de apă cu viteză scăzută, care facilitează apariția unui proces de sedimentare deranjant pentru procesul normal de tratare a apei, nu se pot forma. Amplasându-se în aceeași tematică a apelor reziduale, cercetarea [190] prezintă scheme de control predictiv și abordează problemele de îmbunătățire a stabilității și eficienței procesului de tratare. Totodată, utilizând interoperabilitatea, o abordare neinvazivă asupra structurilor funcționale existente și acumularea de date, studiul din [191] înfățișează o soluție pentru reducerea consumului de energie în stațiile de tratare a apei uzate. Adicional, același consum de energie revendicat de apele uzate constituie justificarea explorărilor din [192] și [193]. În ceea ce privește procesul de tratare în sine, se remarcă diverse încercări de perfecționare, direcționate de la bioreactoare în [194], continuând cu algoritmi adaptivi bazați pe rețele

neuronale pentru controlul nivelului de oxigen din bazinele de aerare în [195], și până la tratarea unei ape mixte, de proveniență domestică și farmaceutică, în [196]. O altă tematică importantă referitoare la managementul apelor uzate alcătuiește punctul central în jurul căruia studiul [197] realizează o recenzie a literaturii științifice asociate, concluzionând că se confruntă cu un câmp de cunoștințe aflat încă în stadiu incipient, însă care a stârnit un mare interes în anii recenti.

Urmărind un alt punct de vedere, lucrarea [198] precizează importanța integrării datelor meteorologice în domeniul apei. În mod concret, încercând reducerea incertitudinii și a erorilor din prognozele meteorologice, studiul [199] evidențiază o nouă strategie de control predictiv, automat, a sistemelor de irigații, prin integrarea unor tehnici de învățare și de analiză a seturilor de date istorice, obținând prin aceste procedee o reducere cu 40% a consumului total de apă. Cu siguranță, impactul condițiilor meteorologice asupra stațiilor de epurare rezultă și din cercetarea [200], unde se analizează 3 tipuri de vreme (uscat/secetă, furtună și ploaie) pe parcursul procesului de dezvoltare a unui cadru general pentru tehnici de modelare și monitorizare, vizând îmbunătățirea funcționării stațiilor de epurare. Din păcate, impactul condițiilor meteorologice se face simțit în mod negativ inclusiv asupra prognozelor în timp real privind alimentarea cu apă, motiv pentru care lucrarea [201] își asumă dezvoltarea unei rețele neuronale artificiale generice, în încercarea de a limita perturbarea acestor prognoze de către alți factori.

Îndreptându-ne atenția spre aplicațiile historian din industria apei, mai puțin de 5% din camerele de control SCADA întâlnite beneficiază de un historian separat, estimarea bazându-se pe vasta experiență în industria apei a echipei de cercetare din care face parte autorul tezei. De asemenea, aplicațiile de pe piață oferă numai posibilități manuale de manipulare a datelor (de tipul documentelor Microsoft Excel) și sunt în mare parte inutilizabile de către operatori din cauza problemelor de înțelegere a procesului și a aplicației, în același timp nefiind conștiente de caracteristicile procesului interfațat, prin urmare nu pot avea nici un obiectiv legat de proces [202][203]. Până în prezent, aceste aplicații au fost concentrate pe conectivitate, posibilități de manipulare a datelor și, câteodată, pe soluții cu costuri reduse, urmărindu-se în acest fel câștigarea unei aplicabilități mai mari sau integrarea de multiple servere SCADA (de exemplu: Siemens-WinCC, Schneider Electric - Vijeo Citect, IGSS, Wonderware, InduSoft Web Studio, Inductive Automation - Ignition). În acest context, industria oferă doar soluții de historian clasic, provenite de la producători software de automatizare sau SCADA, care sunt, de obicei, foarte scumpe pentru anumite obiective, ajungând, din această pricină, să fie plasate doar la cel mai înalt nivel de supraveghere. Având în vedere o mai bună operare, industria apei s-ar putea folosi de o altă perspectivă de historian, cercetarea [204] susținând în mod corect ideea de necesitate a unui historian descentralizat pentru industria apei și propunând abordări standardizate, asociate diferitelor tipuri de obiective din domeniul apei.

În altă ordine de idei, industria apei necesită îmbunătățiri în funcționarea sistemelor care nu pot fi îndeplinite prin intermediul majorității tehnicilor de analiză manuală a datelor disponibile în contextul soluțiilor de strângere de date desfășurate în prezent, din cauza mai multor aspecte, detaliate, pe scurt, în continuare:

- există o răspândire geografică întinsă a sistemelor în industrie
- aplicațiile historian sunt plasate doar la cel mai înalt nivel de supraveghere din cauza costurilor ridicate pe care o soluție historian clasic le implică
- datele colectate sunt filtrate în concordanță cu nivelul ierarhic de integrare verticală și nivelul de înțelegere a procesului local (o operațiune de procesare

a datelor mai aproape de sistemele tehnice ar permite reducerea costurilor și îmbunătățirea eficienței)

- se întâlnește o lipsă a capacităților de identificare a tiparelor semnificative care să fie adaptabile la procesele puternic eterogene din industria apei
- se întâmpină o lipsă de cunoaștere a procesului urmărit la nivel de historian
- persistă o lipsă de soluții proactive, care să identifice o rețetă aplicabilă și să reacționeze asupra proceselor locale, sub forma acțiunilor corective.

Astfel, consecința rezultată în urma problemelor anterior relatate este ne fezabilitatea practică, din cauza efortului extraordinar, folosind soluțiile disponibile, de a determina tipare de către operatorul aplicației historian, în acest context Big Data. În realitate, această situație duce la pierderea oportunităților care apar sub fenomenul de acumulare a datelor, în privința utilizării datelor colectate de către algoritmi software, care pot rula autonom și optimiza sistemele tehnice pe baza acestor date, oportunități evidențiate în [205] și [206]. În acest sens, simpla colectare a unei cantități mari de date, fără a o analiza, nu poate genera valoare adăugată, raționament la care se ajunge în [207]. Deși o perspectivă detaliată, completă, nu este încă disponibilă, în studii precum [208], [209] sau [210] încep să apară idei referitoare la beneficiile pe care le poate oferi analiza datelor, cercetarea [211] abordând analiza datelor în contextul datelor referitoare la evenimente și alarme în IIoT, pentru a obține informații valoroase despre procese. Cu toate acestea, o soluție de historian proactiv care integrează, pe lângă altele, tehnici de analiză a datelor, complet funcțională în lumea reală, testată și validată, funcționând în zona de Fog Computing, aplicând în mod eficient și fiind construită după ideile Industry 4.0, nu a putut fi identificată până în prezent, nici în literatură și nici în industrie. Dar viitorul este rezervat pentru conceperea unei asemenea soluții care să fie capabilă, pe lângă adunarea datelor, să identifice dependențe și tipare pentru procese particulare și să elaboreze strategii pentru creșterea performanței, cu scopul de a pune la dispoziție răspunsuri prin acțiuni corective asupra sistemelor funcționale monitorizate.

Într-o direcție de cercetare similară cu cea prezentată mai sus, lucrarea [212] țintește spre un historian proactiv prin implementarea unei strategii de control predictive a unei rețele de distribuție a apei care este bazată pe date adunate de historian.

În ciuda faptului că pot fi remarcate tentative de perfecționare a aplicațiilor historian specifice domeniului electricității, cum ar fi [213], unde activitatea se restrânge asupra protocolului International Electrotechnical Commission 61850 și se propune o structură puțin îmbunătățită de historian, manipulând cantități mari de date, sau [214], unde același standard 61850 este integrat cu OPC UA pentru a asigura o creștere a interoperabilității în rețele inteligente, aceste dezvoltări nu sunt potrivite pentru industria apei din cauza atât a protocolului folosit, cât și a problemei menționate în prealabil, a historianului așezat la nivel înalt.

Căutând perspectiva aplicațiilor historian care dețin potențial de aplicabilitate cel puțin parțială în industria apei, merită menționate două aplicații care stochează cantitățile mari de date generate în mediile industriale dominate de principiile IIoT, anume [215] și [216], soluția din [217] fiind bazată pe platforma Raspberry Pi. Mai mult, îmbunătățiri legate de eficiență pentru o aplicație historian clasică sunt propuse în [218], în timp ce o infrastructură distribuită și configurabilă pentru analiza datelor este prezentată în [219]. Pe aceeași linie, un alt sistem de monitorizare distribuit și wireless, însă destinat rețelelor electrice este dezvăluit în [220], cercetarea [221] propunând un cadru (framework) de historian distribuit, care permite configurarea aplicației utilizând un model organizațional al unui sistem ierarhic.

Într-o notă puțin diferită, studiul din [222] prezintă o metodă eficientă de arhivare a datelor, concepută special pentru stocarea datelor istorice provenite de la senzori.

Cu toate că industria apei desemnează o paletă largă și variată de operațiuni și sisteme tehnice ale căror element central este apa, în restul acestei teze sunt de interes doar două tipuri de asemenea sisteme, dezvoltările ulterioare din această lucrare relaționând în mod direct cu stații de tratare a apei potabile (STAP) și stații de epurare (SE).

Data fiind această împrejurare, o imagine generală, la nivel macro, asupra acțiunilor întreprinse într-o STAP este surprinsă în Figura 2.4, unde se constată faptul că o astfel de stație dispune de mai multe surse de apă. După aceea, apa este filtrată și are loc injectarea clorului în multiple puncte din stație, înainte ca apa tratată să fie depozitată, pentru a fi, în cele din urmă, distribuită spre consumatorii finali. Desigur, filtrarea apei în STAP produce nămol. Așa cum a fost deja amintit, câteva dintre problemele tipice într-o STAP sunt: consumul ridicat de energie și substanțe, schimbări ale calității surselor de apă în timp, defecțiuni mecanice și mentenanță.

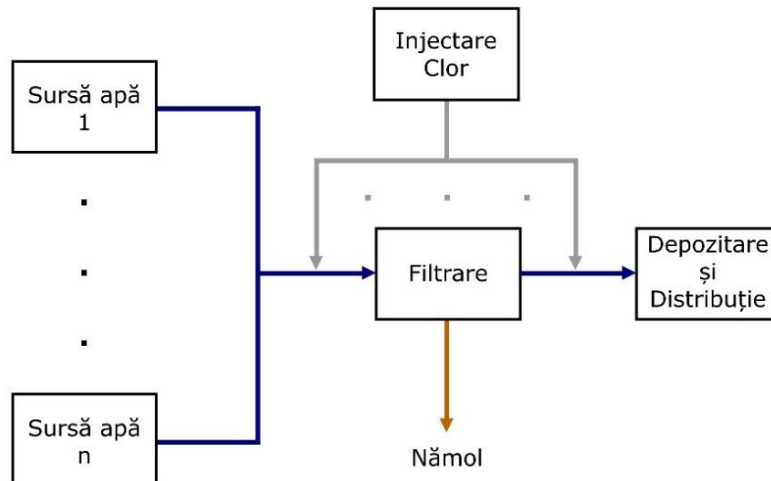


Figura 2.4. Perspectivă generală asupra proceselor din STAP

De altfel, o schiță, tot la nivel înalt, a prelucrărilor dintr-o SE uzuală este reprezentată în Figura 2.5, în care se arată că apa uzată trece printr-o filtrare mecanică, o sedimentare, un tratament biologic și apoi un tratament chimic pentru a putea fi eliberată în mediul natural. Fără îndoială, toate aceste etape dau naștere unor reziduuri, sub diverse forme. La fel ca în cazul STAP, și în SE există unele probleme caracteristice, cum ar fi: consum ridicat de energie și substanțe, avarii ale echipamentului, suprasolicitarea unor SE subdimensionate.

În mod cert, un plus de amănunte în legătură cu procesele din SE și STAP se regăsesc pe parcursul acestei teze, în porțiunile în care aceste detalii posedă o însemnătate sporită pentru cercetarea de rigoare.

În eventualitatea în care persistă încă dubii referitoare la impactul sau utilitatea tehnologiilor Industry 4.0 pentru domeniul industriei apei, o dovadă a importanței conectării entităților fizice cu cele digitale în contextul Industry 4.0 o reprezintă și preocuparea Comisiei Europene, care a lansat, în anul 2018, proiectul de

cercetare SC5-11-2018 Horizon 2020, intitulat "Digital solutions for water: linking the physical and digital world for water solutions", având ca scop facilitarea și accelerarea cercetărilor și dezvoltării în această direcție.

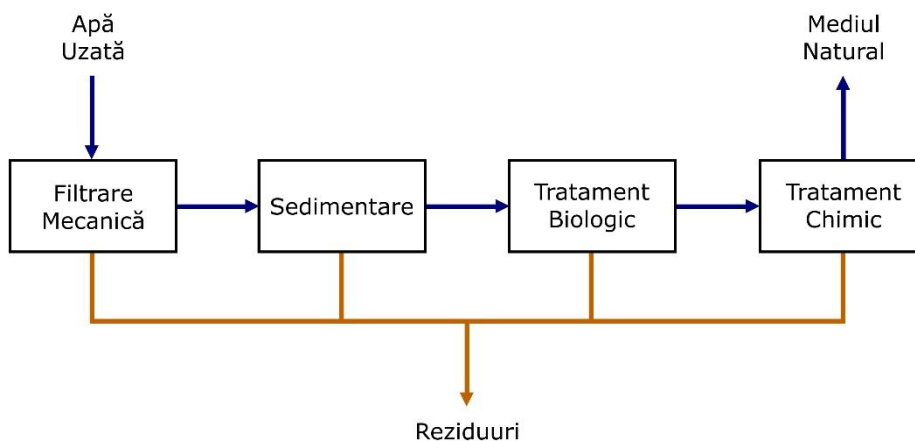


Figura 2.5. Perspectivă generală asupra proceselor din SE

În încheiere, studiul în domeniul apei considerând tehnologiile de vârf dezvoltate sub paradigma Industry 4.0 în această branșă, care este înfățișat în subsecțiunea curentă, se cuvenea a avea alocat acest spațiu în manuscris, grație direcționării efectelor practice ale cercetării doctorale în cauză spre această industrie. Mai specific, s-a avut în vedere acoperirea zonelor de maxim interes pentru dezvoltările aduse de această teză, și anume tratarea și distribuția apei potabile, tratarea apei uzate și aplicațiile de tip historian.

2.6. Concluzii

Orientându-ne spre finalizarea portretizării stadiului actual al cercetării în domeniul tezei de doctorat, se poate aprecia că secțiunea secundă a lucrării a prezentat principalele noțiuni și caracteristici implicate atât în conceptul de Industry 4.0, cât și în conceptul de Industrial Internet of Things, evidențiind în aceeași măsură similitudinile dintre cele două concepte. Pe lângă acestea, fără a omite industria apei, transformată în destinația fructificării aspectelor practice ale prezentei cercetări doctorale, a fost îndeplinită îndatorirea de a releva, de asemenea, eforturile de actualitate polarizate pe implementarea noțiunilor celor două ideologii precizate anterior în această industrie.

În conformitate cu cele prezentate în subsecțiunile precedente, ambele paradigme reprezintă, în prezent, domenii foarte active de cercetare și dezvoltare, în același timp reușind să atragă o atenție semnificativă și din partea industriei. Astfel, interesul crescut spre aceste concepte este generat de potențialul major de îmbunătățire în industriile de fabricație și automatizare, care promite să impacteze în mod pozitiv viețile multor oameni.

În speranța de a putea oferi o privire de ansamblu cât mai utilă asupra direcțiilor de dezvoltare Industry 4.0 în contextul IIoT, această secțiune secundă a tezei a identificat cinci căi principale de cercetare și dezvoltare în această zonă. Mai

departe, pentru fiecare dintre traseele de dezvoltare identificate a fost prezentată o scurtă recenzie a literaturii de specialitate, conținând ultimele noutăți în domeniu, alături de diferite provocări și obstacole care ridică îngrijorări în prezent. În final, o scurtă sinteză a direcțiilor de interes din fiecare domeniu de dezvoltare identificat în această secțiune este prezentată în Tabelul 2.1, plasat în epilogul capitolului, cu scopul de a facilita orientarea cititorilor interesați de subiectele respective. De asemenea, o reprezentare grafică a direcțiilor clasificate sub Tabelul 2.1 este ilustrată în Figura 2.6, care îl succede.

Pe de altă parte, bazându-ne pe analiza stadiului actual în domeniu, se poate intui faptul că posibilitățile de dezvoltare viitoare sunt multiple. De exemplu, limitându-ne doar la obținerea interoperabilității generale, domeniul de rețelistică și OPC UA furnizează un potențial ridicat de cercetare deoarece atât sistemele vechi, moștenite din automatizarea tradițională, cât și structurile nou proiectate au nevoie de compatibilitate și integrabilitate pentru a conecta lumea fizică de cea digitală. De asemenea, atât interoperarea pe orizontală, cât și cea pe verticală între dispozitive, sisteme și domenii este investigată din ce în ce mai mult. Concomitent, OPC UA își continuă expansiunea spre TSN și industria automotive (comunicații automobil-automobil, infrastructură, protocoale de împachetare cum ar fi SOME/IP). Adicional, conexiunile de tip tehnologia informației și a comunicării (TIC) și automation/SCADA necesită, în continuare, sprijin din partea cercetării pentru a depăși noi provocări, în special legate de securitate. Chiar dacă securitatea este esențială și este cercetată în întreaga industrie de automatizare, aceasta reprezintă, în continuare, unul dintre cele mai provocatoare domenii. Îmbunătățiri în securitate sunt investigate, de asemenea, în zona OPC UA Security, dar și în securitatea Plug & Produce, cât și în integrarea conceptelor Big Data și inteligență artificială în automatizarea industrială. La rândul lor, Big Data și Cloud Computing vor fi din ce în ce mai prezente în lumea industrială, începând de la răspunsuri inteligente, bazate pe tipare la scară mai mică, pentru îmbunătățirea comportamentului sistemelor locale, până la analiza datelor la nivel superior pentru recunoașterea tiparelor, analiza sistemelor, economii de energie, detectarea intruziunilor, și altele. Deja se poate observa, în industrie, că marile companii (de exemplu: Siemens, General Electric) cercetează și se mobilizează puternic în acest sens. Din nou, viitoare dezvoltări ar putea veni în modelul informațional OPC UA (OPC UA Information Model), astfel încât acesta să nu mai fie inferior capabilităților diagramelor de clasă UML, sau spre implementarea conceptului de Fog Computing și împărtășirea beneficiilor acestuia în industrie, alături de alte posibilități de dezvoltare noi și interesante.

În concluzie, secțiunea secundă a tezei a adus o perspectivă detaliată peste un domeniu de cercetare foarte dinamic, care va continua să atragă atenție în următorii ani atât din partea zonei academice, cât și din partea industriei. Dincolo de aceasta, stadiul actual prezentat pentru fiecare direcție de dezvoltare principală din domeniu reprezintă un punct solid de plecare pentru viitoare cercetări și dezvoltări în acele zone. Deopotrivă, valorificarea acestei catalogări poate fi profilată și prin intermediul reducerii intervalului de timp consumat pentru examinarea literaturii de specialitate asociate tematicii cu pricina, în vederea formării unei idei relative la vârful de tehnologie din prezent. Alături de prefigurarea conținutului secțiunii curente a tezei de doctorat, analiza asupra stadiului actual al cercetării în acest domeniu s-a materializat și prin publicarea articolului [223] într-un jurnal autohton de specialitate, validându-se, în acest mod, atât metodele de căutare, selectare și investigare, cât și viziunea conturată pe parcurs, care a fost expusă în capitolul secund al documentului de față.

Tabelul 2.1. Sinteză a direcțiilor de interes per fiecare domeniu de dezvoltare identificat

Domeniul	Direcții de interes
Rețelistică și OPC UA	conectivitate omniprezentă [73], configurare de management automată [73], serviciu nou de traducere [80], integrarea OPC UA cu principiile RESTful [83], similarități între OPC UA și AML [86], încapsulare cu diferite capabilități de interfațare cu sistemele locale [87][88][89], integrarea TSN în OPC UA [90], aplicabilitatea modelului Publisher-Subscriber în OPC UA [91], nou model pentru OPC UA [94], standardizarea funcțiilor oferite de un sistem [95], ineficiența OPC UA Security [96], detectarea intruziunilor în rețelele industriale [97][98], evaluarea conceptului SDN [99], obținerea unei comunicații securizate și TSN [100][104], latență, scalabilitate și interoperabilitate [101], comunicare deterministă cu latență scăzută, integrarea dispozitivelor în timp real cu cele care nu operează în timp real [103], cadru (framework) pentru dispozitivele în timp real [105]
Plug & Produce	sisteme de producție și fabricație mai adaptabile și flexibile [109], serviciul de descoperire oferit de OPC UA [112][113], asigurarea autenticității și securității în timpul proceselor de descoperire și autoconfigurare [118], mecanism pentru descoperirea dispozitivelor [119], cadru (framework) pentru susținerea deciziilor [120]
Modele de informații și date	accesibilitate de oriunde la funcționalitățile dispozitivelor [122], introducerea aplicațiilor bazate pe inteligență artificială în industria fabricației [123], reducerea costurilor, creșterea productivității și a eficienței [123], unelte de inspecție cu autocalibrare [124], nou concept referitor la un nivel de agregare a datelor energetice [126], model generic pentru configurarea dispozitivelor de control [128], modelarea variabilității sistemelor de producție automatizate [94][129][130][132][133], transformarea diagramelor de clasă UML în modele de informații OPC UA [134]
Big Data și Cloud Computing	trei provocări principale ale sistemelor Big Data [135][136], necesitatea tehnologiilor Big Data [137][138], tehnici Big Data foarte performante [141], soluții bazate pe Cloud [18], cerințe pe care o platformă Cloud trebuie să le îndeplinească [135], studiul platformelor Cloud deja existente [135], migrarea spre Cloud a sistemelor industriale existente [151], Fog Computing [142][143][144][145][146][147], Edge Computing [150]
Standardizare	schimbul și înțelegerea a diverse date [152], sisteme de producție care îmbină lumea cibernetică și cea fizică [153], dezvoltarea de standarde arhitecturale [154], două categorii distincte de inițiative și organizații de standardizare, domeniu al standardizării eterogen, dificil de identificat cele mai relevante standarde [156], standardizarea nu poate ține pasul cu evoluția rapidă a tehnologiilor [152], șapte obiective de standardizare pe care se concentrează atenția [157], șapte lacune de standardizare [157]



Figura 2.6. Reprezentare grafică a direcțiilor de dezvoltare identificate

3. APLICAȚIE HISTORIAN ELEMENTARĂ PENTRU INDUSTRIA APEI

3.1. Perspectivă practică asupra aplicațiilor historian în industria apei

Întrucât cel de-al treilea capitol al prezentei teze doctorale aduce în prim-plan cercetarea, implementarea, dezvoltarea și testarea unei aplicații software de tip historian destinată industriei apei, se consideră oportună evidențierea, în avans, a unei perspective practice orientate spre acest tip de aplicații, specifică industriei în cauză. În același timp, se are în vedere încadrarea în această subsecțiune și a definiției problemelor practice punctuale întâlnite curent în industrie care se doresc a fi rezolvate prin intermediul aplicației rezultate la finalul acestui prim ciclu de cercetare și dezvoltare.

În acest fel, se poate remarca încă de la început faptul că, în general, software-ul SCADA implementat în industria apei provine de la companii producătoare cunoscute, care oferă un anumit nivel de înregistrare și arhivare a datelor. Cu toate acestea, de obicei, manipularea datelor înregistrate sau arhivate este strict dependentă de aplicația SCADA implementată, baza de date, în sine, fiind vizualizată de către operator doar la nivel conceptual. Pe lângă acestea, chiar și structura aplicației historian depinde îndeaproape de aceleași companii producătoare de software SCADA. În mod concret, printre alte deficiențe, câteodată chiar și o operație de bază, cum ar fi exportarea datelor, este condiționată fie de formatul fișierului, fie de anumite etichete (tags) sau de posibilitățile limitate de combinare a datelor. În plus, există unele companii producătoare care impun achiziționarea mai multor extensii ale licenței de bază SCADA doar pentru a crea conexiuni la baza de date și a crește gradele de libertate în manipularea datelor stocate. Urmărind aceleași practici, aceste companii comercializează, în mare parte, software de tip historian ca un produs separat, disponibil uzual contra unui preț semnificativ.

În altă ordine de idei, cea mai mare cantitate de date referitoare la instalația integrată (de exemplu: stații de tratare a apei potabile, stații de epurare, facilități de distribuție a apei cu stații de clorinare) este disponibilă la nivelul camerelor de control SCADA locale. Odată cu creșterea cerințelor de interoperabilitate ale instalațiilor mai mici, plasate în amonte (de exemplu: stații de pompare a apei, puțuri de apă, rezervoare, stații de clorinare, puncte de măsurare a calității apei), care sunt deja sau vor fi, în viitor, integrate în centrul SCADA, ar fi oferit mediul propice pentru analiza datelor, în interiorul unor aplicații historian locale. În această eventualitate, aplicațiile locale de tip historian ar trebui să fie adaptate la nevoile și capabilitățile locale actuale ale companiei de distribuție a apei, asigurând, concomitent, interoperabilitate și luând în considerare un echilibru de tip cost-beneficiu adecvat.

În ciuda posibilității teoretice accentuate anterior, de a analiza datele la nivel local, în realitate o proporție foarte mică a camerelor de control SCADA locale beneficiază de o aplicație historian separată, marea majoritate a acestui tip de soluție software fiind asociat instalațiilor mari de tratare a apei. Bineînțeles, toate aplicațiile historian întâlnite în practică reprezintă produse scumpe, dependente de platformă și sunt conectate la servere SCADA în interiorul rețelei LAN, câteva exemple elocvente

fiind: Process Historian sau vechiul Central Archive Server - Siemens, Vijeo Historian - Schneider Electric, FactoryTalk Historian - Rockwell.

Luând în calcul, de asemenea, un nou set de considerente de ordin practic derivate din mai mulți ani de experiență, bazați pe conexiunea cu industria apei a echipei de cercetare care include autorul tezei, se relevă faptul că aplicațiile de tip historian sunt folosite rar de către operatori, fiind veridice situații în care anumiți operatori cu competențe reduse (mai ales dintre cei prezenți la fața locului) nu sunt capabili să înțeleagă complexitatea aplicațiilor, respectiv interfața acestora cu utilizatorul, prin urmare, nu folosesc aplicația historian. Oricum, situația persistă și în rândul specialiștilor care posedă competențele adecvate, aceștia utilizând, la rândul lor, destul de rar aplicația historian separată, iar atunci când o accesează, o fac mai ales în scopurile exportării datelor stocate în formatele potrivite sau pentru arhivarea datelor, în special atunci când sistemul SCADA implementat nu permite asemenea operațiuni. Un alt aspect similar îl constituie numeroasele situații în care, în urma unui timp de nefuncționare a sistemului SCADA, aplicația historian implementată nu mai funcționează pentru o perioadă considerabilă, în special datorită lipsei de interes a operatorilor pentru aceasta, până când compania de mentenanță intervine.

Desigur, panourile de automatizare alcătuiesc, în mod uzual, cel mai înalt nivel local de monitorizare și control în cazul stațiilor de pompare a apei uzate, puțurilor de apă, stațiilor de pompare a apei potabile, punctelor de măsurare a calității apei, stațiilor de clorinare, facilităților de distribuție a apei și micilor stații de tratare a apei potabile. Deși nu se poate ignora admiterea fenomenului de înregistrare a unor date pentru perioade scurte de timp în echipamentele de tip HMI locale, în mod cert, nu se poate discuta despre existența unor aplicații historian la acest nivel. De fapt, necesitatea unei astfel de componente software, cu costuri și cerințe reduse, adaptată pentru integrare rapidă cu panoul de automatizare, respectiv ușor de utilizat de către operatorii locali beneficiari de competențe IT scăzute, dar care înțeleg procesul local, este pronunțată.

Îndreptându-ne, în continuare, atenția spre centrele de control SCADA regionale sau centrale, în toate cazurile particulare întâlnite, specifice industriei apei, se constată prezența de servere historian separate. Astfel, la acest nivel înalt, aplicația de tip historian a fost întotdeauna conectată la serverele SCADA din interiorul centrelor de control, respectivele servere SCADA comunicând, în majoritatea cazurilor, mai departe, cu servere SCADA locale. În scenariile de acest fel, operatorii folosesc aplicația historian pentru arhivare, exportare și analiză de date în mod offline. Însă, mai presus de această stare de fapt, se pot identifica unele probleme aferente, în contextul aplicațiilor historian implementate doar la vârful piramidei, care ar putea fi depășite prin dezvoltarea unei soluții la nivel local:

- Datele colectate în centrul de control regional sau central al unei companii de distribuție a apei sunt, de obicei, doar cele esențiale, întrebuițate pentru scopuri de raportare la nivel superior.
- Companiile de distribuție a apei acoperă zone întinse, referindu-se în mod particular la țara noastră, o estimare uzuală plasând această zonă la nivel de județ, însă, câteodată, acoperind chiar și patru sau cinci județe. Prin urmare, procesele locale nu sunt nici monitorizate și nici cunoscute în mare detaliu la nivelul mai înalt, motiv pentru care, în general, infrastructura SCADA nu este încărcată cu date care nu sunt analizate de către operatorii de la nivelul superior. Bineînțeles, se poate identifica și excepția de la regulă, unde, izolat, soluții neoptime, în care cantități mari de date, provenite de la diverse tipuri de obiective, sunt integrate în centrul de control SCADA regional, incluzând

aici conexiuni directe cu panourile de automatizare locale (servele centralizatoare OPC sau OPC UA). Însă, rezultatele acestor tipuri de abordări arată că datele primite de la nivelurile inferioare nu sunt înțelese corect și, ca o consecință, aplicația historian a ajuns să fie folosită doar pentru stocarea datelor, respectiv pentru conceperea de scheme sinoptice cu multe alarme negestionate.

- Se desprinde necesitatea de a acorda o însemnătate sporită concluziilor, la nivelul regional sau central, după finalizarea unei analize a datelor în aplicații historian locale, în locul modelului vehiculării cantităților mari de date, în timp real, pentru o analiză incertă la nivel central. Cu siguranță, setul de concluzii ar trebui să fie procesat de aplicația historian centrală, conducând astfel la afirmații clare.
- Uneori, datele sunt pierdute din cauza erorilor de comunicare cu sistemele locale. Pentru rezolvarea acestui impediment, anumite soluții locale, cum ar fi, de exemplu, servele OPC HDA în interiorul implementărilor software SCADA locale, sunt implementate luând în considerare posibilitatea de a aduna și menține datele într-o zonă de tip buffer, transmiterea acestora fiind efectuată după restabilirea posibilității de comunicare. În caz contrar, în majoritatea cazurilor, datele sunt pierdute.

Așadar, subsecțiunea curentă pune la dispoziție o perspectivă practică referitoare la prezența, plasarea și utilizarea soluțiilor software de tip historian în industria apei, împreună cu inventarierea unui subset de neajunsuri care ar putea fi înlăturate odata cu livrarea unei componente software inovatoare, la nivel local.

3.2. Conceptul general al aplicației Historian

Mergând mai departe în capitolul terț al lucrării, prezenta subsecțiune marchează punctul în care se introduce prima contribuție personală inovatoare a autorului tezei în cadrul demersului de cercetare, și anume elaborarea conceptului general după care s-a ghidat implementarea practică a unei aplicații de tip historian, elementare, țintind industria apei. În plus, este inclusă precizarea tehnologiilor folosite, dar și a caracteristicilor care trebuie obținute în urma dezvoltării pentru a încadra rezultatele în tipologia aplicațiilor moderne, în mod evident, îndrumate de ideologiile Industry 4.0 și IIoT.

În primul rând, aplicația propusă, la care ne vom referi în continuarea prezentei teze de doctorat sub denumirea Historian, este concepută a se categorisi fie ca software independent, fie ca structură hardware-software. În mod nesurprinzător, principala funcționalitate trebuie să fie conectarea la un sistem local, cu rol în controlarea unui proces (de exemplu: servele SCADA, PLC-uri, HMI-uri, plăci de control), sau chiar la dispozitive de la nivelul câmpului industrial care dispun de interfațarea adecvată.

În mod cert, un obiectiv important îl constituie realizarea unei aplicații de tip historian cu costuri scăzute și un nivel ridicat de pregătire/maturitate tehnologică (Technological Readiness Level). De asemenea, examinând ideea aplicațiilor historian la scară mică, potrivite pentru operare la nivelul camerelor de control SCADA locale sau la nivelul panourilor de automatizare, se poate conchide că structura dezvoltată trebuie să fie independentă de platformă, implicând astfel aplicabilitate atât pentru panouri de automatizare, cât și pentru calculatoare.

În ceea ce privește suportul hardware pentru Historian, indispensabil în cazul scenariului de utilizare în care se dorește integrarea cu panourile de automatizare, în urma analizei caracteristicilor mai multor plăci de control și microcalculatoare din perspective multiple care includ, dar nu se limitează la cost, performanță, conectivitate fizică, accent pe mediul industrial și popularitatea dispozitivului, Raspberry Pi 3 a fost ales ca fiind cea mai potrivită soluție.

Pe de altă parte, în ceea ce privește platforma software, aplicația Historian urmărește principiile IIoT, context în care principalele probleme sunt legate de interfațarea OPC UA, cu posibilitatea de a o extinde cu protocoalele de automatizare vechi, moștenite, de bază, respectiv de independența de platformă și de abilitatea de a interfața alte tipuri de structuri software, de la nivel mai înalt. Având în vedere cerințele IIoT mai sus menționate, luând în considerare studiul relevant în acest caz [88], completat cu evaluarea posibilităților de a integra OPC UA Java SDK, la fel ca în [80], sau open62541 SDK, așa cum se încearcă în [224], sau chiar Prosys Java SDK, în mod similar cu abordarea din [225], în final, a fost aleasă platforma Node-Red [226] ca software de bază pentru conectarea cu sisteme externe. Desigur, motivația alegerii nu este omisă, în acest sens, mediul de dezvoltare fiind bazat pe IIoT, cerințele sale fiind reduse, punând la dispoziție implementări funcționale bazate pe crearea de scheme grafice de tip Flow și, nu în ultimul rând, având la îndemână posibilitatea pornirii în execuție a platformei folosind instrucțiuni în linie de comandă care permit rularea unui program descris într-un fișier JSON extern. Pe lângă aceste considerente, Node-Red este potrivit pentru conceptul Historian și din perspectivele costurilor, nivelului de pregătire/maturitate tehnologică, modularității, licenței de tip open-source și transferului ușor de cunoștințe spre integratorii de automatizare SCADA.

Mai departe, stabilit fiind Node-Red pe post de unealtă de interfațare, atenția se poate îndrepta spre aplicația principală, care va fi implementată în limbajul de programare Java, în principal datorită nevoii de independență față de platformă, elocvente în acest sens fiind necesitatea acoperirii atât a scenariului de utilizare a aplicației Historian pe o placă Raspberry Pi 3, sub sistem de operare Raspbian / Linux, cât și instalarea pe calculatoare, sub sisteme de operare Microsoft Windows. Din punct de vedere arhitectural, aplicația principală Java va încorpora și controla Node-Red, construind toate modulele software necesare ale aplicației Historian. De asemenea, platforma este concepută modular, pentru a facilita o dezvoltare ușoară în următoarele stadii de cercetare, care vor consta în analiza automată a datelor stocate, în conformitate cu specificitatea obiectivelor locale și transmiterea concluziilor spre structuri de nivel mai înalt, alături de implementarea unor algoritmi de ajustare pentru sistemele locale.

Cu siguranță, o altă componentă majoră care se bucură de atenție este baza de date. În acest sens, luând în considerare limbajul SQL și nevoia unei baze de date cu cerințe minimale pentru aplicația Historian la scară redusă, tipul ales este SQLite [227]. Bineînțeles, baza de date va fi manipulată în aplicația principală Java. Totuși, se remarcă faptul că, folosind câmpuri de tip timestamp în tabelele bazei de date, abordarea este apropiată de o bază de date de tip time-series, dar, în același timp, atât beneficiile suportului SQL sunt disponibile, cât și capacitatea de a considera alte tipuri de date, în afara celor de tip time-series.

Recapitulând aspectele conceptuale menționate, arhitectura generală a aplicației Historian și relația sa cu alte structuri de interfațare OPC UA sunt ilustrate în Figura 3.1, ale cărei elemente și rolul acestora au fost deja detaliate în paragrafele anterioare. Mai mult, chiar dacă se poate accentua faptul că aplicația Historian este concepută să aibă cerințe reduse, cost redus, independență de platformă, codul

implementării pus la dispoziție sub licență open-source și ușurință în manevrare de către operatori, în plus, aceasta a fost proiectată să acopere inclusiv o serie de caracteristici esențiale, care ar defini o structură historian modernă, și anume:

- Interfațare cu structurile locale prin OPC UA, urmând toate modurile și politicile de securitate, cu posibilitatea de a extinde protocoalele cu structuri vechi, moștenite, cum ar fi, de exemplu, Modbus sau S7.
- Interfațare cu clienți OPC UA de la același nivel sau de la niveluri superioare (de exemplu: servere SCADA, alte aplicații historian), de asemenea cu posibilități de a extinde protocoalele cu structuri moștenite. Totuși, dezvoltarea unui server OPC UA, aflat sub controlul aplicației Historian, se află în afara limitelor acoperite de cercetarea de față.
- Navigarea de tip browsing prin structurile locale monitorizate și definirea de variabile care vor fi introduse în Historian.
- Configurarea, manipularea și stocarea unei baze de date, cu scopul de a depozita adecvat valorile numerice ale etichetelor (tags) alese, în funcție de amprenta temporală (timestamp) dată.
- Adaptabilitatea la schimbări în setul de variabile monitorizate, respectiv în structura bazei de date, ținând cont, desigur, de considerentele temporale (timestamp).
- Interogarea bazei de date în ambele regimuri de funcționare, online și offline, în funcție de un anumit interval de timp și variabile selectate de către operator.
- Exportarea datelor din baza de date în ambele regimuri de funcționare, online și offline, în funcție de un interval de timp selectat de către operator, în formate standard (Microsoft Excel, PDF și CSV), pentru o analiză viitoare.
- Crearea unei interfețe grafice cu utilizatorul simplă și ușor de folosit de către operatori.
- Monitorizare permanentă a stării aplicației la toate nivelurile (adică aplicația principală Java, Node-Red și baza de date SQLite) și crearea unui fișier de tip jurnal de execuție (.log), pentru analiză detaliată asupra funcționării aplicației Historian, obligatoriu implementând un mecanism de ajustare automată a dimensiunii acestui fișier, rămânând, în acest fel, consecvent menținerii unei structuri cu cerințe minime.
- Asigurarea unei operări continue a aplicației Historian în conexiune cu sistemul local, chiar dacă anumite defecțiuni vor fi, inevitabil, întâlnite, exemple în acest sens fiind declanșarea de evenimente de tip timeout de la serverele locale OPC UA, socket-uri de rețea anulate, tratarea excepțiilor, manipularea eronată din partea operatorilor.
- Modularitate a aplicației, cu scopul de a asigura o platformă pentru dezvoltări viitoare ale structurilor automate de analiză a datelor și a identificării ajustărilor algoritmilor locali corespunzători, pentru tipuri specifice de obiective din industria apei.

În concluzie, se observă că, până la acest moment, s-a conturat deja schematizarea generală, la nivel teoretic, îndeajuns încât să permită declanșarea implementării practice asociate, subiect urmărit în partea continuatoare a acestui capitol.

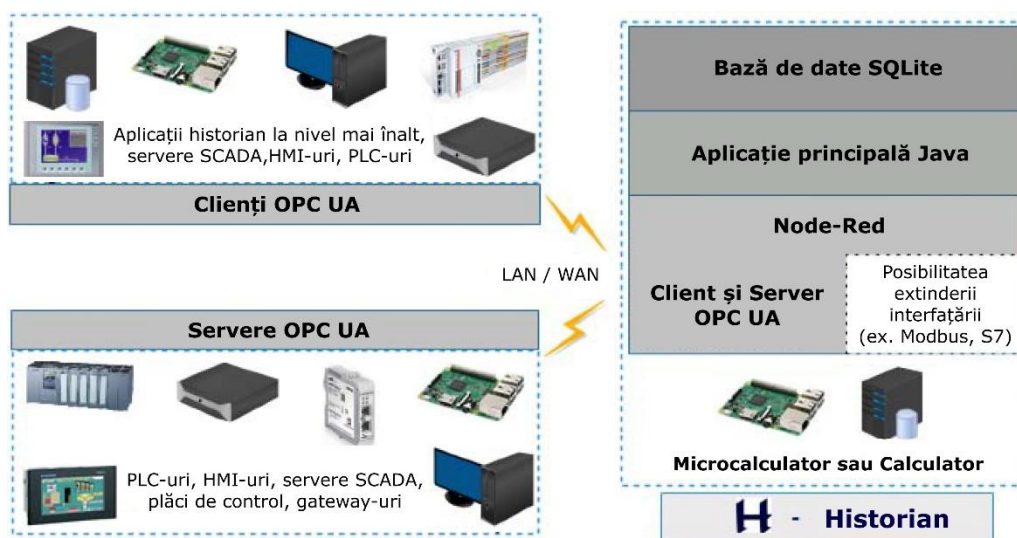


Figura 3.1. Arhitectura generală a aplicației Historian dezvoltată și relația cu structurile OPC UA

3.3. Implementarea practică a aplicației Historian

Așa cum reiese din titulatura sugestivă a subsecțiunii prezente, se dorește, în continuare, detalierea implementării practice a aplicației Historian, derivată din conceptualizarea generală dezvoltată în subsecțiunea premergătoare.

Considerând arhitectura generală concentrată în Figura 3.1, de mai sus, punctul de pornire al aplicației Historian dezvoltată constă în definirea unei mașini cu stări finite, potrivite scopurilor urmărite, pe care aplicația le va urma, respectiva mașină cu stări finite rezultată în acest caz fiind ilustrată în Figura 3.2, poziționată în succesiunea acestui paragraf. Desigur, starea curentă este afișată permanent în interfața grafică cu utilizatorul a aplicației Historian. În mod succint se precizează faptul că stările principale, după starea *Initializing*, în care se pornește și inițializează întreaga aplicație, sunt reprezentate de *Running*, stare pe parcursul căreia are loc citirea și stocarea valorilor etichetelor (tags) provenite de la sistemul tehnic monitorizat, alături de *Not Running*, unde aplicația Historian este pornită și pregătită, dar nu rulează această operațiune principală, și anume citirea de etichete de la sistemul extern. Chiar dacă putem aprecia că mașina cu stări finite nu prezintă o complexitate care ar fi evaluată de către un operator mediu ca fiind banală, în practică este disponibilă permanent posibilitatea de a determina tranziția manuală, prin intermediul unor butoane sugestive (*Start* și *Stop*) plasate în interfața grafică, doar între aceste două stări principale (*Running* și *Not Running*). Cu siguranță, aceasta implică tranziții automate, generate de aplicația principală Java, care nu necesită intervenție a operatorului, prin stările *Starting* și *Stopping*, la fel cum sunt și tranzițiile din *Initializing* spre *Not Running* sau oricare dintre tranzițiile spre starea *Error*. Dată fiind aducerea în discuție a stării *Error*, aceasta a fost definită ca singura stare în care întreaga aplicație trebuie să fie restartată, aspect impus printr-un mecanism, declanșat în momentul tranziției spre această stare, care face ca toate controalele din interfața grafică să devină, în mod automat, inactive. În acest sens, prezența acestei stări indică apariția unei erori sau excepții grave, care nu poate fi tratată, ceea ce ar

ridica probleme legate de garantarea stabilității aplicației, în cazul continuării funcționării. Bineînțeles, pe parcursul funcționării normale a aplicației Historian, tranziția spre starea *Error* nu ar trebui, cel puțin la nivel teoretic, să aibă loc niciodată.

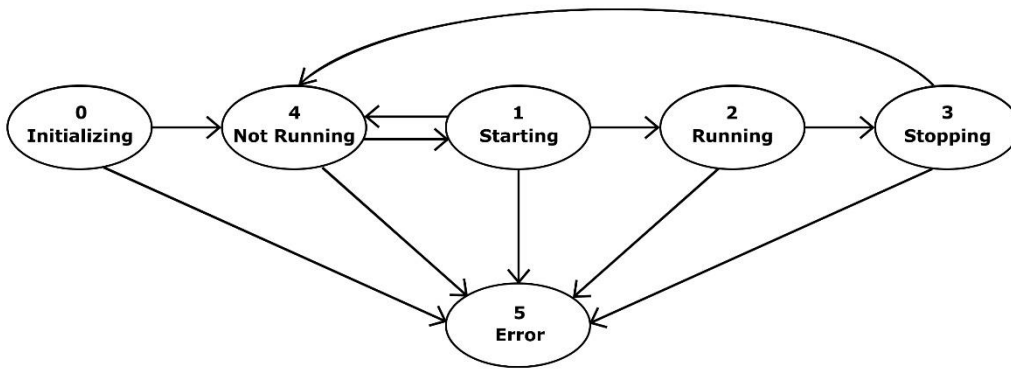


Figura 3.2. Mașina cu stări finite a aplicației Historian

Întrucât interfațarea cu sistemele tehnice exterioare se face prin intermediul platformei Node-Red, aplicația Historian implementează un mecanism complex de control al acesteia, explicat în continuare. În primul rând, în funcție de etichetele (tags) care sunt alese de către operator pentru a fi stocate, aplicația principală Java generează, în mod automat, programul, mai precis, schema cu blocuri de tip Flow, pe care îl va executa Node-Red, și scrie acest program, în format JSON, într-un fișier, pe mediul de stocare. De fapt, acest program îi transmite platformei Node-Red, pe de o parte, denumirile etichetelor ale căror valori trebuiesc stocate, pentru a facilita citirea acestora de la serverul OPC UA monitorizat, iar, pe de altă parte, detaliile de conectare, atât la serverul OPC UA extern, cât și la aplicația principală Java, alături de formatul pachetului de date care se vehiculează între Node-Red și aplicația principală Java. Ulterior scrierii acestui fișier, aplicația principală Java instanțiază un server TCP/IP, iar programul generat automat pe care Node-Red îl va executa folosește o comunicare prin socket-uri cu acest server TCP/IP, astfel încât valorile variabilelor urmărite vor fi citite secvențial, prin protocol OPC UA, de către Node-Red, care va forma calupuri, pachete de date, fiecare dintre acestea conținând câte o valoare pentru fiecare variabilă monitorizată. Mai departe, Node-Red va transmite câte un asemenea calup, formatat JSON, prin socket-uri TCP/IP, spre aplicația Java, care le va procesa și stoca în baza de date. În cel de-al treilea și ultim pas, aplicația principală Java lansează în execuție un nou proces în sistemul de operare gazdă folosind comenzi specifice în linia de comandă, momentan fiind oferit suport atât pentru sisteme de operare Linux, cât și Microsoft Windows. Concret, acest nou proces va rula platforma Node-Red, care va executa programul scris în mod automat de aplicația Java, numele fișierului care conține programul, incluzând calea absolută spre acesta în sistemul de fișiere, fiind livrate ca argumente ale comenzii care pornește procesul. Așadar, această întreagă orchestrare se derulează în mod automat, pe parcursul tranziției prin starea *Starting* a mașinii cu stări finite. Totuși, mecanismul de control al Node-Red nu se limitează la această desfășurare de acțiuni, ieșirea procesului din sistemul de operare (operating system process output) fiind captată și monitorizată de către aplicația principală Java pe întreaga durată de viață a procesului, în scopul supravegherii stării și tratării erorilor. Mai mult, durata de viață,

în sine, a procesului este controlată de aplicația principală Java, care decide momentul opririi acestuia, în timpul stării *Stopping*. De asemenea, pentru obținerea funcției de navigare de tip browsing prin structura internă a serverului OPC UA la care se conectează aplicația Historian, se folosește o abordare similară în ceea ce privește pregătirea programului în fișier JSON și lansarea procesului, calea din serverul OPC UA în care se caută fiind încorporată în program, acesta listând, pe parcursul execuției sale în Node-Red, tot ceea ce se găsește în respectiva cale pe serverul OPC UA exterior, într-un alt fișier, salvat pe mediul de stocare. Datorită faptului că se urmărește ieșirea procesului, aplicația principală Java cunoaște momentul în care se pot prelua datele din fișier, pentru a le expune utilizatorului.

Îndreptându-ne atenția asupra bazei de date, s-a ales pentru interacțiunea cu aceasta utilizarea în aplicația principală Java a tehnologiei JDBC, prin intermediul unui driver potrivit pentru SQLite. În practică, aplicația principală Java controlează atât structura bazei de date, cât și a tabelelor acesteia. La nivelul convenției de nume a tabelelor din baza de date s-a ales metoda combinării unui contor cu IP-ul serverului OPC UA de la care provin datele, un exemplu elocvent fiind o denumire similară celei 3_192_128_1_1, pentru a treia tabelă creată din punct de vedere cronologic. De asemenea, o anumită configurație construită de operator, mai specific un anumit set de etichete, va fi stocat într-o tabelă a bazei de date folosind timestamp-ul pe post de cheie primară. În acest fel, o înregistrare conține cheia primară urmată de câte o coloană pentru valoarea fiecărei etichete monitorizate. Bineînțeles, aplicația principală Java verifică, întotdeauna, la momentul tranziției prin starea *Starting*, dacă actualul set de etichete, care se dorește a fi monitorizat, se potrivește cu structura celei mai recente tabele, în caz contrar, creându-se o nouă tabelă, cu structura adecvată. Referindu-ne la tehnicile de configurare în mod automat a unei baze de date, merită a fi precizat că, în ciuda faptului că se află în afara limitelor prezentei teze de doctorat, asemenea moduri de configurare dinamică a unei baze de date, în funcție de aspecte variabile prezente într-o aplicație externă, precum și interacțiunea bazată pe scrierea de date variabile ca număr, tip sau structură, folosind construcția dinamică de interogări SQL (SQL queries), au fost studiate și testate practic de către autorul tezei în timpul elaborării lucrării de cercetare [228]. Evidențind analogia, în acea cercetare a fost necesară configurarea dinamică a unei baze de date de tip MySQL în funcție de configurația locuinței în care era amplasat sistemul de securitate, experiența rezultată în urma soluționării provocării respective fiind aplicată cu succes în cazul aplicației Historian.

În mod consecvent cu mențiunile făcute în subsecțiunile precedente, aplicația Historian este concepută să funcționeze pe perioade lungi de timp, aspect care a condus la implementarea de mecanisme de auto-monitorizare, diverse proceduri de tratare a erorilor și auto-diagnoză, pe toate cele trei niveluri implicate, și anume aplicația principală Java, Node-Red și SQLite. De asemenea, un fișier de tip jurnal de execuție este menținut pe mediul de stocare, cu toate detaliile legate de starea funcționării și erorile întâlnite, fiind foarte util în situațiile de depanare. Însă, pentru a menține aplicația cu cerințe reduse, dimensiunea fișierului jurnal este controlată în mod automat de aplicația principală Java, concentrându-se pe înregistrările cele mai recente. Mai mult, în urma testelor efectuate pe diverse sisteme reale s-a identificat o problemă specifică, de tip timeout, primit ocazional în Node-Red de la sistemul monitorizat, identificând astfel pierderea conexiunii la serverul local OPC UA. Cu scopul de a rezolva această problemă și a asigura funcționarea fluentă a aplicației Historian, a fost implementată o intervenție automată în acest caz, la nivelul de interfațare Node-Red, pentru a reinițializa conexiunea cu serverul local OPC UA.

În continuare, mutând perspectiva spre funcționalitățile puse la dispoziția operatorului aplicației Historian, se remarcă dezvoltarea unei interfețe grafice cu utilizatorul simple și ușor de manevrat, împărțită în trei file distincte, denumite *Status*, *Configuration* și *Data*, pentru latura aceasta fiind întrebuințată tehnologia Java Swing.

În eventualitatea analizării filei *Status*, așa cum se poate observa și în Figura 3.3, aceasta indică diverse informații legate de starea curentă a aplicației Historian, incluzând, printre altele, numărul de restartări automate, timpul trecut de la tranziția în starea *Running*, starea comunicării dintre aplicația principală Java și Node-Red, dimensiunea bazei de date, în același timp, informațiile din zona *Overall* fiind asociate ultimului start al conexiunii curente.

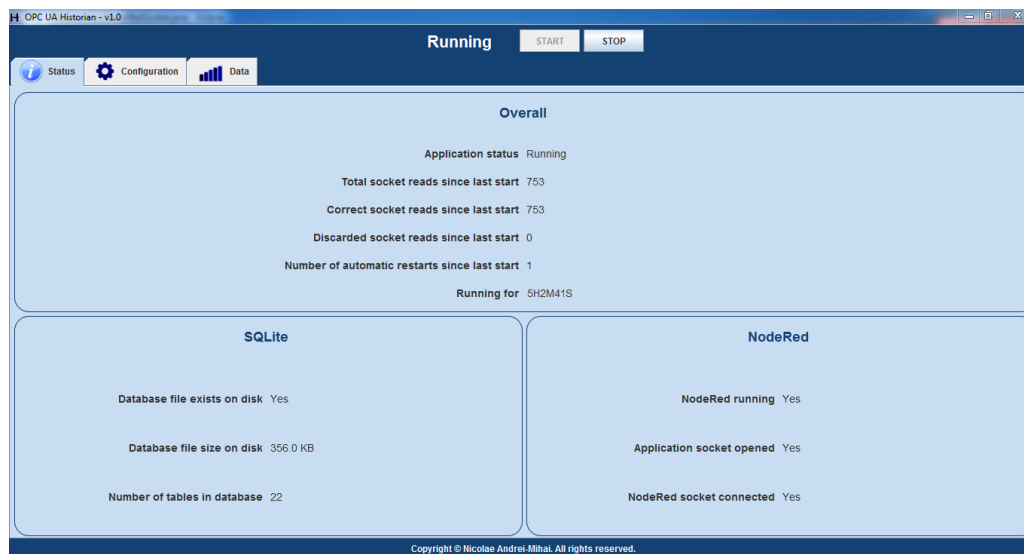


Figura 3.3. Fila *Status* din interfața grafică a aplicației Historian

În mod asemănător, o captură de ecran, infim alterată din cauza motivelor de confidențialitate legate de detaliile de conectare la echipamente aflate în proprietatea unei companii locale de distribuție a apei, înfățișând fila *Configuration* din interfața grafică cu utilizatorul, este prezentată în Figura 3.4. În acest context se accentuează aspectul conform căruia configurarea aplicației Historian este realizată, în întregime, în interiorul aplicației principale Java. De asemenea, s-a urmărit ca alegerea etichetelor care se doresc a fi monitorizate să poată fi realizată de către orice operator, într-un mod cât mai simplu posibil, crescând, în acest fel, utilizabilitatea aplicației, rezultatul fiind vizibil prin prisma zonei *Variables*, care permite răsfoirea structurii de pe serverul OPC UA la care este conectată aplicația Historian și conturarea facilă a listei de etichete care prezintă interes. La acest nivel, flexibilitatea a constituit o caracteristică importantă, având în vedere riscul potențial de pierdere a datelor din cauza permanentei posibilități de întâlnire a unor schimbări în selecția variabilelor de către operator. În practică, fiecare sesiune de configurare este permisă doar în timpul prezenței aplicației în starea *Not Running* și se termină cu operația de salvare a opțiunilor alese într-un fișier de configurare, care este menținut criptat pe mediul de stocare local.

Dat fiind faptul că aplicația Historian trebuie să interfațeze orice server local OPC UA și, prin urmare, o problemă importantă în acest demers a fost legată de

securitate, au fost luate în considerare cinci politici de securitate (None, Basic128, Basic128Rsa15, Basic256, Basic256Sha256), trei moduri diferite (None, Sign, Sign&Encrypt), respectiv credențialele utilizatorului (nume utilizator și parolă).

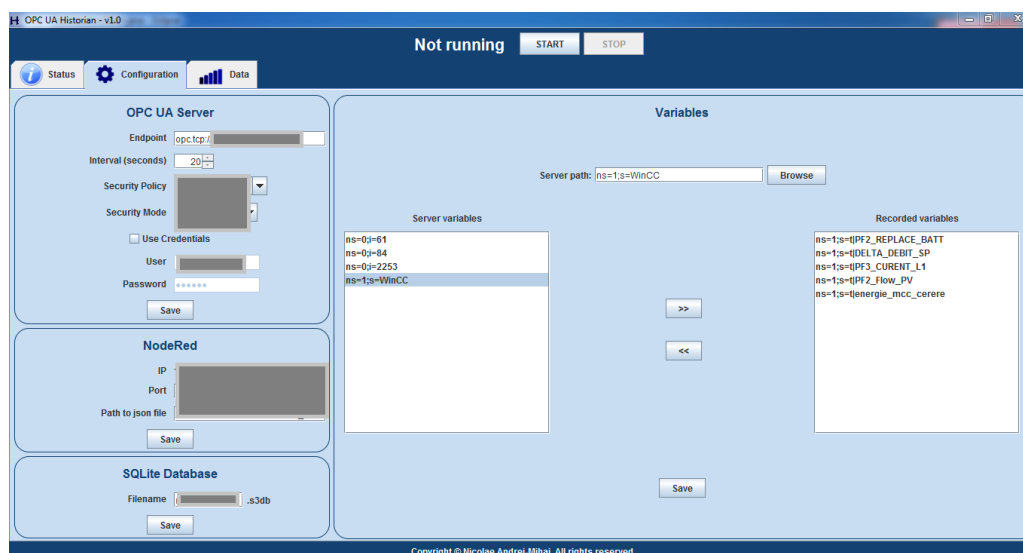


Figura 3.4. Fila *Configuration* din interfața grafică a aplicației Historian

La fel de important, fila *Data*, evidențiată în Figura 3.5, la rândul său alterată din motive de confidențialitate, permite manipularea informațiilor deja stocate de către Historian, în primă fază a cercetării, în care ne situăm deocamdată, modulele de export și diagrame rezervând un interes sporit din partea operatorilor arondați industriei apei. Oricum, ambele module permit selectarea tabelii dorite din baza de date, iar datorită definirii fiecărei tabeli de către limitele temporale, fără suprapuneri, selecția poate fi făcută ușor de către operator. Mai departe, limitele temporale de interes din interiorul unei tabeli pot fi îngustate, în funcție de nevoile corespunzătoare, modulele de export și diagrame tolerând execuția atât în starea *Running*, cât și în starea *Not Running*. Adicional, datele pot fi exportate din baza de date în afara aplicației Historian, pentru analize viitoare, în formatele standard PDF, Microsoft Excel (fișier cu extensie .xls) și CSV, iar evoluția valorilor etichetelor stocate în interiorul unei tabeli, în funcție de un interval de timp selectat, pot fi ilustrate într-un grafic, în interiorul aplicației Historian, așa cum este înfățișat în Figura 3.6.

În final, această subsecțiune a detaliat modul în care a fost implementată în direcția practică aplicația Historian destinată industriei apei, cu costuri și cerințe reduse, capabilă de interfațare OPC UA și ușor de folosit de către operatori, urmărind atât perspectiva de natură inginerescă, a interacțiunii dintre diferitele module software implicate, cât și perspectiva funcționalităților puse la dispoziție utilizatorilor prin intermediul interfeței grafice.

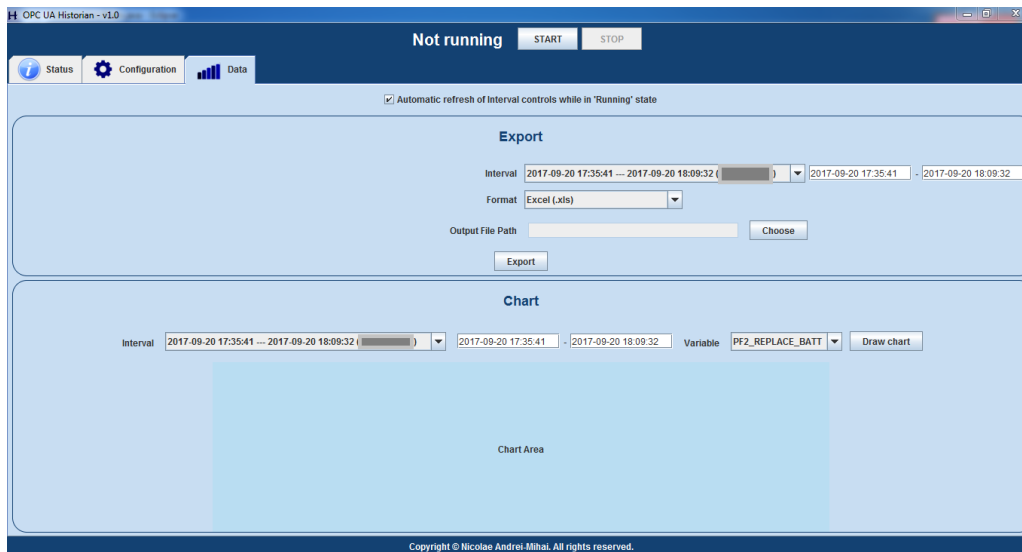


Figura 3.5. Fila *Data* din interfața grafică a aplicației Historian

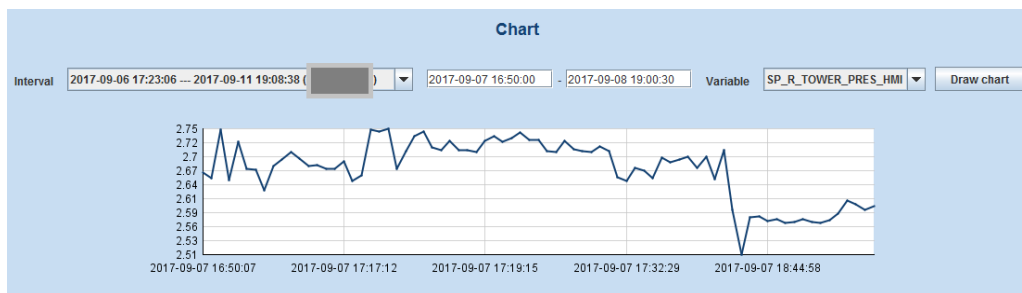


Figura 3.6. Reprezentare, în modulul de diagrame, a evoluției presiunii apei, într-un interval de timp selectat

3.4. Scenarii de test

În urma finalizării implementării practice a aplicației Historian corespunzătoare acestei etape inițiale a demersului de cercetare doctorală, așa cum se lasă așteptat, în mod natural a urmat demararea unui proces de testare și validare a rezultatelor practice obținute.

În acest sens, începutul procesului a fost marcat de testarea portabilității aplicației, în speță fiind urmărită funcționarea corespunzătoare pe diferite platforme. Concret, s-a efectuat instalarea, configurarea și testarea tuturor funcționalităților oferite de către aplicația Historian atât pe o platformă cu sistem de operare Microsoft Windows 7, rulând pe un laptop cu specificații de nivel mediu, cât și pe o platformă cu sistem de operare Raspbian (bazat pe versiunea Debian 9 și Linux Kernel 4.14), rulând pe o placă Raspberry Pi 3. Având în vedere deznodământul pozitiv al testării portabilității pe cele două sisteme menționate, se permite o generalizare,

considerând, prin rezervarea unui grad ridicat de încredere, că aplicația Historian poate funcționa, fără probleme, atât pe platforme Linux, cât și Windows, de nivel cel puțin egal, din punct de vedere al versiunii sistemului de operare, cu cele testate, în timp ce, pentru zona de hardware, generalizarea semnifică orice platformă cu specificații cel puțin egale cu cele ale unei plăci Raspberry Pi 3.

În ceea ce privește testarea părții de interfațare OPC UA și funcționalitățile care derivă din aceasta, s-a apelat la un parteneriat existent, solid, stabilit anterior pornirii studiilor doctorale în cauză, între echipa de cercetare la care este afiliat și autorul tezei, pe de-o parte, și compania locală de distribuție a apei, pe de altă parte. Astfel, sub umbrela acestui parteneriat, a fost posibilă obținerea accesului la o stație reală de tratare a apei potabile care deservește o zonă de aproximativ 8000 de locuitori. În particular, stația de tratare a apei conține o soluție SCADA mai veche, bazată pe WinCC 7.2, cu o extensie Connectivity Pack, expunând etichete (tags) pe servere OPC UA. Beneficiind, în principal, de conexiunea cu acest sistem tehnic real din industria apei și, în plan secundar, de alte câteva conexiuni spre sisteme asemănătoare, însă de o complexitate mai mică, operate de aceeași companie de apă, aplicația Historian a fost testată pe multiple sisteme din lumea reală. Desigur, din procesul de testare nu au fost omise scenarii de monitorizare întinse pe parcursul unor perioade mai lungi de timp, implicând cazuri de test orientate asupra unor durate de timp de ordinul orelor sau chiar zilelor de funcționare continuă. În această manieră, s-a reușit inclusiv testarea riguroasă a tuturor mecanismelor automate de diagnoză, monitorizare, tratare a erorilor și repornire a conexiunii OPC UA în momentul apariției problemei de tip timeout.

Cu scopul aducerii unor exemplificări palpabile, unul dintre scenarii a presupus urmărirea valorilor mai multor etichete, în timp real, în aplicația SCADA a companiei de apă și compararea acestora cu valorile stocate în baza de date de către aplicația Historian. Într-un alt scenariu, după o perioadă de funcționare de 36 ore, s-au examinat înregistrările din baza de date, în funcție de timestamp, pentru a se asigura că nu există întreruperi în supraveghere. De asemenea, s-au verificat jurnalele de execuție ale aplicației Historian, pentru a se atesta faptul că mecanismul automat de restabilire a conexiunii OPC UA a performat corect. În plus, au fost confruntate și numărul de citiri de pachete de date de la serverul OPC UA, afișat în interfața grafică a aplicației Historian, cu numărul de înregistrări din baza de date. Firește, aceste acțiuni sunt trecute în revistă cu titlu de detaliere, însă au fost săvârșite și alte operațiuni similare de testare.

În cele din urmă, datorită rezultatelor bune obținute în urma executării unor scenarii de test minuțioase, atent concepute, implicând condiții de testare reale, din industria apei, soluția Historian dezvoltată pe parcursul acestui capitol se ridică la înălțimea standardului la care poate fi considerată validată pentru punerea în practică în mediul industrial.

3.5. Concluzii

Epilogul capitolului al treilea oferă prilejul de a reflecta asupra concluziilor inerente la finalul etapei inițiale a cercetării doctorale, mai ales prin prisma rezultatelor subliniate în sfera practică.

În opoziție cu intenția de a repeta unele aspecte, se consideră, totuși, oportună reamintirea succesiunii esențiale aflată la baza capitolului, care a pornit la drum cu evaluarea situației practice a aplicațiilor de tip historian din industria apei, pe baza cărora s-a identificat o nevoie reală pentru un anumit tip de soluție software,

care să fie accesibilă atât din punctul de vedere al costurilor, cât și al cerințelor de resurse, plasată la nivel apropiat de sistemul monitorizat, în așa-numita zonă de Fog Computing, ușor de utilizat de către operatori, interfațând sistemele monitorizate prin tehnologie OPC UA și punând la dispoziție datele stocate în formate standard, neîngropate sub diverse protocoale sau formate proprietar, și continuând, mai apoi, cu creionarea unui concept general pentru o asemenea aplicație, urmat de o implementare practică a acesteia și o testare riguroasă, folosind sisteme reale din industria apei.

În retrospectivă, parcurgerea tuturor treptelor menționate mai sus a condus la identificarea unui potențial de cercetare și dezvoltare încă neexplorat în industria apei, oportunitate și, în același timp, provocare, căreia i-a fost dat curs. În acest fel, finalizarea etapei curente de cercetare surprinde concretizarea unei soluții software inovatoare care rezolvă cu succes seria de probleme formulate în subsecțiunile incipiente ale capitolului.

Una dintre concluziile importante, pe lângă atingerea cu succes a tuturor obiectivelor setate pentru aplicația Historian, o reprezintă constatarea conform căreia deși aplicația Historian a fost concepută și testată având în vedere industria apei, nu există, la acest nivel de dezvoltare, nici un element care să o limiteze la industria respectivă. Continuând ideea în cauză, implementarea practică este, într-adevăr, una generică, fiind capabilă să își exercite în întregime caracteristicile funcționale pentru orice tip de server OPC UA, indiferent de natura procesului tehnic în care este prezent sistemul monitorizat. Desigur, acest element constituie un atu într-o eventuală viitoare tranziție spre un mediu industrial diferit și lărgiște domeniul de aplicabilitate al soluției dobândite.

De asemenea, se observă, pe lângă faptul că aplicația dezvoltată împinge barierele cunoașterii mai departe, aspect susținut de constatarea făcută în secțiunile anterioare ale tezei, conform căreia nu a putut fi identificată, cel puțin până la momentul implementării, nici în zona academică și nici în zona industrială, o soluție software echivalentă cu cea dezvoltată, rezultatele obținute la încheierea acestui capitol depășesc limitele zonei de cercetare pur teoretică, furnizând o aplicabilitate directă în practică, în industrie.

În privința contribuțiilor acestui capitol terț al lucrării, se reiterează: (i) crearea unei aplicații de tip historian, cu cerințe și costuri reduse, pentru industria apei, cuprinzând atât proiectarea, cât și implementarea practică integrală, hardware și software, a soluției; (ii) compunerea unei interfețe cu utilizatorul ușor de folosit de către operatorii din industrie; (iii) automatizarea proceselor din spatele configurării listei de etichete care se doresc a fi monitorizate; (iv) testarea soluției pe sisteme industriale reale.

Pe de altă parte, considerând zona publicațiilor, inițiativa petrecută sub capitolul de față, al cărui subiect principal l-a constituit aplicația Historian, s-au transpus în acceptarea și prezentarea articolului [229] la o conferință internațională de specialitate.

Așadar, obținerea unei aplicații de tip historian, testată și validată în industria apei, îndeplinind toate obiectivele fixate, dezvoltată în armonie cu principiile IIoT și Industry 4.0, cu potențial real de a rezolva unele probleme în industrie, reușește să tragă cortina finală asupra etapei incipiente a cercetării, cedând astfel lumina reflectoarelor următoarelor etape de cercetare, cu demersuri implicând un nivel mai ridicat de complexitate și dificultate, îndrăznind chiar a estima, mai interesante, cel puțin din punct de vedere al posibilelor beneficii finale, deloc neglijabile, care pot fi livrate în sfera practică.

4. ARHITECTURA SOFTWARE DE REFERINȚĂ PENTRU ELEVAREA APLICAȚIEI HISTORIAN SPRE NIVELUL PROACTIV

Anticipându-se o prelungire perseverentă în direcția demersurilor de cercetare inițiate în capitolul precedent, capitolul al patrulea marchează, în mod previzibil, debutul unei noi etape de studiu, care oglindește elementele de interes maxim în cadrul tezei doctorale curente, oferind, în același timp, premisele unei valori adăugate superioare, comparativ cu dezvoltările prezentate până la acest moment. Desigur, noua etapă de cercetare se sprijină pe rezultatele anterior enumerate, acestea alcătuiind un fundament solid peste care se poate construi, cu scopul de a ne afla, la final, în posesia unei aplicații desăvârșite, de nivel superior, inovative, capabile, pe lângă simpla monitorizare a unui sistem tehnic, și de optimizarea acestuia.

În continuare, se consideră oportună precizarea conform căreia multiplele referiri care vor avea loc, în contextul acestei teze, la termenul de proactiv, urmăresc, în mod expres, sensul care înglobează ideile din jurul analizei automate a datelor stocate, identificării de relații și dependențe între anumite caracteristici sau etichete (tags) stocate, identificării de tipare, predicției evoluției viitoare a unui sistem tehnic și metodelor de optimizare. Simplificând, prin proactivitate se evocă, mai departe, suma componentelor care, împreună, permit capabilitatea de a influența și optimiza un sistem tehnic în mod autonom, neasistat.

Corepunzător cu cele menționate, este importantă înțelegerea și delimitarea clară a unei aplicații de tip historian simple, elementare, categorie în care se încadrează, de exemplu, și aplicația dezvoltată în capitolul terț al lucrării, de categoria soluțiilor software de tip proactiv. În acest sens, prima categorie se limitează doar la stocarea într-o bază de date a diferitelor valori măsurate ale caracteristicilor unui sistem tehnic, fără a analiza, însă, datele sau a stabili tipare de comportament ale parametrilor. Ca atare, nu se poate discuta, la acest nivel, de optimizarea proceselor și nici de influențarea, în nici un fel, a sistemului tehnic monitorizat.

În succesiune, pentru a dezvolta o aplicație historian superioară, de tip proactiv, capabilă, alături de colectarea datelor provenite de la un sistem tehnic și de analiza, în mod autonom, a acestora, pentru ca, mai apoi, să fie posibilă influențarea sistemului tehnic, cu scopul de a îndeplini obiective bine definite, fără asistență umană, este imperativ necesară o arhitectură de referință, în special în ceea ce privește algoritmi software. Astfel, o arhitectură de referință definește modulele software implicate, detaliază interacțiunile dintre ele și delimitează algoritmi utilizați în categorii distincte, pe baza funcționalităților principale ale acestora. Bineînțeles, se estimează că aplicația Historian proactivă, finalizată în urma completării studiilor doctorale, va reprezenta o soluție software complexă, constând în numeroase module independente, cu multiple interacțiuni. De asemenea, pentru a calcula ajustarea exactă care se cuvine a fi aplicată sistemului tehnic cu scopul de a îndeplini obiectivul definit, trebuie să fie implicați mulți algoritmi software. În aceeași ordine de idei, fiecare algoritm software va avea diferite funcționalități, caracteristici, intrări (inputs) și ieșiri (outputs), situație în care doar efortul colectiv, bine organizat, al tuturor acestor algoritmi poate produce rezultatul final dorit, și anume ajustarea corectă

pentru sistemul tehnic. În acest context, lipsa unei arhitecturi de referință conduce la o dezvoltare haotică, împreună cu absența unei viziuni generale, de ansamblu, ceea ce face atât dezvoltarea, cât și mentenanța de software mult mai dificile.

Căutând soluții în literatura de specialitate pentru arhitecturi software adecvate unei aplicații historian de tip proactiv se remarcă dificultatea identificării unei asemenea propuneri. În această direcție, deși [230] aduce în atenție o arhitectură de sistem potrivită pentru Industry 4.0, abordarea este prea generală, simțindu-se, totuși, nevoia definirii unei arhitecturi mai specifice pentru tipul de aplicație vizat. Luând în considerare circumstanțele date, se sugerează elaborarea și prezentarea, în decursul secțiunii de față, a propriei arhitecturi software, creionată cu atenție sporită la paradigmele Industry 4.0 și IIoT. La fel de important, se poate constata că această contribuție este îndeosebi utilă, din perspectivă practică, pentru a eleva aplicația Historian dezvoltată în etapa premergătoare de cercetare spre nivelul proactiv, care presupune un grad sporit de inteligență din partea soluției software implementate.

Cu siguranță, arhitectura unei aplicații historian elementare este deja disponibilă, inclusiv în cadrul tezei în cauză fiind ilustrată, în Figura 3.1, o alternativă personală. Prin urmare, în subsecțiunea actuală se pune accent pe arhitectura algoritmilor care optimizează sistemul tehnic. În esență, arhitectura întocmită se concentrează asupra elementelor software care trebuie adăugate unei aplicații historian elementare pentru a o transforma într-una proactivă. Fără îndoială, abordarea urmată prezintă dezavantajul de a necesita consultarea adițională a unei arhitecturi detaliate a aplicațiilor historian elementare, în cazul în care se pornește o dezvoltare nouă, de la zero. În ciuda acestui inconvenient, se solicită luarea în considerare a faptului că, în practică, există deja implementate și disponibile numeroase soluții software de tip historian elementar, acest nivel tehnologic nemaiconstituind un subiect de ultimă oră. În aceste condiții date, se evaluează cantitatea de efort implicată în transformarea unei aplicații historian elementare într-una proactivă ca fiind semnificativ mai mică, prin comparație cu dezvoltarea în întregime, de la zero, a unei soluții. Datorită acestei concluzii, se așteaptă ca interesul pentru arhitectura expusă în continuare, sub forma actuală, să se manifeste la cote ridicate, mai ales din partea actorilor care dispun deja de soluții elementare și intuiesc potențialul transformării acestor soluții spre nivelul superior. Deci, cântărind considerentele precizate, s-a decis ca fiind oportună axarea arhitecturii, în mod special, pe zona proactivă, în locul insistenței asupra unei diagrame stufoase, cuprinzătoare, a aplicației în întregime ei, care ar fi îngreunat observarea noțiunilor esențiale prin prisma proactivității, în același timp, fiind conștientizat aparentul neajuns pentru anumite cazuri. Așadar, arhitectura de referință proactivă propusă în această lucrare este detaliată în Figura 4.1, înșiruită după încheierea paragrafului, soluția oferită fiind una generică, astfel încât nu se limitează singură la o industrie specifică, putând fi aplicată cu succes în orice domeniu tehnic. Cu certitudine, caracteristica evidențiată aprioric constituie un avantaj prin comparație cu alte arhitecturi mai specifice, iar pe lângă aceasta, în paralel, se lărgeste considerabil potențiala arie impactată de această contribuție.

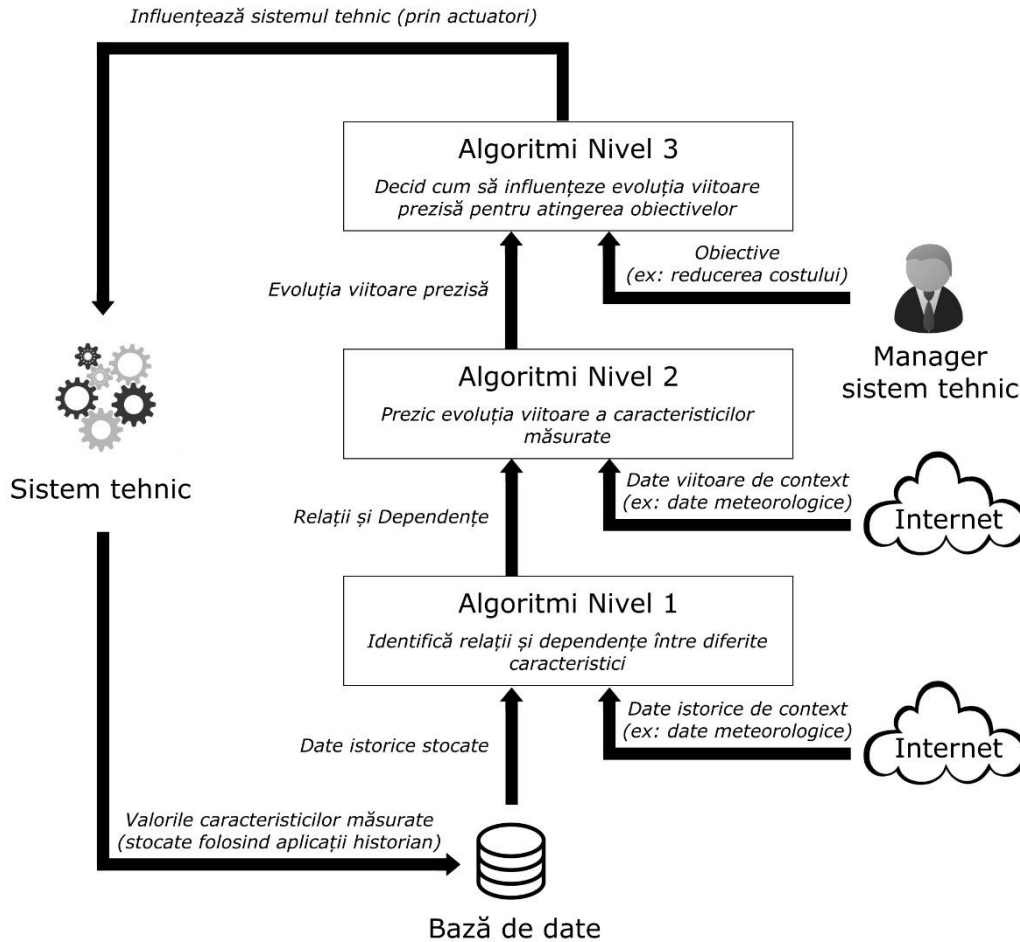


Figura 4.1. Arhitectură de referință pentru o aplicație historian proactivă

Considerând reprezentarea grafică de mai sus, se poate distinge faptul că arhitectura propusă constă într-o structură de algoritmi software multinivel, care separă, din punct de vedere logic, algoritmi implicați, în trei niveluri distincte, fiecare dintre cele trei niveluri conținând mai mult decât un singur algoritm.

În primul rând, principalele scopuri ale algoritmilor de nivel 1 se atașează de identificarea relațiilor și dependențelor între caracteristicile sistemului tehnic, informații purtătoare de importanță, atât pentru estimări ale evoluției viitoare, cât și pentru decizii privitoare la ajustări ale sistemului monitorizat. Concret, pentru a putea prezice evoluția viitoare, algoritmi de nivel 2 trebuie să înțeleagă relațiile existente între diferite caracteristici (etichete OPC UA) și modul în care se influențează reciproc acestea. Referindu-se la interacțiunea cu exteriorul, algoritmi de nivel 1 prezintă intrări (inputs) materializate sub forma datelor istorice stocate, la care pot fi adăugate, opțional, date istorice de context, un exemplu în acest sens fiind datele meteorologice înregistrate la un anumit moment, în trecut. În ceea ce privește ieșirea (output) algoritmilor de nivel 1, aceasta ia forma unui set de relații și dependențe

între caracteristicile măsurate. Mai mult, de la această ieșire rezidă expectația să ofere, de asemenea, rezultate cantitative, arătând în ce măsură caracteristicile sunt legate sau influențate de alte caracteristici sau de datele de context.

În al doilea rând, algoritmi plasati la nivelul 2 poartă obligația de a prezice evoluția viitoare a caracteristicilor măsurate, pentru a efectua orice fel de ajustări unui sistem tehnic, fiind necesar a ști cum vor evolua în viitor valorile acestor caracteristici. Similar nivelului inițial, algoritmi așezați la nivelul secund solicită două intrări distincte, descrise mai departe. Primar, relațiile și dependențele dintre caracteristici, identificate de către algoritmi de nivel 1, sunt indispensabile deoarece sistemele tehnice sunt, de obicei, foarte complexe, având caracteristici interconectate, astfel încât o izolare a predicției la o singură caracteristică, fără a analiza implicațiile asupra întregului sistem ar duce la rezultate eronate. În plan secund, pentru a îmbunătăți semnificativ acuratețea estimării evoluției viitoare, algoritmi de nivel 2 au nevoie să primească la intrare date de context referitoare la viitor, un exemplu specific fiind prognoza meteorologică. Oricum, aceste date ar reprezenta, la rândul lor, o predicție, ceea ce face ca precizia ieșirilor algoritmilor de nivel secund să fie influențată de acuratețea acestor așa-numite date viitoare de context. În plus, datele viitoare de context necesare sunt legate îndeaproape de particularitățile industriei în care rulează sistemul tehnic. Urmărind o exemplificare, industria apei sau agricultura sunt influențate de datele meteorologice. În acest fel, dacă sistemul tehnic are legătură cu industria apei și posedă o caracteristică reprezentând admisia unei stații de epurare, atunci prognoza meteorologică privind precipitațiile trebuie să fie pusă la dispoziția intrării algoritmilor de nivel 2. În caz contrar, acești algoritmi ar putea produce o predicție eronată a cantității de apă uzată prezentă la admisia în stație dacă prognoza privind precipitațiile nu este luată în considerare. De partea cealaltă, ieșirea algoritmilor de nivel 2 livrează evoluția viitoare prezisă a caracteristicilor măsurate ale sistemului tehnic, pentru o precizie cât mai bună cuvenindu-se a fi luate în considerare cât de multe caracteristici posibil ale sistemului tehnic în momentul începerii analizei, dorindu-se identificarea tuturor posibilelor implicații și dependențe.

În al treilea rând, algoritmi situați la nivelul terț sunt responsabili pentru a decide cum să influențeze sistemul tehnic, cu scopul îndeplinirii unui obiectiv definit. Focalizându-ne asupra raportării la exterior a acestor algoritmi, se remarcă un număr de două intrări separate, prima dintre acestea aducând evoluția viitoare prezisă a sistemului tehnic, calculată de către algoritmi amplasați la nivelul inferior, pe când intrarea secundă inserează un obiectiv sau chiar un set de obiective care, cel mai probabil, vor fi furnizate de către un manager al sistemului tehnic. De exemplu, managerul sistemului tehnic poate alege reducerea costurilor, care ar putea fi implementată prin intermediul diminuării valorii unei anumite caracteristici, în speță, în industria apei reducerea consumului total de energie se poate obține prin reducerea funcționării pompelor de apă sau, într-un scenariu diferit, se poate opta pentru un obiectiv de îmbunătățire a eficienței generale a costurilor. Pe baza acestor două intrări se pretinde de la algoritmi de nivel 3 calcularea referitoare la modurile prin care să ajusteze sistemul pentru a atinge obiectivul dorit. În opoziție, ieșirea algoritmilor de la acest nivel ierarhic ar divulga exact influența care trebuie și poate să fie aplicată sistemului tehnic. Suplimentar, se cere ca această ieșire a nivelului superior să fie direct aplicabilă sistemului tehnic, prin urmare, algoritmi de nivel terț vor posedea, în mod inevitabil, o înțelegere cuprinzătoare a procesului monitorizat, a sistemului tehnic și a etichetelor (tags) OPC UA care pot fi modificate pentru a altera valorile de referință (setpoints) ale procesului, fără interferență invazivă sau distructivă.

Aflându-ne la sfârșitul amănunțirii conținutului arhitecturii de aplicație historian proactivă propusă, se sesizează că aceasta constă într-o buclă repetitivă prin care evoluția sistemului tehnic este înregistrată, analizată, precisă, și, mai apoi, alterată față de predicție pentru a atinge obiective predefinite, după care iterația se reia. În această privință, un aspect poate nu atât de evident, însă care merită menționat, îl reprezintă faptul că obiectivele fixate se pot schimba pe parcurs, ceea ce susține organizarea sub formă de buclă continuă. Dintr-un punct de vedere ușor diferit, algoritmi care transformă o aplicație historian simplă, elementară, într-o soluție de tip proactiv, lucrează într-o arhitectură de tip pipeline, unde fiecare nivel de algoritmi folosește ieșirile algoritmilor de nivel inferior pe post de intrări ale sale.

Dat fiind faptul că schematizarea și sistematizarea arhitecturii software de referință necesară pentru a concretiza râvnitele caracteristici proactive ale unei aplicații de tip historian desemnează activități acoperite de secvența curentă a manuscrisului, următoarele patru capitole, numerotate de la cinci și până la opt, înaintea, pe rând, implementări ale porțiunilor anteceseminatei arhitecturii software, care au constituit obiectul de studiu primordial al intervalului doctoral actual. Pe această cale, atât capitolul de față, cât și cele patru circumscrieri aliniate după acesta fac parte, împreună, din eforturile de elevare ale proiectului Historian de la nivelul elementar spre cel proactiv.

Finalmente, cel de-al patrulea capitol a stabilit începutul etapelor de cercetare în urma cărora se aspiră la adăugarea unei cantități însemnate de inteligență în funcționarea aplicației Historian deja implementată, tinzându-se spre obținerea unei soluții complet autonome, capabilă de optimizarea sistemului monitorizat. Însă, pentru a se ajunge în acel punct se cunoaște rapid nevoia unei arhitecturi de referință și, regăsindu-ne în imposibilitatea depistării unei asemenea arhitecturi în literatura de specialitate, a fost elaborată și prezentată, în capitolul de față, o propunere în acest sens, care va servi drept model pentru dezvoltările viitoare din cadrul cercetării doctorale.

5. IDENTIFICAREA DEPENDENȚELOR DINTRE DATELE STOCATE

5.1. Procesele și problemele tipice în STAP

Ulterior conceptualizării destul de abstracte din secțiunea recent încheiată, al cincilea fragment din structura lucrării atacă, în detaliu, primul nivel din arhitectura de referință, inițial fiind cercetat și dezvoltat un algoritm capabil să ofere funcționalitatea revendicată la acest nivel al arhitecturii, pentru ca, în partea finală, algoritmul în cauză să fie implementat în aplicația Historian și testat în industria apei, pe o stație de tratare a apei potabile (STAP).

În acest context, cerințele care sosesc din zona industrială relativ la paradigmele Industry 4.0 și IIoT includ avantaje cum ar fi reducerea costurilor, creșterea siguranței, disponibilitate mai largă sau o sporire a productivității. În mod particular, companiile de distribuție a apei sunt preocupate, în principal, de reducerea costurilor, realizabilă prin eficientizare energetică, consum de substanțe și strategie bună de mentenanță, dar și de calitatea apei. Astfel, se observă că, pentru îndeplinirea obiectivelor specifice, interoperabilitatea este esențială, dar, în același timp, dependentă de echipamente și soluțiile de automatizare SCADA. Desigur, urmările acestei stări de fapt îndrumă cercetările orientate spre zona proactivă, incluzând aici interoperabilitate, analiză a datelor, identificare a tiparelor, definirea funcțiilor obiectiv și analiză bazată pe modele, să acumuleze treptat o anumită dependență de proces. Deși în cazul studiului doctoral demersurile de cercetare țintite spre primul nivel al arhitecturii de referință au avut în vedere o abordare generică în ceea ce privește aplicația Historian, implementarea fiind delimitată de particularitățile unui anumit proces la acest nivel, datorită atât a locului testării rezultatelor, cât și a continuării studiului în capitolul 6 în afara sferei aplicației Historian, a fost considerată absolut necesară prezentarea, în acest moment, a proceselor tipice care se desfășoară în interiorul unei STAP și a problemelor definitorii asociate. În realitate, algoritmul dezvoltat pentru primul nivel al arhitecturii se ridică la înălțimea unei soluții generice, care poate fi utilizată în orice industrie, însă toate studiile de la acest nivel au fost întreprinse raportându-se la procesele și problemele unei STAP.

În conformitate, Figura 5.1 expune, într-o manieră grafică, procesele care au loc în interiorul unei STAP tipice. Pentru început, admisia unei STAP provine de la surse de apă care sunt, de obicei, reprezentate de foraje de apă subterană sau de unele surse de apă de suprafață. În cazul climatelor foarte uscate, apa poate proveni chiar în urma unei recirculări complete a apei de la instalațiile de epurare. În mod uzual, STAP preia apa de la surse și inițiază procesul de tratament al apei, fazele acestuia fiind aerare, filtrare, dezinfecție și tratarea nămolului rezultat. În continuare, aerarea este realizată cu suflante, care mențin un anumit nivel de oxigen în bazin asigurându-se, în acest fel, parametrii ceruți pentru nitriți și nitrați. Mai departe, prima stație de pompare mută apa de la bazinul de aerare la filtrele de nisip pentru a reduce turbiditatea, iar apoi la filtrele de cărbune. Bineînțeles, aerarea și filtrarea cu cărbune sunt esențiale pentru obținerea nivelurilor dorite de pH și conductivitate ale apei tratate. În plan secundar, filtrele sunt curățate frecvent, folosind aer, introdus de suflante adiționale sau apă, curățarea cu apă fiind adesea realizată apelându-se la un

set diferit de pompe, însă, în unele situații, prima stație de pompare poate opera în două regimuri diferite de funcționare, și anume: regim de filtrare și regim de spălare. La fel de important, clorinarea este pusă în practică prin intermediul unei stații de clor, nivelurile de clor fiind măsurate în puncte diferite în STAP, iar ratele de dozare corespunzătoare sunt asociate în interiorul procedurilor de control în buclă închisă. În mod obișnuit, o strategie elementară de control a clorului, bazată pe debitul de apă este adăugată cu o buclă închisă de control a clorului, de nivel mai înalt, care măsoară clorul rezidual pentru răspuns. În aceeași direcție, se relevă că un flux de apă continuu este obligatoriu la intrarea în STAP deoarece sunt necesare perioade lungi de timp pentru a obține un control eficient al clorului, de ordinul a 30 de minute. Pe de altă parte, ieșirea STAP este direcționată în rețeaua de distribuție a apei, folosind în această procedură o a doua stație de pompare și, în cele din urmă, un turn cu apă. De asemenea, faza de tratare a nămolului implică, la rândul ei, diverse obiecte consumatoare de energie.

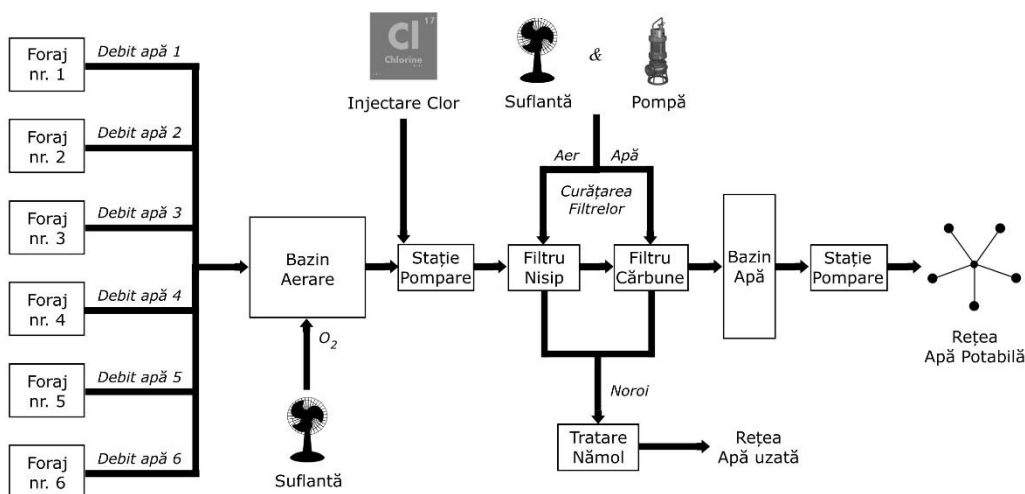


Figura 5.1. Procesele din interiorul unei stații de tratare a apei potabile

Luând în considerare atât pașii implicați în tratarea apei, cât și monitorizarea practică a unei STAP, folosind aplicația Historian dezvoltată în capitolul 3 al tezei, au fost constatate următoarele dependențe și probleme tipice:

- Creșterea acidității sau a alcalinității (pH), alături de scăderea nivelurilor de conductivitate sunt asigurate implicit prin consum de energie și clor, datorită, printre altele, suflantelor pentru aerare, stației de clor și mentenanței filtrelor de cărbune.
- Un nivel ridicat de turbiditate poate cauza colmatări, respectiv consum ridicat de energie și pierderi de apă, care rezultă din curățarea filtrelor cu aer și apă.
- O buclă de control a nivelului apei în bazinul de distribuție, complementată cu o buclă de control bazată pe debit, care apelează sursele de apă în funcție de cererea debitului din rețeaua de distribuție a apei, asigură un caracter foarte util, anticipativ, al întregii distribuții de apă atunci când se prezintă un consum ridicat de apă, în perioadele critice ale unei zile. Totuși, pe timpul nopții sursele de apă sunt deseori oprite, în momentul în care limita histeresis

superioară este atinsă în bazinul de apă. În eventualitatea în care se întâlnesc pierderi de apă în rețeaua de distribuție, bucla de control a debitului va activa sursele de apă. În această împrejurare, dacă punctele de referință (setpoints) ale debitului la sursele de apă din algoritmi de control cu buclă închisă, bazați pe debit, sunt prea ridicate sau sunt setate la valori fixe, atunci pompele surselor de apă pot să se pornească și să se oprească de mai multe ori în timpul nopții, cauzând, în acest fel, uzura prematură a pompelor și a surselor de apă.

- În afara problemei menționate mai sus, pornirea și oprirea succesivă a surselor de apă determină activarea și dezactivarea întregii STAP pentru perioade scurte de timp, ceea ce conduce la perturbarea proceselor de filtrare și clorinare.
- Sursele de apă au caracteristici diferite, prin urmare, unele dintre ele pot furniza valori de debit mai mari, iar unele dintre ele o calitate a apei mai bună. În acest sens, există posibilitatea recunoașterii unor indicatori ai calității surselor de apă, prin monitorizarea clorului rezidual, timpilor de funcționare ai suflantelor și ciclurilor de spălare a filtrelor, în decursul unor perioade mai lungi de timp, monitorizare desfășurată concomitent cu alegerea surselor de apă care funcționează la un moment dat și supravegherea valorilor debitului de apă furnizat de fiecare. Astfel, uzitând de sursele de apă convenabile, se pot reduce consumuri specifice prin distribuția debitului.
- Indicatorii calității surselor de apă se schimbă de-a lungul timpului.
- Nivelul apei în rezervorul de distribuție nu poate fi menținut între două limite histeresis din cauză că variația consumului de apă în rețeaua de distribuție perturbă algoritmul de control al nivelului. Repercusiunile se manifestă sub forma inconsistențelor în rezervele de apă din rezervor, incluzând consum mai mare de energie și posibile dereglări ale procesului de tratare a apei.
- Este esențial a fi luate în considerare atât perioadele adecvate de funcționare ale echipamentului, dar și numărul de porniri deoarece mentenanța sau înlocuirea adaugă costuri ridicate.

Din păcate, multe dintre chestiunile lansate în prealabil nu sunt, de regulă, rezolvate, și nici măcar identificate în dezvoltările clasice. Oricum, cea mai corectă și eficientă rețetă nu poate fi stabilită doar cu ajutorul structurilor clasice. Mai degrabă, implementarea de soluții de automatizare SCADA pentru dependențele fizice asemănătoare celor din Figura 5.1 se face, de obicei, gradual, în faze. În plus, antreprenorii comandă sisteme recurgând la cele mai bune cunoștințe pe care le posedă la acel moment, în urma consultării documentației nefinalizate, fără o testare pe termen lung și fără nici o soluție de optimizare.

Chibzuind aspectele amintite până la acest punct, se emite raționamentul conform căruia monitorizarea și stocarea valorilor procesului este esențială, dar insuficientă de sine stătătoare, dezvoltări suplimentare fiind necesare pentru a crește eficiența. În mod clar, cea mai bună rețetă trebuie să ia în considerare variabilele disponibile, de ordinul miilor de etichete în unele situații, și dependențele acestora, urmărind un obiectiv de cost, care este influențat de mulți factori. De exemplu, reducerea orelor de funcționare ale unui echipament scade costurile de mentenanță, dar ar putea influența negativ indicatorii de calitate. În majoritatea cazurilor, rețeta nu poate fi descoperită de către operatori sau ingineri, ceea ce se transpune într-un scop vital al IIoT și Industry 4.0.

În altă ordine de idei, un obstacol diferit se leagă de interfațare, comunicare, și de abilitatea de a implementa schimbări neinvazive asupra automatizării procesului.

Practic, abilitatea unui sistem de a reacționa după proceduri de conectare, colectare și procesare îl fac un sistem proactiv, care este capabil să aplice cea mai bună rețetă găsită.

La capătul subsecțiunii, se remarcă o contribuție a acesteia, prin care s-au adus la cunoștință procesele tipice care se petrec în cadrul unei STAP, juxtapunând și problemele definiției alăturate acestora, ambele seturi de informații fiind capitale în continuarea cercetării.

5.2. Descrierea algoritmului

Extinzând studiul din capitolul 3, unde a fost dezvoltat un historian elementar, cu costuri reduse, secțiunea în curs de inițiere contribuie cu etalarea, la nivel conceptual teoretic, a unui algoritm de analiză a datelor stocate, care identifică dependențele dintre o etichetă și alta, luată drept referință, stabilește măsura, gradul de dependență și expune tipare funcționale. Desigur, algoritmul în discuție se încadrează în primul nivel al arhitecturii de referință din secțiunea 4, susținând, în acest fel, eforturile direcționate spre obținerea proactivității.

În linia asumată, identificarea dependențelor dintre date constituie un proces de analizare a datelor stocate și descoperire a relațiilor și dependențelor dintre caracteristicile sau etichetele OPC UA care au valorile depozitate. În mod cert, acest proces este fundamental pentru dezvoltarea unei aplicații historian de tip proactiv, întrucât este necesar ca soluția software să înțeleagă modurile corecte de a reacționa și ajusta sistemul. Cu siguranță, pentru a ajusta parametrii de funcționare ai unui sistem tehnic este nevoie de o înțelegere a modului în care potențiala reglare impactează întregul sistem, adică restul parametrilor funcționali. De exemplu, dacă parametrul funcțional A este modificat de către aplicația Historian proactivă, aceasta trebuie să cunoască dacă parametrul B are vreo legătură sau dependență cu parametrul A. În caz contrar, lipsa informațiilor în ceea ce privește dependențele dintre date ar putea dirija spre posibilitatea ca aplicația Historian proactivă să aplice ajustări care fac sistemul tehnic instabil, ceea ce, în mod evident, nu este de dorit. Așadar, deși reprezintă numai primul pas, identificarea de dependențe între date este crucială pentru restul proceselor care vor urma, în interiorul oricărei aplicații historian de tip proactiv.

În concordanță cu problematica portretizată, algoritmul propus folosește o caracteristică pe post de referință și, începând de la evoluția valorilor măsurate ale referinței, determină dacă celelalte caracteristici sunt conectate în vreun fel de referință. În cazul în care algoritmul determină că valorile măsurate ale unei caracteristici sunt legate, în ceea ce privește evoluția în timp, de valorile măsurate ale referinței, acesta calculează, de asemenea, și gradul de impact în privința dependenței, cele două caracteristici putând fi foarte strâns legate sau, din contră, ar putea avea o influență foarte scăzută una asupra celeilalte.

Cu privire la intrarea algoritmului, aceasta recepționează un set de date asupra cărora va fi efectuată analiza. În mod distinct, acest set de date conține obligatoriu date istorice stocate, reprezentând valorile măsurate ale diferitelor caracteristici, cum ar fi presiunea apei, debitul apei, nivelurile din bazinul cu apă, energii, ore de funcționare sau consum de substanțe, toate acestea eșantionate la intervale diferite. Legat de acest aspect se face precizarea că, în realitate, în ciuda faptului că procesul de monitorizare înregistrează la un moment dat valorile tuturor caracteristicilor urmărite, echipamentele, la nivel individual, oferă aceeași valoare în momentul în care sunt interogate pentru un interval de timp care diferă de la caz la

caz. Mai departe, această situație face ca pasul de eșantionare real să nu fie, cu certitudine, același, însă, în analiză, pasul de eșantionare utilizat trebuie să fie, totuși, echivalent, motiv pentru care, în implementări practice ale algoritmului, datele de intrare vor fi pregătite înaintea analizei, o metodă la îndemână fiind calcularea unor medii, pe anumite intervale de timp, ale caracteristicilor măsurate. Astfel, prin tehnicile de pregătire a datelor se elimină impedimentul variației perioadei de eșantionare la stocarea datelor. Cu toate că datele de intrare pot să conțină, adițional, și date istorice de context, acestea nu influențează algoritmul în sine, fiind doar adăugate în setul de date pe care se face analiza. Auxiliar, algoritmul impune primirea, la apelare, și a indicației referitoare la caracteristica, dintre cele prezente în datele de intrare, care va fi folosită drept referință.

Pe de altă parte, ieșirea algoritmului returnează două bucăți de informație pentru fiecare caracteristică analizată în relație cu referință, denumite în continuare *Proportionalitatea și Cantitatea*.

Informația de *Proportionalitate* are trei valori posibile diferite: direct proporțional, invers proporțional sau nu sunt proporționale. Consecvent, acest barometru arată dacă eticheta analizată evoluează proporțional cu referința.

Informația de *Cantitate* este oferită de către algoritm sub forma unui procent, care indică în ce măsură evoluția valorilor măsurate ale caracteristicii este afectată de evoluția valorilor de referință. Firește, această relație de natură cantitativă este relevantă doar când valorile primei informații, *Proportionalitatea*, sunt fie direct proporțional, fie invers proporțional. Cu scopul de a facilita comprehensiunea informației de *Cantitate*, urmează câteva exemple edificatoare:

- Informația de *Cantitate* este 100% - indică un raport 1:1 între caracteristica analizată și referință, astfel încât, dacă valoarea de referință se schimbă cu 20%, atunci valoarea caracteristicii analizate se modifică, la rândul ei, tot cu 20%.
- Informația de *Cantitate* este 50% / 150% - dacă valoarea de referință se schimbă cu 20%, atunci valoarea caracteristicii analizate se modifică, după caz, cu 10% / 30%.

Fiind garantat faptul că o descriere de ordin literar a algoritmului însuși ar deveni obositoare de urmărit și, probabil, de nedeslușit, a fost aleasă calea ilustrării, prin intermediul unei scheme logice, a pașilor principali ai acestuia, în Figura 5.2, care s-a intenționat a fi pe cât posibil de auto-explicativă. Pentru aceasta, în Figura 5.2, plasată după acest paragraf, au fost incluse și explicațiile referitoare la semnificațiile abrevierilor folosite în schema logică. În plus, detalierea algoritmilor sub această formă favorizează posibile implementări practice în orice limbaj de programare, fiind astfel îmbunătățită disponibilitatea pentru refolosire a algoritmilor prezentați în această lucrare.

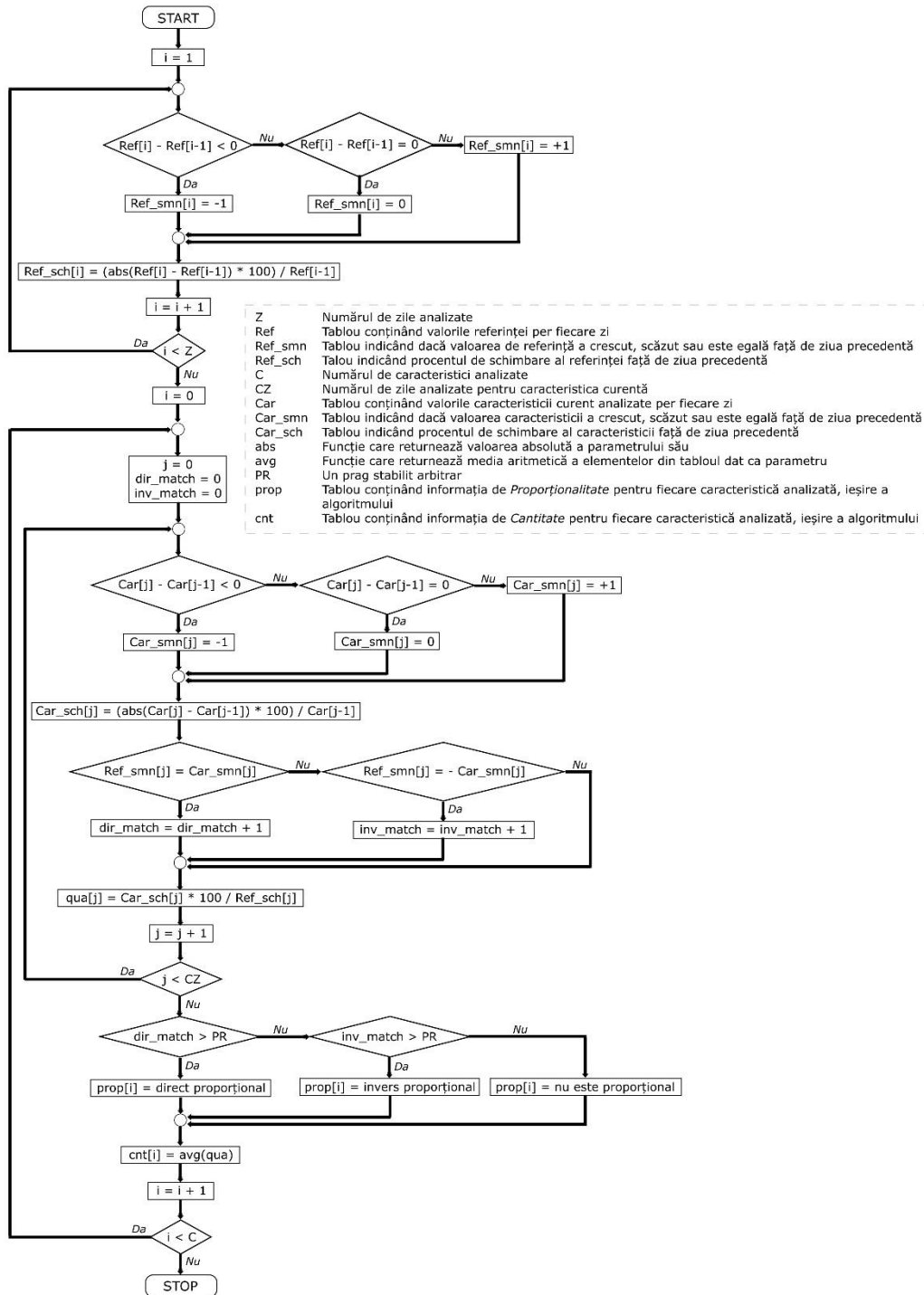


Figura 5.2. Pașii algoritmului de identificare a dependențelor dintre date

În urma examinării schemei logice se precizează faptul că referirile la termenul de "zi" din cadrul acesteia substituie, de fapt, sensul de lungime a unui pas de eșantionare, mai specific, intervalul de timp acoperit de o singură valoare a unei caracteristici. În mod justificativ s-a ales folosirea termenului în cauză pentru simplificarea schemei, care, oricum, prezintă un anumit nivel de complexitate, oportunitatea alegerii termenului fiind, cel puțin, discutabilă. Totuși, ziua a fost aleasă lungimea pasului de eșantionare într-unul dintre scenariile de test, așa că s-a preluat termenul și în timpul creionării schemei logice. În orice caz, algoritmul nu este influențat, sub nici o formă, de durata pasului de eșantionare.

Una dintre cele mai importante note distinctive ale algoritmului nominalizat este caracterul generic al acestuia, care apare ca o consecință datorată orientării procesului de analiză spre unul de tip numeric. Atâta timp cât analiza din cadrul algoritmului operează numeric, acesta rămâne independent față de semnificația valorilor primite la intrare, ceea ce îi conferă o aplicabilitate generală, nelimitată la particularitățile unei industrii sau proces tehnic.

În concluzie, subcapitolul de față pune la dispoziție conceptul minuțios al unui algoritm capabil să identifice dependențe și relații între diverse date stocate, participând, în acest fel, la sprijinirea implementării primului nivel al arhitecturii de referință pentru o soluție software de tip proactivă.

5.3. Integrarea algoritmului în aplicația Historian

Amplasat în succesiunea aducerii la capăt a elaborării, la stadiu conceptual, a unui algoritm pus în valoare pe filiera analizei și identificării dependențelor și a relațiilor dintre datele stocate, în subsecțiunea precedentă, subcapitolul curent redă implementarea practică a acestui algoritm, prin integrarea în aplicația Historian dezvoltată în capitolul 3. În mod natural, această activitate alcătuiește doar primul pas pe drumul transpunerii în realitate a unei soluții software complet autonome, capabilă să optimizeze diferite sisteme industriale.

Din perspectiva ingineriei software a fost dezvoltat un nou modul în aplicația Historian, al cărui punct central îl reprezintă implementarea practică, în limbajul Java, a algoritmului schițat în Figura 5.2. Complementar, în dezvoltarea modului este cuprinsă și crearea unor structuri de date specifice, cu ajutorul claselor și listelor implementate în Java, astfel încât să fie facilitată operarea algoritmului asupra datelor de intrare. Pe de altă parte, datele de intrare sunt alese de către utilizator și necesită procesare înainte de a fi livrate algoritmului pentru analiză, așa cum s-a accentuat și în subsecțiunea anterioară. În acest sens, noul modul include și preprocesarea datelor de intrare, procedeu care grupează diferite controale și verificări, alături de calcularea mediilor aritmetice per fiecare pas de eșantionare stabilit (de exemplu: zilnic sau orar), a tuturor caracteristicilor măsurate analizate. Urmărind eficientizarea operațiunilor, aplicația principală Java generează, dinamic, o interogare (query) SQL complexă, care returnează din baza de date direct valorile mediate, evitând, pe de-o parte, mutarea unei cantități foarte mari de date din baza de date în aplicația principală Java și, pe de altă parte, profitând de mecanismele avansate de procesare a datelor dintr-o bază de date, comparativ cu un program scris în Java. Desigur, după finalizarea preprocesării, datele de intrare sunt inserate în structurile de date specifice, care sunt utilizate, mai departe, de către algoritm. Chiar dacă arhitectura de referință prevede posibilitatea, în versiunea implementată a noului modul de analiză au fost considerate doar date istorice stocate, la intrare, fără a lua în considerare alte date externe, de context. Totuși, se reamintește faptul că modulul

prezent exprimă doar o parte a nivelului 1 din arhitectura de referință, nefiind pretinsă o implementare desăvârșită la acest stadiu de cercetare, mai degrabă intenționându-se, în acest punct, o testare și validare a rezultatelor teoretice din secțiunea 5.2.

În privința integrării funcționalității de analiză a datelor în interfața grafică cu utilizatorul a aplicației Historian, a fost adăugată o nouă filă, denumită *Analyzer*, Figura 5.3, de mai jos, elucidând asupra noutăților din interfață.

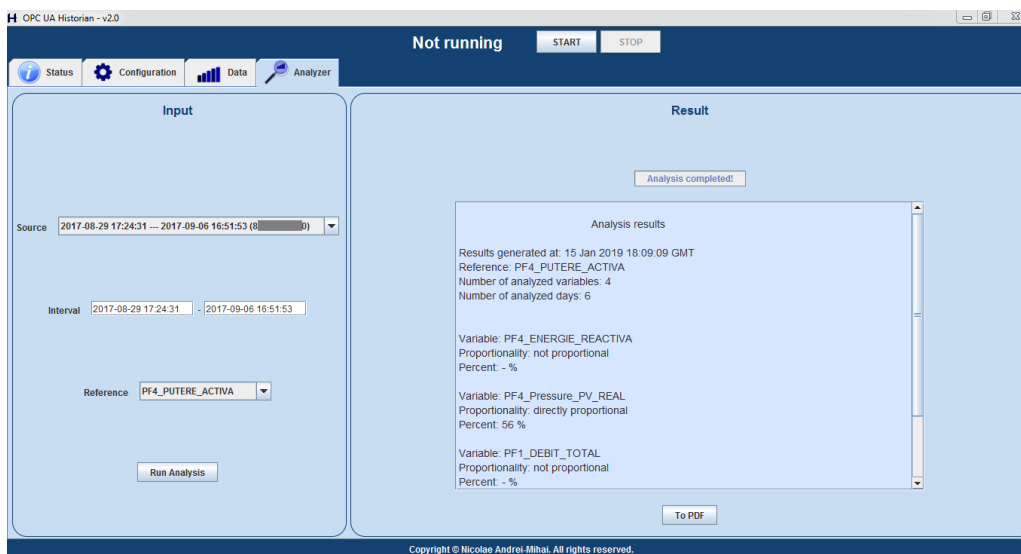


Figura 5.3. Integrarea funcționalității de analiză a datelor, oferită de către algoritm, în interfața grafică cu utilizatorul a aplicației Historian

În aceeași ordine de idei, conținutul noii file a fost divizat în două zone separate, respectiv *Input* și *Result*, prima dintre acestea permițând operatorului să aleagă datele de intrare care vor fi trimise algoritmului. Din nou, cu ajutorul controlului de tip drop-down denumit *Source*, utilizatorul poate alege tabela dorită pentru analiză din baza de date SQLite, informație necesară din cauza sistemului intern de organizare a datelor din aplicația Historian, în speță diviziunii datelor stocate în diferite tabele, având câte o tabelă per fiecare listă de variabile stocate. De asemenea în zona *Input*, controlul *Interval* oferă flexibilitate în alegerea unui subinterval de timp pe care se va concentra analiza din întregul interval disponibil în tabela aleasă la *Source*. La finalul configurării, controlul *Reference* lasă la latitudinea operatorului alegerea uneia dintre variabilele care au valori stocate în tabela selectată la *Source*, variabilă care va constitui referința pentru algoritm.

În opoziție, zona *Result* din noua filă afișează ieșirea (output) analizei algoritmului, prilej datorită căruia a fost implementată, în plus, și o funcționalitate de export, care construiește un document PDF conținând rezultatele anunțate în zona de text din interfața grafică cu utilizatorul. În acest mod se favorizează extracția ieșirii (output) algoritmului în afara aplicației Historian, dacă situația o reclamă. Având în vedere și o exemplificare, Figura 5.3 surprinde bilanțul înfățișat pe interfața grafică cu utilizatorul a aplicației Historian, după terminarea cu succes a unei analize efectuate pe date reale, care au fost colectate din industria apei de către aplicația Historian.

În cele din urmă se cuantifică faptul că se agreează a pune punct unei subsecțiuni care a reliefat mijloacele de implementare practică a rodurilor etapei de cercetare și dezvoltare teoretică din capitolul 5.2, prin intermediul alipirii unor suplimente soluției practice cu originea în capitolul terț al tezei, valorificându-se, în acest sens, flexibilitatea pusă la dispoziție de modularitatea implementării.

5.4. Scenariu de test

În mod firesc, după elaborarea unui nou concept teoretic, în secțiunea 5.2, și implementarea practică a acestui concept, în secțiunea 5.3, urmează, în subcapitolul actual, testarea în condiții reale, concluziile procesului de testare permițând stabilirea unui verdict referitor la validarea soluției discutate.

Primordial, dorind ca testele să aibă loc într-un mediu cât mai apropiat de destinația finală a aplicației Historian, s-a apelat, încă o dată, la parteneriatul cu compania locală de apă, care a autorizat asocierea soluției software obținută la finele subcapitolului 5.3 cu o instalație de apă potabilă constând în foraje de apă, instalații de tratare a apei potabile și de distribuție a acesteia. În continuare, structurile existente de control al procesului, în relație cu aplicația Historian testată, sunt schematizate în Figura 5.4 și explicate mai departe:

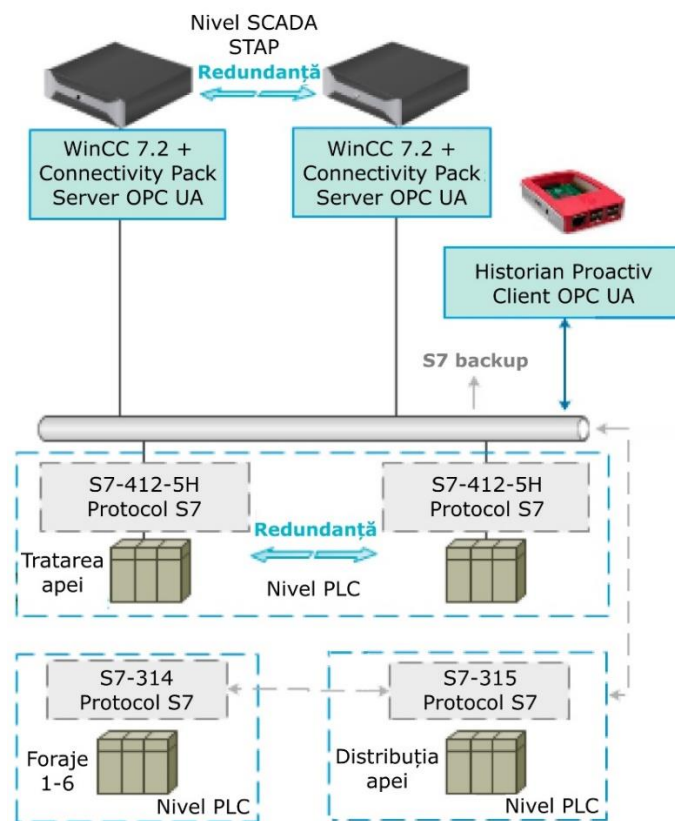


Figura 5.4. Aplicația Historian în relație cu structurile locale implicate în testare

- Toate PLC-urile tip S7-314 ale forajelor de apă au fost integrate în PLC-ul S7-315, responsabil de distribuția apei, folosind protocolul de comunicare S7. La fel, buclele de control bazate pe nivel și debit, care se ocupau de cererile automate de apă de la surse au fost implementate în S7-315. Adicional, bucle de control locale, bazate pe debit, au fost puse în funcțiune la fiecare PLC tip S7-314.
- Întregul proces de tratare a apei a fost ghidat de către două PLC-uri redundante tip S7-412-5H.
- PLC-ul S7-315, răspunzător de distribuția apei, și PLC-ul redundant responsabil de procesul de tratare a apei au fost incluse în sistemul SCADA bazat pe WinCC 7.2, care a constat în 2 servere redundante și 2 clienți. Dat fiind faptul că au fost configurate pachete de conectivitate la fiecare server, au fost disponibile servere OPC UA, asigurându-se astfel interoperabilitatea.
- Sistemul tehnic a interfațat aplicația Historian prin protocolul OPC UA pentru adunarea datelor. Mai mult, s-a beneficiat de o redundanță locală completă pentru structurile de control ale tratării apei, cu un nod S7 pregătit pentru interfațare de rezervă (backup), în cazul unei erori totale SCADA.

Pe lângă sistemul tehnic real amintit, din industria apei, platformele hardware și software au fost, la rândul lor, foarte importante în procesul de testare și validare a soluției. În această direcție s-a ținut cont de companiile de apă și integratori, care necesită o soluție orientată spre industrie, cu un cost scăzut și un nivel de pregătire tehnologică (technological readiness level) ridicat, pentru a favoriza o tranziție ușoară. În acest context s-a prelungit utilizarea, pe parcursul testelor, a hardware-ului Raspberry Pi 3 B, care dispune de un procesor Quad Core ARM Cortex-A53, pe 64 biți, la 1,2 GHz, 1 GB RAM, WiFi 802.11n, Bluetooth 4.1, Bluetooth LE, porturi USB, port Ethernet și card microSD. Fără îndoială, acesta este un produs foarte performant și foarte popular, existând deja la îndemână și carcase fizice dedicate, iar dimensiunile sale fizice reduse îl fac potrivit pentru mediile industriale. De asemenea este accesibilă o documentație cuprinzătoare și produsul se situează, de acum, la maturitatea care să îi asigure un nivel de pregătire tehnologică ridicat pentru integratori, ceea ce îl transformă în alegerea ideală pentru scopurile vizate de această cercetare. Din punct de vedere software, așa cum s-a dat de înțeles, a fost instalată pe platforma hardware versiunea 2.0 a aplicației Historian, care include și algoritmul de detectare a dependențelor dintre datele stocate.

Remarcând un prim rezultat preliminar al testării, încă din faza de instalare și configurare, se consideră că, deși nu posedă o semnificativitate ridicată, merită, totuși, menționat. Așadar, pe fondul efectuării testelor din secțiunea 3.4 de către echipa de cercetare, configurarea pentru executarea scenariilor din subcapitolul de față a marcat primul moment în care a fost posibilă evaluarea reacției operatorilor din industria apei față de interfața și utilizarea aplicației Historian, care s-au dovedit a fi foarte prietenoase și ușor de folosit de către aceștia.

Mai presus de orice, ajungând la executarea scenariului de test de interes, a fost alocată o perioadă inițială pentru acumularea de date, urmată de examinarea a multiple rulări ale algoritmului. În fapt, fiind integrat în aplicația Historian, algoritmul de identificare a dependențelor și relațiilor a fost testat cu succes pe diferite seturi de date din lumea reală, cu rezultate promițătoare, care ar putea oferi, treptat, diverse aplicabilități cu valoare adăugată în industria apei.

Bineînțeles, pentru a demonstra revendicările lansate, se adaugă, mai jos, o serie de diagrame, cu scopul oferirii de reprezentări grafice a unora dintre evoluțiile, în timp, a valorilor caracteristicii și referinței analizate, alături de ieșirea (output)

algoritmului, după finalizarea analizei. Din nou, se subliniază faptul că graficele au fost întocmite folosind date din lumea reală, colectate de către aplicația Historian.

În primul rând, Figura 5.5 prezintă un debit de ieșire al unei surse de apă și un consum general de energie al instalației de apă, în timp ce Figura 5.6 divulă date indicând valorile debitului de apă de la o sursă diferită și consumul de energie. Chiar dacă rezultatele analizei dependențelor datelor a identificat că ambele valori de debite de apă au fost direct proporționale cu consumul general de energie, informația de *Cantitate* oferă detalii importante în acest caz. Considerând, în ambele cazuri, debitul ca referință, algoritmul ne indică, nesurprinzător, faptul că există o influență directă a evoluției debitului de apă provenit de la surse asupra consumului total de energie al STAP. Cu toate acestea, informația de *Cantitate* se interpretează în sensul în care o creștere, în mod ipotetic, cu X% a debitului primei surse de apă produce, fără urmă de îndoială, o creștere a consumului total de energie, care ar fi, procentual, mai mică decât creșterea aceluiași consum, în cazul în care s-ar mări debitul provenit de la forajul secund cu aceeași valoare X%. În mod simplificat, sursa din Figura 5.5 necesită mai puțină energie pentru a-i fi tratată apa decât cea din Figura 5.6, ceea ce ne face să credem că prima sursă ar putea fi, cel puțin teoretic, prioritizată. Prin urmare, ambele imagini de interes pot fi consultate, succesiv, la sfârșitul acestui paragraf, ieșirea corespunzătoare a algoritmului fiind atașată fiecărui grafic.

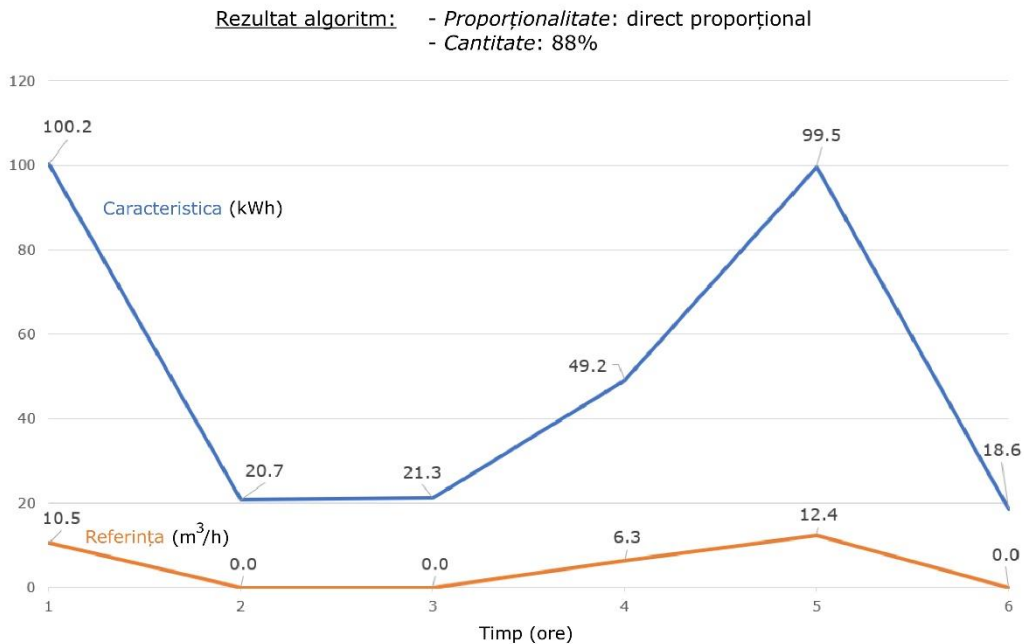


Figura 5.5. Reprezentarea grafică numărul 1 a evoluției valorilor în timp și rezultatele executării algoritmului

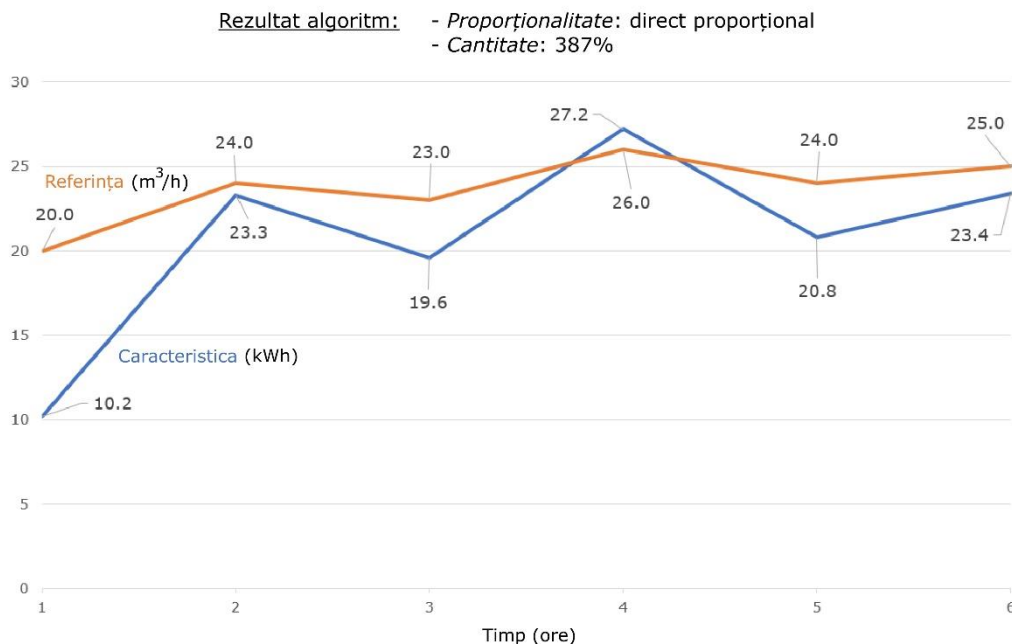


Figura 5.6. Reprezentarea grafică numărul 2 a evoluției valorilor în timp și rezultatele executării algoritmului

Dintr-un unghi diferit, un alt deznodământ al testelor este ilustrat în Figura 5.7, unde forajul cu numărul 1 a funcționat pe întreaga perioadă a desfășurării testului, iar forajul secund a pornit doar ocazional în acest interval. În aceste circumstanțe, Figura 5.7 trasează debitul sursei de apă cu numărul 2, ca referință, și turbiditatea generală a apei, adică turbiditatea apei amestecate, provenind de la ambele surse, înainte de a trece prin procesul de tratare, considerată pe postul caracteristicii analizate. Ieșirea algoritmului, invers proporțional, arată faptul că sursa 2 a avut un efect invers asupra turbidității, atunci când a fost comparată cu apa de la primul foraj, descoperire care susține eventualitatea ca sursa secundă să beneficieze de o apă cu valori semnificativ mai mici ale turbidității față de prima sursă, ceea ce ar deschide calea unei posibile eficientizări, prin avantajarea sursei care performează mai bine, reducând, în acest fel, curățarea și înlocuirea filtrelor.

În mod similar, datele analizate în Figura 5.8 reflectă debitul de ieșire al unei surse de apă, drept referință, și timpul total de funcționare al unui echipament diferit din stația de tratare, în locul caracteristicii investigate. Din cauză că algoritmul găsește aceste două valori ca nefiind legate, fără nici o influență sau relație în evoluția lor, înseamnă că folosirea respectivului foraj nu a influențat mentenanța echipamentului, nu a uzat sistemul tehnic mai rapid decât în mod obișnuit.

Indubitabil, pe durata supunerii soluției la scenariul de test, au fost evaluate numeroase caracteristici și referințe, de ordinul zecilor, fiecare dintre acestea fiind analizate în mai multe intervale de timp. În ciuda faptului că puține diagrame și-au croit drum în subsecțiunea actuală, relativ la numărul celor analizate, fiind oferite eminentemente cu titlu de exemplificare, acestea alcătuiesc mandatările unei acțiuni de testare stufoase, exhaustive.

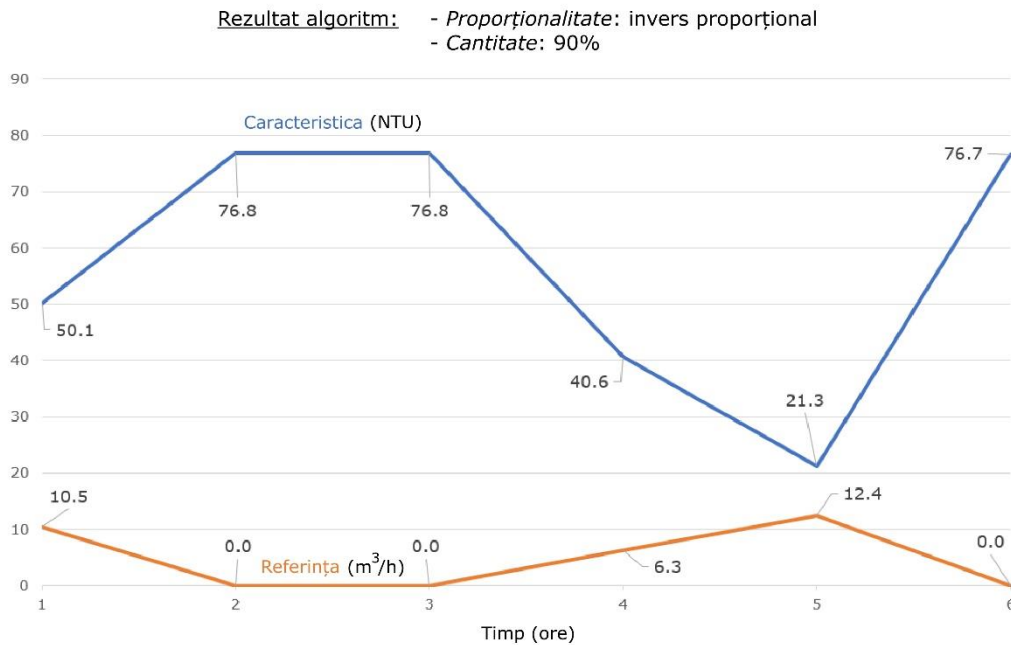


Figura 5.7. Reprezentarea grafică numărul 3 a evoluției valorilor în timp și rezultatele executării algoritmului

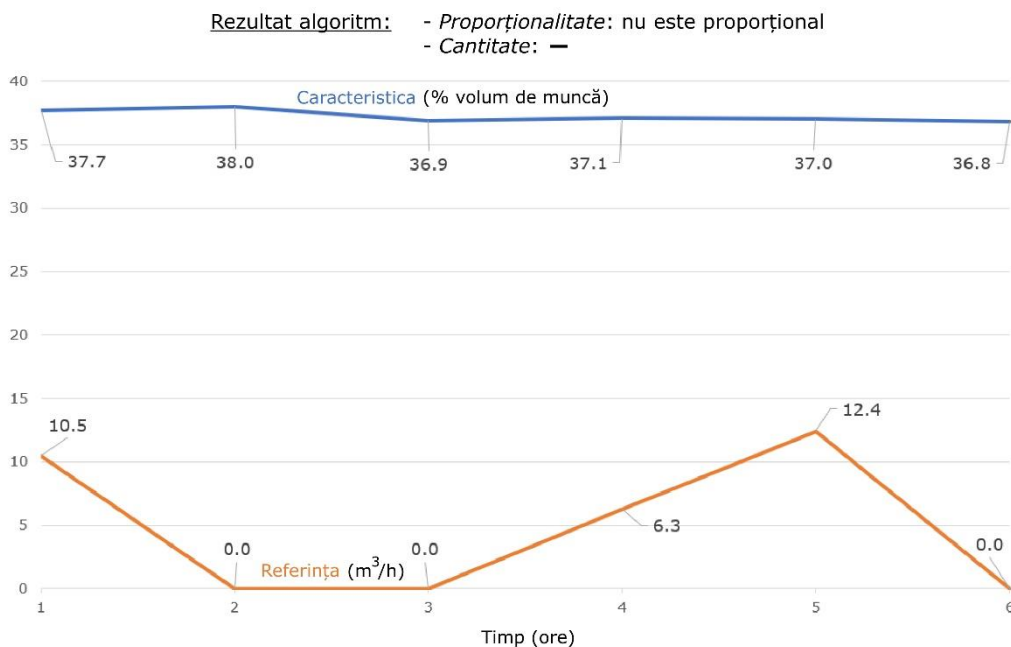


Figura 5.8. Reprezentarea grafică numărul 4 a evoluției valorilor în timp și rezultatele executării algoritmului

Ca urmare a interpretării ieșirii algoritmului de identificare a dependențelor în numeroase cazuri, ținute asupra unui număr însemnat de date de intrare diverse, se poate concluziona, cu certitudine, că algoritmul funcționează și identifică anumite relații și dependențe între datele stocate, majoritatea dintre acestea fiind plauzibile, la o apreciere sumară a datelor de intrare de către cercetători, întreprinsă prin prisma experienței în industria apei a echipei de cercetare. Totuși, stabilirea cu exactitate a corectitudinii și a preciziei, în special a informației de *Cantitate*, constituie o sarcină dificilă în lipsa unor date etalon, ceea ce face validarea soluției complicată în acest punct. Cu toate acestea, algoritmul dezvoltat poate fi, cu siguranță, validat la finalul capitolului următor, 6, unde rezultatele execuției algoritmului sunt folosite cu succes pentru a reduce consumul de energie, ceea ce implică faptul că algoritmul a furnizat, în situația respectivă, concluzii corecte, valide.

În același timp, pe parcursul examinării rezultatelor de la această testare s-a născut o idee de ramificare a cercetării, care, pe lângă validarea algoritmului în cauză, stârnește un interes deosebit din partea companiei de apă și poate oferi răspunsuri și experiență pentru implementarea următoarelor niveluri din arhitectura de referință. Dezvoltând ideea, îmbunătățiri ale proceselor unei STAP ar putea fi aduse, de exemplu, printr-un scenariu focalizat pe consumul de energie, în care, pentru o perioadă specifică, să fie folosită numai sursa de apă cu numărul 1. În acest interval, aplicația Historian poate înregistra și analiza consumul general de energie și debitul sursei de apă 1. După prima perioadă de test s-ar putea utiliza doar sursa de apă cu numărul 2, pentru aceeași întindere temporală. Desigur, procesul de test poate include funcționarea individuală sau concomitentă a multiple surse de apă și trebuie ca diferențele de debit să fie luate în considerare, în așa fel încât algoritmul să identifice dependența între debitul de apă al fiecărei surse și consumul general de energie. Comparând aceste dependențe, ar fi posibilă identificarea sursei de apă care generează costuri de energie minime. În practică, dacă algoritmul stabilește că sursele 1 și 2 sunt, ambele, direct proporționale cu consumul general de energie, dar sursa 2 influențează energia într-un grad mai scăzut, atunci ar trebui prioritizată sursa 2 în fața sursei 1, pentru a crește eficiența STAP. Fără îndoială, se observă că un rezultat de acest tip este dificil de distins în absența algoritmilor de identificare a dependențelor, din cauză atât a cantităților mari de date care sunt înregistrate, dar și din cauză că debitele de apă ale fiecărui foraj variază, în funcție de cererile curente din rețeaua de apă potabilă. De asemenea, multe alte etichete ale sistemului influențează costul general, anticipându-se o analiză complexă a datelor.

În consecință, subsecțiunea cu pricina a prezentat cadrul, uneltele și modul în care s-a efectuat testarea algoritmului propus pe parcursul capitolului 5, dezvoltând și o parte a rezultatelor survenite în urma acestui demers de testare. În contradicție cu imposibilitatea validării complete a soluției, exclusiv pe baza acestor rezultate, derivă, însă, ideea unui scenariu devenit posibil abia acum, când ne aflăm în posesia unei aplicații Historian cuprinzătoare a posibilității analizei dependențelor dintre datele stocate. În acest sens, ideea răsărită este explorată în secțiunea 6, nu doar datorită validării indubitabile a algoritmului, ci și a capacității descoperirii unor modalități de stabilire de priorități pentru sursele de apă, care să ajute la reducerea costurilor de tratare a apei, beneficiu livrabil direct în industrie, fără a mai aștepta încheierea tuturor ciclurilor de dezvoltare software. În aceste împrejurări, scopul scenariului de test se consideră atins și se suspendă analiza de natură generală asupra diverselor caracteristici din STAP pentru a lăsa locul unei orientări canalizate pe zona surselor de apă.

5.5. Concluzii

La o primă vedere, fiind repartizat dincolo de întemeierea apriorică a arhitecturii de referință software, din secțiunea 4, capitolul 5 îndrumă studiile spre direcția care ar genera primul nivel al arhitecturii, adică analiza datelor stocate și identificarea de diverse relații și dependențe între valorile diferitelor etichete monitorizate.

Astfel, pe drumul materializării în practică a nivelului inițial al arhitecturii de referință, capitolul 5 a fost deschis de radiografierea proceselor tipice care au loc într-o STAP, împreună cu enumerarea principalelor probleme estimate a fi conexe ariei de cercetare nominalizate. Mai apoi, s-a preconizat, la nivel conceptual, un algoritm software capabil atât de identificarea dependențelor dintre date, în conformitate cu o caracteristică de referință, cât și de asocierea gradelor de dependență dintre acestea. Pe aceeași linie, s-a rezumat, ulterior, implementarea practică a algoritmului, întrebuintând, pe post de platformă, aplicația Historian elementară construită în decursul capitolului 3. La fel de important, partea care pune capăt acestei etape de cercetare a adus în atenție testarea soluției într-un mediu industrial real din sectorul tratării apei potabile. În realitate, contribuția adusă de conceperea și implementarea algoritmului reprezintă o simplă variantă de concretizare a primului nivel din arhitectură, neavându-se, în nici un moment, pretenția considerării acesteia cea mai bună sau unică alternativă.

În mod interesant, deznodământul inițiativelor de sub faza actuală de cercetare conservă un caracter dual, pe baza rezultatelor bune obținute la aplicarea în industria apei. În această direcție, scenariul principal de test a constat într-o instalație de tratare a apei, care primește apă de la mai multe foraje și trimite apa tratată în rețeaua de distribuție, folosind o stație de pompare și rezervoare. De fapt, au fost culese cantități mari de date din întregul proces și mai multe dependențe au fost identificate. Cu fermitate, primele rezultate demonstrează eficiența identificării dependențelor dintre datele disponibile, prin considerarea energiei, a turbidității sau a timpului de funcționare a echipamentului. Revenind la cele două reflecții principale, pe de-o parte, scopul principal al ciclului de cercetare a fost atins, aflându-ne în situația în care dispunem de o soluție software înzestrată cu posibilități de analiză a datelor, testată cu succes într-un mediu industrial, aceasta păstrând încă o genericitate care îi permite tranziția ușoară spre orice altă industrie. Pe de altă parte, s-a pavorat drumul, datorită stadiului de dezvoltare al aplicației Historian, care deschide această oportunitate, pentru direcționarea studiilor într-o perspectivă a îmbunătățirii eficienței energetice, prin asocierea de indicatori de prioritate ai calității fiecărui foraj.

Dintr-un alt punct de vedere, poate fi scos în evidență faptul că validarea și confirmarea runde de cercetare țintite spre primul nivel al arhitecturii de referință, subiect pe care se sprijină capitolul acesta al lucrării, sunt susținute și de către publicarea articolului [231] într-un jurnal internațional de renume. În plus, articolul înglobează și conținutul secțiunii 4 a tezei.

În ultimul rând, distanțându-ne pentru o viziune de ansamblu, se remarcă faptul că secțiunea 5 circumscrie doar un pas esențial, absolut necesar, dar, de sine stătător, insuficient, din efortul concentrat pe dezvoltarea unei aplicații historian de tip autonom și proactiv, resimțindu-se cerința insistării, cu o serie întregă de cercetări, implementări și testări succesive viitoare, mare parte dintre acestea fiind abordate, mai departe, în cadrul doctoral de față.

6. REDUCEREA CONSUMULUI DE ENERGIE ÎN STAP

6.1. Detalierea instalației de apă țintite

În retrospectivă, etapa de cercetare precedentă s-a terminat cu dobândirea unei aplicații software care, în urma testării în industria apei, a revelat un potențial de cercetare în direcția optimizării sistemului tehnic supravegheat, prin raportare la consumul energetic. În mod concret, a fost distins oportunitatea utilizării, cu rol de unealtă, a aplicației Historian cu abilități de analiză a datelor, ajutorul acesteia contribuind la procurarea de rezultate care să permită, după aceea, cercetarea și elaborarea unei strategii de optimizare.

Desigur, există mai multe motive care pledează direcționarea studiului spre această strategie de optimizare, cele mai importante fiind, pe de-o parte, interesul crescut pentru reducerea consumului instalației din partea companiei de apă proprietară a echipamentelor asupra cărora a fost efectuată testarea din subcapitolul 5.4, interes care facilitează testarea și validarea practică a posibilei soluții cercetate, și, pe de altă parte, mecanismele de identificare și dezvoltare a soluției vor furniza informații prețioase în vederea construirii unei aplicații software proactive, capabilă să ajungă la rezultate similare, în mod autonom, neasistat.

În acest context, chiar dacă faza de cercetare prezentată în secțiunea 6 deviază ușor de la cursul stabilit, marcând o ieșire în afara sferei de dezvoltare a aplicației software proactive, această ramificare este exclusiv temporară. De asemenea, etapa de cercetare în cauză se încadrează, fără dubii, în tematica asumată a tezei, a uneltelor și strategiilor IIoT pentru creșterea inteligenței soluțiilor din industria apei.

În altă ordine de idei, capitolul curent propune o soluție de decizie și control, plasată în zona de Fog Computing, care reduce consumul de energie într-un proces de tratare și distribuție a apei potabile, recurgând la concepte bazate pe IIoT, cum ar fi interoperabilitatea sau modificarea neinvazivă a sistemelor de control locale, în urma identificării de rețete, după o analiză a dependențelor dintre date, desfășurată pe termen lung. În continuare, se va face referire la soluția de decizie și control dezvoltată pe parcursul acestui capitol prin intermediul acronimului SDC.

Mai presus de orice, realitatea aflată în centrul studiului și dezvoltării SDC o reprezintă faptul că sursele de apă au caracteristici diferite, în special în ceea ce privește capacitatea de debit și calitatea apei. În plus, aceste caracteristici nu sunt stabile, ele se schimbă în timp. Dată fiind garanția că se ține seama de vasta experiență în domeniul apei a echipei de cercetare, membrii acesteia analizând, în detaliu, peste 50 de instalații de apă potabilă, în decursul anilor, se poate afirma că indicatorii de calitate ai apei provenite de la surse nu au fost luați în considerare, până acum, de nici o soluție de automatizare implementată. În ciuda acestei situații, indicatori ai calității surselor de apă pot fi identificați și, ulterior, adaptați, prin monitorizarea parametrilor în interiorul unei instalații de apă potabilă, de interes fiind clorul rezidual, orele de funcționare ale suflantelor, ciclurile de spălare ale filtrelor, stările forajelor și anumite debite. Prin urmare, beneficiind de indicatori de calitate ai surselor de apă adecvați și distribuție cu punct de referință (setpoint) variabil al

debitului, consumul de energie și substanțe poate fi redus. Oricum, în tot acest demers nu trebuie neglijată o altă variabilă de cost, și anume orele de funcționare ale echipamentului și numărul de porniri ale acestuia, deoarece mentenanța și înlocuirea este costisitoare, iar o eventuală creștere a frecvenței acestor operațiuni ar putea anula întreg efortul de optimizare a costurilor.

În mod asemănător cu subsecțiunea 5.1, care s-a interesat de o STAP tipică, însă neintenționând, în nici un caz, a repeta ideile, subsecțiunea de față detaliază, de o manieră specifică, instalația de apă potabilă țintită de cercetarea SDC în curs, accentuându-se, în același timp, structurile de control folosite în interiorul acesteia. Astfel, procesul funcțional real al instalației de apă potabilă țintă, în ansamblu, este surprins în Figura 6.1, extrasă direct din software-ul SCADA al companiei de apă, IGSS v14.00 – Schneider Electric, și tradusă. De fapt, toate imaginile oferite în această subsecțiune sunt prelevate din aplicația amintită, situată în camera de control regională a companiei de apă. Bineînțeles, se observă faptul că întreaga instalație constă în surse de apă, STAP și instalație de distribuție a apei. Primordial, sursele de apă iau forma unor foraje, fiecare dintre acestea având două bucle de control locale, în regimul automat, care ghidează pomparea apei. În particular, bucla de control locală principală este bazată pe debit, iar cea secundară, utilizată doar ca structură redundantă, se rezumă la nivel. La fel, punctele de referință (setpoints) au valori fixe, setate de către operatori. Deși instalația țintită conține șase foraje, numai patru dintre acestea, și anume cele ilustrate în Figura 6.1, s-au regăsite funcționând în regim automat pe parcursul perioadei de analiză.

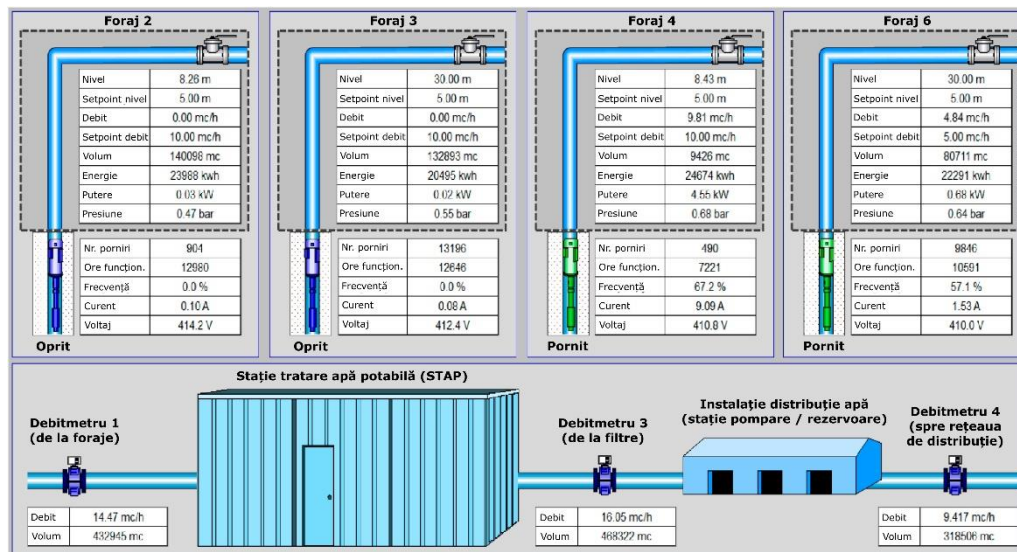


Figura 6.1. Instalația de apă potabilă țintită, în ansamblu

Urmându-și cursul, apa provenită de la foraje curge în STAP, unde este tratată în conformitate cu procesul redat în Figura 6.2. În mod firesc, fazele tratării apei și problemele care se întâmplă la instalația țintă sunt identice cu cele prezentate în subcapitolul 5.1, motiv pentru care se apreciază a nu mai fi potrivită o reînșurire a acestora, recomandându-se în schimb, în eventualitatea în care este necesară, o reconsultare a secțiunii 5.1 a tezei. Totuși, singurele particularități legate de stația

exemplificată, care merită menționate, sunt numărul de filtre, patru pentru nisip și două de cărbune, dimensionate pentru o populație deservită de aproximativ 8000 de locuitori și aspecte legate de stația de clorinare, care implementează măsurarea clorului rezidual și dispune de multiple puncte de injectare a clorului.

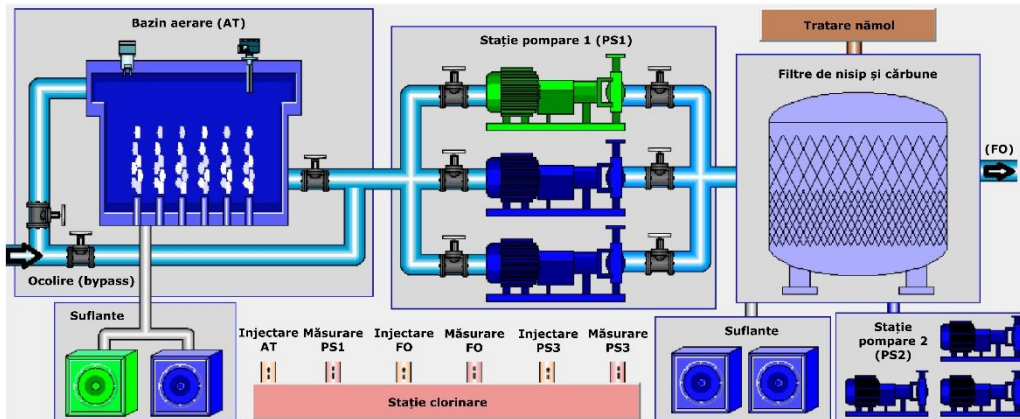


Figura 6.2. STAP din instalația de apă țintită

În succesiune, apa tratată, după filtrare, este preluată de instalația de distribuție a apei. În general, o asemenea zonă de distribuție cuprinde o stație de pompare, supape electrice și rezervoare. În mod specific, Figura 6.3, care urmează în continuare, concentrează echipamentele din instalația de distribuție a apei avută în vizor, așa cum se revăd în aplicația IGSS.

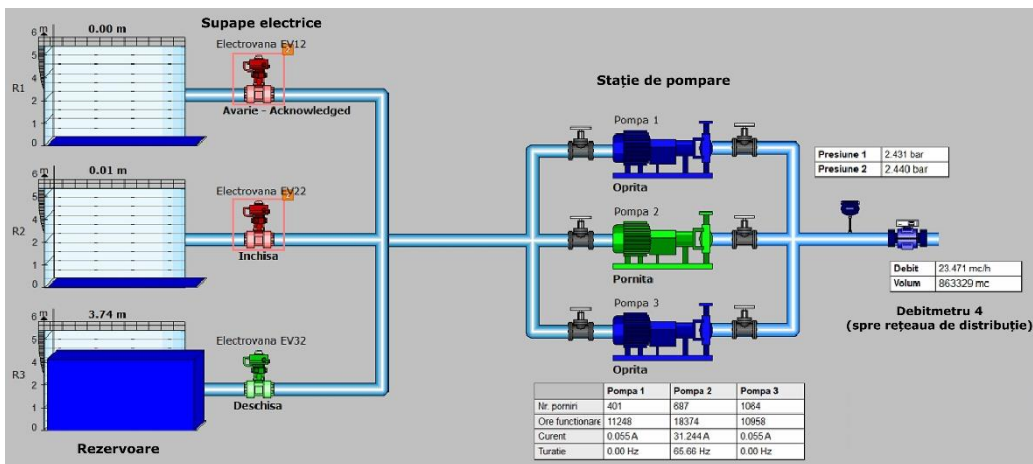


Figura 6.3. Partea de distribuție a apei din instalația țintită

Datorită consultării capturii de mai sus, se ia la cunoștință faptul că stația de pompare din studiul curent numără trei rezervoare și trei pompe cu convertoare de frecvență, iar tipul principal de algoritmi de control implementați pentru distribuția și solicitarea apei sunt clasificați mai departe:

- O buclă de control bazată pe presiune, pentru distribuția apei și rotirea pompelor, dependent de orele de funcționare.
- O buclă de control primară, bazată pe nivel, care menține nivelul din rezervoare în interiorul limitelor histeresis. În acest sens, dacă nivelul din rezervoare scade se solicită apă de la surse.
- O buclă de control secundară, bazată pe debit, care este folosită pentru anticiparea cererilor mari de apă în rețeaua de distribuție, la ore critice. În speță, considerând Figura 6.1, valorile debitmetrelor 4 și 1 sunt comparate și, în cazul în care diferența depășește un anumit prag, atunci se solicită apă de la surse. Pe lângă aceasta, bucla secundară de control, cea bazată pe debit, este mult mai rapidă decât prima. Cu toate acestea, ambele bucle de control care solicită apă selectează sursele având în vedere orele de funcționare ale echipamentului, pe când ar trebui, ideal, să introducă în ecuație și pierderile de apă, alături de timpul petrecut în interiorul STAP.

Din punct de vedere al arhitecturilor SCADA întâlnite în instalația vizată, sursele de apă sunt echipate cu PLC-uri, funcționând fie în conexiune directă cu camera de control SCADA din STAP, fie integrate în PLC-ul din instalația de distribuție a apei, interfațând prin protocolul S7. În opoziție, se deschide o paranteză în discuție, referitoare la unele soluții întâlnite, când sursele de apă sunt integrate direct în sistemul SCADA al STAP și nu se solicită apă de la surse orientându-se după nivelurile din rezervoarele instalației de distribuție a apei sau informațiile de debit. În această situație, sursele de apă sunt activate fie de nivelul din bazinul de aerare, fie de creșterea presiunii locale datorată închiderii unei valve de intrare în STAP. Din păcate, aceste tehnologii mai vechi nu fac obiectul SDC, cu toate că rata de reducere a consumului de energie ar fi semnificativ mai mare, deoarece sistemul moștenit duce lipsa unor strategii de control mai evoluate. În paralel, urmărind și închiderea parantezei din discurs, se constată că soluțiile mai noi de automatizare a STAP sunt implementate în jurul PLC-urilor redundante, de obicei, PLC-ul instalației de distribuție a apei fiind integrat în sistemul SCADA al STAP, care centralizează, în mare parte, servere redundante. Prin revenire la cazul nostru concret, STAP din instalația țintită este automatizată folosind două PLC-uri redundante de tip S7-400 H, alături de software SCADA de tip WinCC 7.2, cu Connectivity Pack, distribuit pe două servere redundante și dispunând de doi clienți, în acest fel fiind integrată, în totalitate, instalația de apă potabilă.

Comparativ cu importanța sporită a structurilor de control, parametrii electrici ai instalației de apă țintite sunt, la rândul lor, indispensabili pentru cercetarea în cauză. În această direcție, instalația are la dispoziție două linii de înaltă tensiune redundante, un exemplu al valorilor principale ale parametrilor electrici monitorizați în timp real (energie, putere, curent, voltaj) fiind adăugat în Figura 6.4, de asemenea, cu originea în aplicația IGSS. Dintre acestea, o însemnătate primară în conceptul SDC o păstrează energiile preluate de la automatizarea STAP (MCC), de la instalația de distribuție a apei (PS3), panoul intern de servicii și consumul total STAP împreună cu instalația de distribuție a apei.

Linie înaltă tensiune 1				Linie înaltă tensiune 2	
Energie activă	438967 kwh			Energie activă	4242 kwh
Energie reactivă	67474 kVArh			Energie reactivă	1202 kVArh
U _{eq}	407.52 V	Energie totală (instalație)	443209 kwh	U _{eq}	407.73 V
I _{eq}	88.70 A	Energie totală (MCC)	130980 kwh	I _{eq}	0.00 A
P _{eq}	20.8 kW	Energie totală (PS3)	26888 kwh	P _{eq}	0.0 kW
Q _{eq}	1.3 kVAr	Energie totală(servicii interne)	131092 kwh	Q _{eq}	0.0 kVAr

Figura 6.4. Parametrii electrici ai instalației țintite

În final, subcapitolul care se încheie a inventariat atât împrejurările, cât și tematica și motivația care, reunite, fundamentează faza de cercetare elogiată de secțiunea 6, în partea a doua descriind, cu accent pe structurile de control preexistente, instalația de apă potabilă în care s-a formulat și testat SDC.

6.2. Soluția cercetată și implementată

Corespunzător cu inițierea acestei noi subsecțiuni se reamintește opinia conform căreia creșterea eficienței costurilor într-o instalație de apă potabilă este echivalentă cu reducerea consumului de energie și substanțe, concomitent cu o creștere a productivității și a disponibilității. Cu scopul de a atinge dezideratele semnalate, cea mai bună rețetă trebuie concluzionată, în privința unui obiectiv de cost, prin mijloace survenite în urma analizei datelor și a dependențelor, pe termen lung, și considerând un număr însemnat de etichete (tags) din proces, chiar și de ordinul miilor. Desigur, rețeta găsită necesită testare preliminară pe modele ale procesului și, abia după aceea, poate să fie implementată, în varianta rafinată și validată, în manieră neinvazivă, în practică, în zona de Fog Computing a sistemelor reale. Astfel, pe parcursul acestui subcapitol se va prezenta cercetarea și implementarea practică, în instalația de apă amintită în subsecțiunea precedentă, a unei soluții neinvazive, care, prin evaluarea atentă a surselor de apă, în particular, a forajelor, își propune o utilizare mai eficientă a acestora, care să conducă, în final, la o scădere a consumului energetic și, implicit, a costurilor asociate proceselor de tratare și distribuție a apei potabile. Oricum, implicațiile unei reduceri a consumului energetic trec dincolo de aspectul financiar, posedând unele ramificații spre zona ecologică sau chiar de reducere a poluării, dependent de natura procesului de producție a energiei electrice consumate.

Contemplând o perspectivă divergentă, soluția SDC concepută reclamă o interfațare cu sistemele locale, având nevoie, pe de-o parte, să vehiculeze date și, pe de altă parte, să reacționeze neinvaziv asupra automatizării procesului, prin aplicarea celei mai bune rețete întâlnite. În acest cadru, opțiunea disponibilă de interfațare cu sistemul SCADA local din STAP este, de obicei, OPC UA și, câteodată, mai vechiul OPC Classic. În circumstanța în care instalația de apă potabilă și sursele de apă sunt integrate total în sistemul SCADA al STAP, atunci comunicarea principală cu structurile locale va fi efectuată prin intermediul serverelor SCADA redundante. În orice caz, SDC este, de asemenea, pregătită și pentru interoperare cu PLC-urile locale, ceea ce exprimă, în majoritatea timpului, disponibilitate a protocoalelor moștenite. Totuși, când este prezentă o structură SCADA redundantă, liniile de comunicare directă cu PLC-urile sunt implementate ca și structuri de rezervă (backup), fiind folosite doar în momentele în care serverele SCADA se află în mentenanță sau comunicarea OPC UA nu funcționează, adică, în principal, probleme cu serverul OPC UA pe partea SCADA.

Datorită urmării atât a unei conexiuni semnificative cu industria, cât și a unui nivel de pregătire tehnologică (technological readiness level) ridicat, împreună cu abilitățile Fog Computing, mediile hardware și software utilizate pentru SDC au fost similare cu cele din studiul [87]. În speranța clarificării exacte a locului de intervenție, în prelungirea paragrafului se introduce Figura 6.5, care dezvăluie soluția SDC, bazată pe Fog Computing, în relație directă cu o infrastructură de apă potabilă locală tipică, pe diverse protocoale. La fel de important, reprezentarea grafică are rolul de a evidenția plasarea, la nivel conceptual, a soluției SDC, relativ la arhitectura tipică deja prezentă într-o instalația reală. Mai mult, serverul OPC UA configurat și dedicat soluției SDC permite integrarea sa în centrul de control SCADA regional, facilitând, în acest mod, supravegherea de la distanță a operațiunilor. Adicional, se face precizarea conform căreia, în afară de partea SCADA a STAP, OPC UA ar putea fi întâlnit, teoretic, și la nivel PLC, în mod direct sau folosind înfășurătoare (wrappers) ori diverși intermediari (gateways), bazați pe OPC UA, de o manieră asemănătoare cu dezvoltările întreprinse în cercetările [88] și [89].

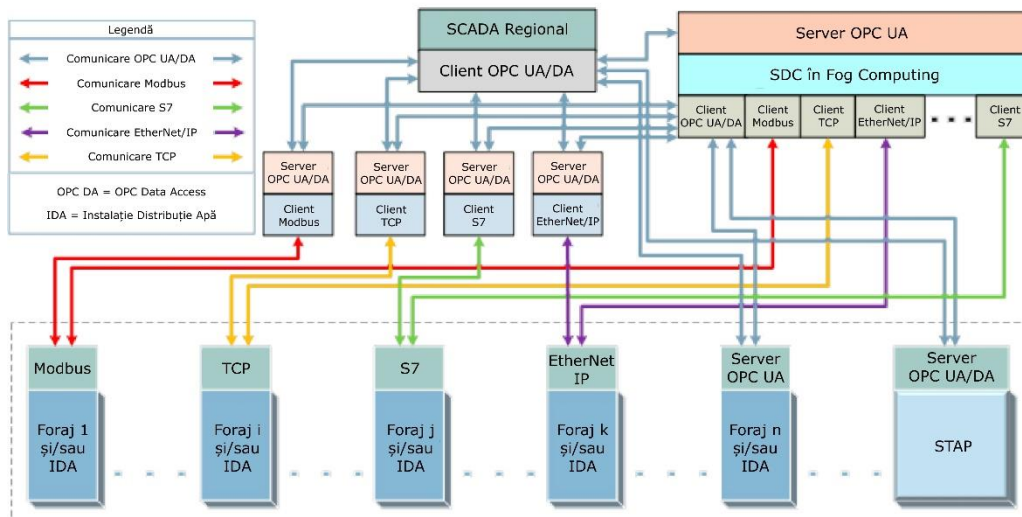


Figura 6.5. Soluția SDC interfațând cu o instalație de apă potabilă tipică și cu centrul de control SCADA regional

Comparativ cu Figura 6.5, în care este considerat un orizont mai general, este plasată, în succesiune, Figura 6.6, care, spre deosebire de prima ilustrare, ne oferă poziționarea exactă a soluției SDC în relație cu instalația țintă.

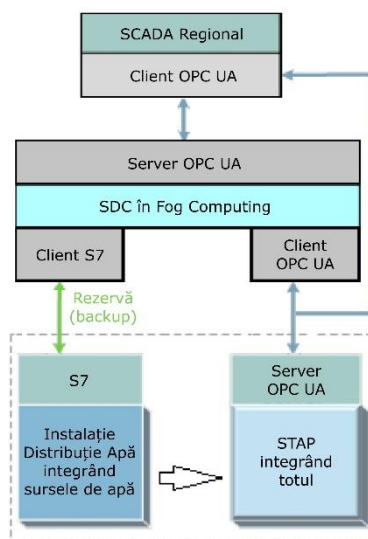


Figura 6.6. Soluția SDC integrată în instalația țintită

Așadar, ulterior unei perioade apreciabile de timp, destinată acumulării de date și analizei dependențelor dintre acestea, activități îndeplinite cu ajutorul aplicației Historian, mai exact versiunea de la nivelul de dezvoltare atins la finele secțiunii 5, au fost identificați indicatori de calitate pentru sursele de apă ale instalației țintite. Așa cum poate fi intuit, acești indicatori de calitate au fost apreciați, pe durata etapei de cercetare în care ne situăm, în relație cu consumul de energie total al instalației, alcătuit atât din consumul pentru tratarea, cât și din cel pentru distribuția apei. În mod tradițional, odată cu punerea în funcțiune a unui nou foraj se întocmește o fișă tehnică, în care este inclusă, printre altele, și calitatea apei furnizate de respectivul foraj, prin măsurarea a diverși indicatori. În mod ideal, având acces la fișele tehnice, ar putea fi cercetată o modalitate în care să fie concentrați toți acești parametri mășurați într-unul singur, pentru fiecare sursă de apă în parte. Chiar și așa, dificultatea unei asemenea abordări constă în cântărirea influenței fiecărui parametru în consumul de energie, ceea ce ar putea să nu fie trivial pentru anumite caracteristici măsurate. Cu toate acestea, în cercetarea asupra instalației tehnice nu s-a beneficiat de fișele tehnice ale forajelor, motiv pentru care această direcție a fost abandonată din start. Oricum, în pofida scăderii calității apei unui foraj, certă odată cu trecerea timpului sau bruscă, în eventualitatea apariției fenomenului de poluare, procedura desfășurată inițial pentru măsurarea calității este foarte dificil de repetat din cauza necesității preluării unor noi eșantioane de apă. Așa că, în aproape toate situațiile, nu se mai repetă procedura, decât în cazul unor intervenții majore sau reabilitări ale forajului. În locul acestor metode, cercetarea curentă a determinat indicatorii de calitate prin colaborarea cu aplicația Historian, procesarea și analizarea datelor admitând contabilizarea modificării indicatorului de calitate, în timp, în oarecare măsură fiind capabilă de a înlocui procedura clasică, tradițională. Consecvent, un exemplu îl reprezintă identificarea, prin mijloace de analiză a dependențelor, a unei influențe negative asupra consumurilor de energie sau substanțe, pe o perioadă mai lungă de timp, atunci când se află în funcțiune un anumit foraj, raportat la celelalte foraje în funcțiune, moment în care se poate presupune că forajul în cauză are un indicator de calitate mai mic. În același fel, operatorii locali observă, câteodată, după

perioade de timp de ordinul anilor, că anumite surse de apă ar putea să fie mai bune din punct de vedere al consumurilor decât celelalte, experiența acestora, care nu se poate pretinde că este completă prin prisma considerării tuturor relațiilor, de altfel, relații dificil de urmărit de operatori umani, aflându-se la baza unor sugestii de optimizare din partea acestora. Prin utilizarea aplicației Historian, cu modulul de analiză și identificare a dependențelor dintre date, operând pe eșantioane suficient de mari de date, este posibilă replicarea sugestiilor bazate pe experiență, prin suportul aplicației software. Reamintind tipul de informație oferit de algoritmul de analiză a dependențelor, evidențiat în subsecțiunea 5.2, este clar aspectul conform căruia transformarea acestui tip de informații în indicatori numerici de calitate, asociați fiecărui foraj, a implicat un efort laborios din partea membrilor echipei de cercetare, procedeul nefiind automatizat la acest punct al studiului, încă pretinzând o contribuție umană.

Mergând mai departe, după asocierea unor indicatori de calitate pentru surse, adică q_f din formula (3) de mai jos, soluția SDC trebuie să stabilească priorități și puncte de referință (setpoint references) ale debitului pentru fiecare sursă de apă în parte. În acest sens, ținând cont de strategiile de control descrise în subsecțiunea 6.1, SDC propusă este etichetată drept completă abia atunci când reacția asupra sistemului local analizat este realizată atât bazat pe reperele de prioritate ale surselor, cât și pe punctele de referință (setpoints) ale debitului forajelor.

În primul rând, câte o prioritate a fost stabilită pentru fiecare sursă de apă, în epilogul unei demers de analiză a procesului local. De fapt, prioritatea contribuie, pe de-o parte, la sortarea surselor în funcție de calitatea apei furnizate și de orele de funcționare, iar, pe de altă parte, influențează punctul de referință (setpoint) al debitului, care va fi transmis buclei de control locale bazată pe debit a forajului. Prin urmare, puncte de referință (setpoints) variabile ale debitului pot înlocui valorile fixe existente înainte de implementarea SDC. În plus, ordinea de pornire a forajelor și frecvențele de funcționare vor fi sortate descendent, de la cea mai înaltă, la cea mai scăzută prioritate din grup. În mod concret, prioritatea (P_f) unei surse de apă a fost calculată cu formula:

$$P_f = \alpha \cdot PH_f + \beta \cdot PQ_f \quad (1)$$

unde:

- PH_f este indicatorul de prioritate care consideră numărul orelor de funcționare ale forajelor
- $PH_f \in [0 \dots 10]$
- PQ_f este indicatorul de prioritate care consideră calitatea apei forajelor
- $PQ_f \in [0 \dots 10]$
- α este coeficientul de ponderare al lui PH_f
- $\alpha \in [0 \dots 1-\beta]$
- β este coeficientul de ponderare al lui PQ_f
- $\beta \in [0 \dots 1-\alpha]$
- Următoarea egalitate este validă: $\alpha + \beta = 1$
- $P_f \in [0 \dots 10]$

Indicatorul de prioritate în funcție de numărul orelor de funcționare ale unui foraj (PH_f) este normalizat în domeniul $[0 \dots 10]$ prin următoarea relație:

$$PH_f = 10 - h_f \cdot \frac{10}{\max(h_1, \dots, h_n)} \quad (2)$$

unde:

- h_f indică numărul orelor de funcționare ale surselor
- n este numărul de foraje.

De exemplu, pentru 6 foraje cu $h_f = [2 \ 7 \ 9 \ 8 \ 3 \ 5]$ avem $\max(h_1, \dots, h_n) = 9$ și, prin urmare, conform formulei (2), rezultă că $PH_f = [7.78 \ 2.23 \ 0 \ 1.12 \ 6.67 \ 3.34]$.

În partea cealaltă a relației (1), indicatorul de prioritate în funcție de calitatea apei (PQ_f) este normalizat în domeniul $[0 \dots 10]$ prin relația de mai jos:

$$PQ_f = q_f \cdot \frac{10}{\max(q_1, \dots, q_n)} \quad (3)$$

unde q_f este indicatorul calității apei din foraj.

În al doilea rând, posedând deja prioritățile generale ale fiecărei surse de apă, calculate cu ajutorul formulei (1), atenția se îndreaptă acum spre controlul punctului de referință (setpoint) al debitului, care, pentru fiecare foraj, pe rând, s-a calculat cu formula:

$$F_{w_f} = F_{f_min} + \gamma \cdot (F_{f_max} - F_{f_min}) \cdot \frac{PQ_f}{10} \quad (4)$$

unde:

- F_{w_f} indică punctul de referință (setpoint) al debitului sursei
- F_{f_min} indică debitul minim al sursei
- F_{f_max} indică debitul maxim al sursei
- γ indică un coeficient de ponderare care a trebuit să fie determinat pe cale experimentală
- $\gamma \in [0 \dots 1]$

Legat de relația (4) se impun câteva observații, după cum urmează. Astfel, valoarea F_{w_f} pentru un foraj va fi determinată întotdeauna considerând debitul minim și coeficientul de ponderare, care ia în calcul și prioritatea în funcție de calitatea apei forajului. Practic, prin intermediul coeficientului γ se poate controla ponderea indicelui priorității de calitate în referința de debit a forajului. Deci, dacă $PQ_f = 10$, atunci, pentru $\gamma = 0$, rezultă $F_{w_f} = F_{f_min}$ și, pentru $\gamma = 1$, rezultă $F_{w_f} = F_{f_max}$. Din nou, se concluzionează că punctul de referință (setpoint) al debitului poate fi controlat folosind γ și influența indicatorului de prioritate bazat pe calitatea apei (PQ_f), două care adaugă o anumită valoare peste debitul minim al forajului. Cu scopul oferirii unei exemplificări, în cazul în care $\gamma = 1$ și $PQ_f = 6$, iar $F_{f_min} = 10 \text{ m}^3/\text{h}$, respectiv $F_{f_max} = 30 \text{ m}^3/\text{h}$, atunci, conform relației (4) de mai sus, punctul maxim de referință (setpoint) al debitului pentru această sursă de apă este $F_{w_f} = 22 \text{ m}^3/\text{h}$. Referindu-ne strict la instalația de apă țintită, valoarea lui γ a fost setată la 1 pe tot parcursul cercetării, acest coeficient posedând o importanță mai mare pentru eventuale viitoare cercetări și extinderi ale studiului de față.

În aceeași ordine de idei, profitând de formulele (1) și (4), aplicate pentru fiecare sursă de apă disponibilă, s-a obținut atât un indicator de prioritate, cât și un

debit de referință pentru fiecare foraj, ceea ce a încuviințat, la acest moment, cercetarea și implementarea algoritmului de decizie și control din SDC. Firește, acesta distinge un scenariu în care nivelul apei din rezervoarele de distribuție este sub limita minimă de histeresis. În acest caz, debitul total solicitat de la foraje ($F_{t,r}$) este crescut, însă fără a depăși limitele capacității de tratare a apei din STAP, până când nivelul din rezervoare atinge restricția histeresis superioară. În mod clar, debitul total solicitat de la foraje variază în funcție de cerințele de consum din rețea, de la populație. Pe aceeași orientare, a fost nevoie de introducerea unui integrator, pentru asigurarea creșterii debitului de referință, odată cu trecerea timpului, dacă nivelul apei din bazin nu atinge limita maximă. În finalul paragrafului, formula (5) elucidează asupra modului de calcul al debitului total solicitat de la surse, constanta de timp (T_{int}) a integratorului fiind dedusă, prin simulări și verificări în Matlab-Simulink, la valoarea de 100 secunde:

$$F_{t,r} = \text{debit_ieșire_instalație_distribuție} \cdot \frac{1}{T_{int} \cdot s} \quad (5)$$

Din păcate, datele referitoare la nivelul apei din bazine sunt afectate de fenomenul de zgomot al aparatelor de măsurare, influențând în mod negativ comportamentul structurii de control a SDC. Din această cauză, s-a implementat un filtru trece-jos (low-pass filter) cu o constantă de filtrare de 100 secunde:

$$H_{\text{filtru_date_nivel}}(s) = \frac{1}{100s + 1} \quad (6)$$

O altă parte a algoritmului din SDC, și anume logica setării optime a punctelor de referință (setpoints) ale debitului cerut de la fiecare sursă de apă, în conformitate cu indicatorii de calitate ai forajelor este descrisă, pe scurt, în continuare:

- Dacă $F_{w,f}$ calculat pentru forajul cu cea mai mare prioritate acoperă $F_{t,r}$, atunci celelalte foraje vor avea punctul de referință al debitului setat la 0.
- Dacă suma debitelor calculate pentru forajele cu cele mai mari priorități este mai mică decât $F_{t,r}$, atunci un următor foraj, în ordinea priorității, va fi activat și setat la debitul de referință minimal, iar cel precedent își va adapta valoarea punctului său de referință, în consecință. În același timp, toate celelalte puncte de referință, corespunzătoare forajelor neactivate, sunt 0.

Mai mult, algoritmul de distribuție a debitului este extensibil, permițând adaptarea la eventuale situații în care noi foraje sunt construite sau unele existente sunt eliminate. Dacă $F_{t,r}$ crește dramatic în timp, atunci, cel mai probabil, este inevitabilă adăugarea de noi surse de apă, iar dacă depășirea capacității optime a forajelor este treptată, incrementală, atunci se poate răspunde, în primă fază, cu o creștere a lui γ și apoi cu o creștere a lui β , fără a fi neapărată o adăugare de noi surse de apă.

Pentru simplificarea înțelegerii algoritmului de mai sus, se aduce un exemplu concludent, cu patru foraje funcționale, similar instalației țintite, înșiruit mai jos:

- Presupunem că se află în funcțiune un singur foraj, cel cu prioritatea (P_f) cea mai mare, din totalul de patru foraje disponibile.

- Dacă debitul calculat al acestui foraj (F_{w_f}) acoperă necesarul de debit (F_{t_r}), atunci se stabilește referința de debit a acestui foraj egală cu debitul necesar (F_{t_r}). Desigur, celelalte foraje nu vor funcționa, deci vor avea setat un debit de referință egal cu 0.
- Dacă este necesară acționarea celui de-al doilea foraj (adică $F_{w_{f1}} < F_{t_r}$), în ordinea priorităților (P_f) și, concomitent, debitul de referință minim ($F_{f_{min2}}$) al celui de-al doilea foraj face ca suma debitelor ($F_{w_{f1}} + F_{f_{min2}}$) să depășească valoarea cerută (F_{t_r}), atunci primul foraj își reduce debitul până la egalizarea F_{t_r} cu *debit_ieșire_instalație_distribuție*, iar cel de-al doilea foraj are setat $F_{f_{min2}}$.
- Dacă suma debitelor calculate ale primelor două foraje ($F_{w_{f1}} + F_{w_{f2}}$), în ordinea priorității (P_f), este mai mică sau egală cu debitul necesar (F_{t_r}), atunci se setează debitul calculat ($F_{w_{f1}}$) pentru forajul cu prioritatea cea mai mare (primul), se pornește forajul 3 cu debitul $F_{f_{min3}}$, urmând să se seteze debitul forajului cu prioritate secundă (al doilea) la o valoare stabilită ca diferența dintre debitul necesar și suma celorlalte debite ale forajelor funcționale ($F_{t_r} - F_{w_{f1}} - F_{f_{min3}}$). Bineînțeles, celelalte foraje nu vor funcționa, având setat un debit de referință egal cu 0.
- Dacă suma debitelor setate ale primelor trei foraje ($F_{w_{f1}} + F_{w_{f2}} + F_{f_{min3}}$), în ordinea priorității (P_f), este mai mică sau egală cu debitul necesar (F_{t_r}), atunci se setează debitul forajului cu prioritatea cea mai mare (primul) la debitul calculat ($F_{w_{f1}}$), debitul forajului cu prioritatea a doua (al doilea) la debitul său calculat ($F_{w_{f2}}$), se pornește forajul cu prioritatea (P_f) cea mai mică (cel de-al patrulea și ultimul din regimul automat al instalației țintă), setat la debitul său minim ($F_{f_{min4}}$), iar debitul forajului cu prioritatea a treia (al treilea) primește referința de debit diferență ($F_{t_r} - F_{w_{f1}} - F_{w_{f2}} - F_{f_{min4}}$). Din nou, celelalte foraje, în cazul în care ar exista, nu vor funcționa, având setat un debit de referință egal cu 0.
- Dacă este necesar un debit (F_{t_r}) mai mare decât suma debitelor calculate ale celor 4 foraje disponibile ($F_{w_{f1}} + F_{w_{f2}} + F_{w_{f3}} + F_{w_{f4}}$), atunci se stabilește ca referință de debit al fiecărui foraj debitul său calculat, adică primul foraj $F_{w_{f1}}$, al doilea $F_{w_{f2}}$, al treilea $F_{w_{f3}}$, respectiv al patrulea $F_{w_{f4}}$.

Generalizând algoritmul, plecând de la conjunctura particulară a instalației de apă vizate, în momentul în care debitul de apă oferit de primele n foraje pornite, în ordinea priorității, nu este suficient pentru a acoperi cererea, atunci se pornește următorul foraj ($n+1$), în ordinea priorității. În ceea ce privește debitele, de la primele $n-1$ foraje, fiind cele care oferă apa de cea mai bună calitate, se solicită maximul optim de debit pe care îl poate oferi fiecare, de la forajul $n+1$, fiind cel care oferă cea mai slabă calitate, se solicită debitul minim pe care poate să îl livreze, ceea ce face ca de la forajul n să se solicite diferența dintre debitul total cerut și suma debitelor celorlalte foraje pornite. În acest timp, pentru forajele începând cu $n+2$, inclusiv, se cere debit 0, adică sunt oprite.

În vederea evitării a multiple schimbări bruște ale punctului de referință al debitului pentru sursele de apă, care ar putea fi cauzate de zgomot în evoluția semnalului debitului de ieșire din instalația de distribuție a apei, un filtru de tip trecejos (low-pass filter) a fost considerat pentru toate semnalele de debit referențiate.

Ca o ultimă remarcă, subsecțiunea în curs de finalizare a detaliat o soluție de decizie și control construită cu scopul reducerii consumului de electricitate și cu asistența rezultatelor provenite de la modulul de analiză a dependențelor dintre date, implementat în aplicația Historian. De asemenea, soluția SDC a fost plasată în zona

de Fog Computing și dezvoltată prin raportarea la instalația prezentată în subcapitolul anterior. Dincolo de înclinarea balanței în acest subcapitol spre prezentarea, mai degrabă, a aspectelor teoretice, conceptuale ale SDC, se accentuează faptul că zona practică nu fost neglijată, SDC fiind aplicată instalației reale de apă potabilă caracterizată în subcapitolul aprioric, în dorința de a verifica teoria, rezultatele regăsindu-se în secțiunea următoare.

6.3. Scenarii de test și rezultatele aferente

Pe postul notei primordiale, studiile grupate sub această fază de cercetare, la fel ca și celelalte demersuri din teză, sunt desfășurate în concordanță cu etapele normale ale procesului științific, universal acceptate, adică dezvoltare teoretică, implementare practică, testare și validare a conceptelor, pe baza rezultatelor obținute. Astfel, dacă subsecțiunea dinaintea celei de față a înfățișat dezvoltarea, la nivel de concept și aplicarea practică, asupra unei instalații de apă potabilă, a unei soluții noi, atunci, în mod inerent, subcapitolul acesta tratează partea de testare și validare a soluției, expunând rezultatele dobândite.

În legătură cu testarea pe sistemul real, se face, de la început, precizarea că o instalație de apă potabilă reprezintă o infrastructură a cărei funcționare corespunzătoare este critică și orice cercetare potențial impactantă este atent supravegheată. În realitate, înainte de punerea în mișcare a studiilor și implementarea procedurilor de cercetare este obligatoriu a fi îndeplinită o întreagă serie de condiții prealabile, din care fac parte o motivare detaliată, o strategie limpede, dovezi susținătoare și, nu în ultimul rând, aprobări. Așadar, orice intervenție executată înspre structurile moștenite trebuie să fie pe cât se poate de neinvazivă, pentru păstrarea unor șanse minime de perturbare a procesului. În mod asemănător, chiar și pentru automatizări mai noi ale STAP, pot fi aplicate constrângeri pentru strategiile nou cercetate de către deținătorii infrastructurii. Din această cauză, testarea noilor metode este, câteodată, limitată, constrângerile impunând proceduri de experimentare în care nu se utilizează întreaga capacitate a soluțiilor, unele module nefiind permise, în acest fel, împiedicându-se atingerea întregului potențial teoretic al soluției.

În contextul definit de paragraful precedent se prezintă, în continuare, două scenarii de test diferite și rezultatele conexe, după supunerea la probe a SDC, atât într-un mediu simulat, cât și pe termen mai lung, cu o instalație reală de apă potabilă, unde mai multe constrângeri legate de strategia de control au fost impuse de către operatorii uzinei, ca măsuri de precauție. În mod evident, rezultatele în urma aplicării SDC sunt comparate, în ambele situații, cu strategia operațională actuală, pentru evidențierea diferențelor și a beneficiilor.

În preambulul demarării scenariilor de test precizate, datorită necesității obținerii antemenționatelor dovezi și aprobării pentru posibilitatea testării pe sistemul real, s-a dezvoltat un model, în Matlab-Simulink, și s-a calibrat la instalația de apă potabilă țintită. În această împrejurare, soluția SDC a putut fi testată în interiorul modelului, folosind date de intrare reale, într-un mediu controlat, fără riscurile producerii de inconveniente majore, în cazuri nefavorabile. În plus, chiar dezvoltarea și testarea modelului experimental s-au dovedit a fi proceduri de durată.

În mod firesc, atât cele două scenarii de test, cât și modelul dezvoltat în Matlab-Simulink, se concentrează, în mod specific, pe instalația de apă potabilă descrisă în subsecțiunea 6.1.

În primul rând, scenariul inițial, dintre cele 2 considerate, s-a bucurat de privilegiul folosirii soluției SDC complete, fără restricționarea unor funcționalități, dat

fiind modelul dezvoltat, care tolerează modificări la discreția echipei de cercetare. De fapt, după succesiunea unei prime acumulări de date pe termen lung, a analizei și a fazelor de concluzionare, scenariul a constat în teste bazate pe model și, pe termen scurt, bazate pe sistemul real. Relativ la obiectivul principal al primului scenariu de test, s-a urmărit a dovedi, în această fază, o creștere a eficienței energetice, pentru a facilita o testare ulterioară mai amplă, pe sistemul real. De asemenea, testele complete pe sistemul real, în primul scenariu, au fost doar pe termen scurt, de ordinul orelor.

Referitor la rezultatele primului scenariu, Figura 6.7 surprinde, inițial, evoluția debitelor celor patru foraje din instalația țintă, în circumstanțele operării cu puncte de referință (setpoints) ale debitului fixe, fără implicarea SDC. În acest mod de lucru, cererea de apă din rețea a activat forajele fără a lua în considerare calitatea și cantitatea apei de la surse, acestea fiind obiectul de studiu al SDC. Practic, datele reprezentate în Figura 6.7 reflectă, întru totul, fenomenele și operațiunile ghidate de strategia operațională curentă a instalației de apă unde s-a dorit testarea posibilei optimizări cercetate, în același timp constituind o parte a datelor de intrare pentru analiza avută în vedere cu scopul identificării indicatorilor de calitate ai surselor de apă.

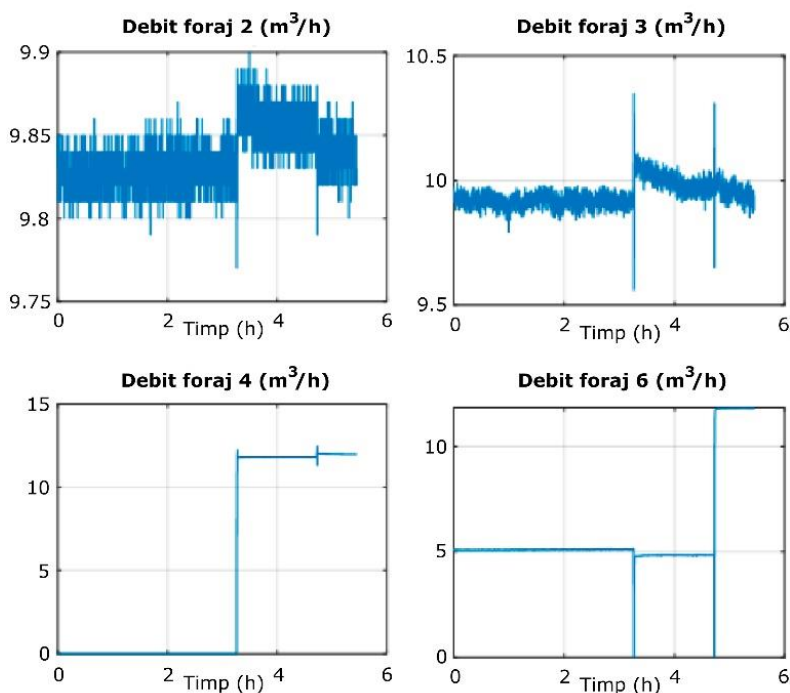


Figura 6.7. Exemplu al evoluției debitelor de la foraje, cu referințe fixe

Mai departe, Figura 6.8 face cunoscute evoluțiile orelor de funcționare ale surselor de apă înainte de aplicarea soluției SDC, datele provenind din instalația reală țintită. De altfel, chiar dacă Figura 6.7 și Figura 6.8 au fost extrase din Matlab, datele evocate provin de la instalația reală, aceleași date fiind stocate și analizate cu aplicația Historian.

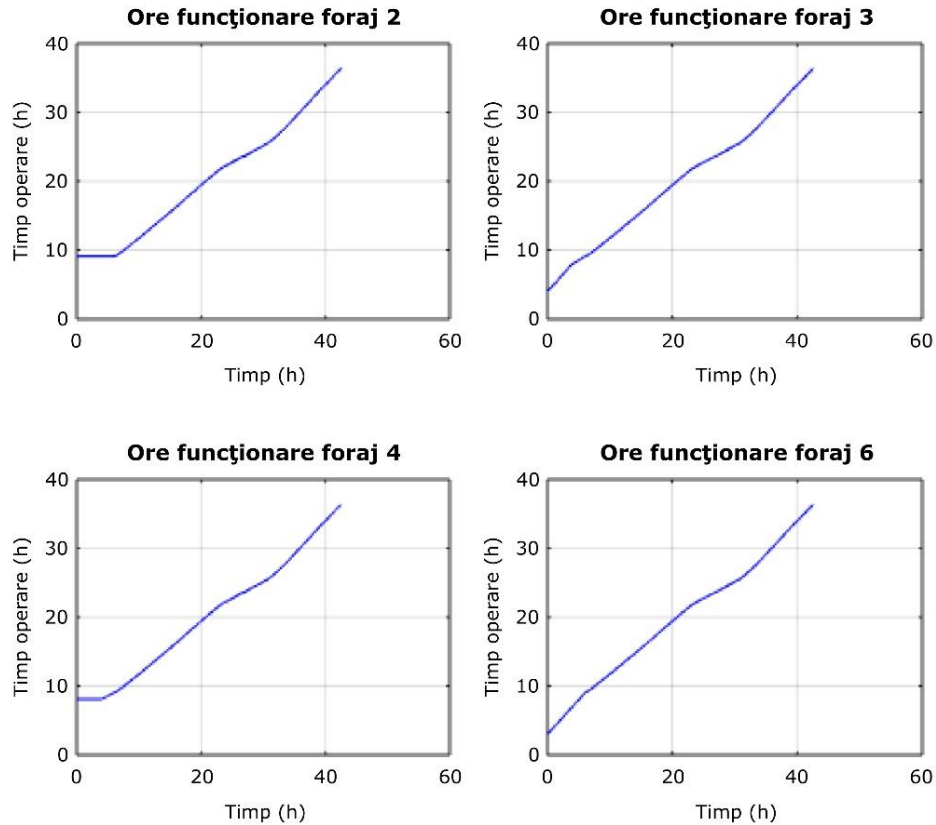


Figura 6.8. Orele de funcționare ale forajelor

Consecvent cu descrierea din subcapitolul precedent, Figura 6.9 dezvăluie evoluția indicatorilor de prioritate ai celor patru foraje, calculați de către soluția SDC luând în considerare atât orele de funcționare, din Figura 6.8, cât și indicatorii de calitate ai apei. În același timp, în calculul priorităților, valorile determinate pentru coeficientul α au fost [0.8, 0.6, 0.7, 0.9], iar pentru β au fost [0.2, 0.4, 0.3, 0.1], ceea ce înseamnă atribuirea unei importanțe sporite timpului de funcționare a echipamentului, în detrimentul calității apei.

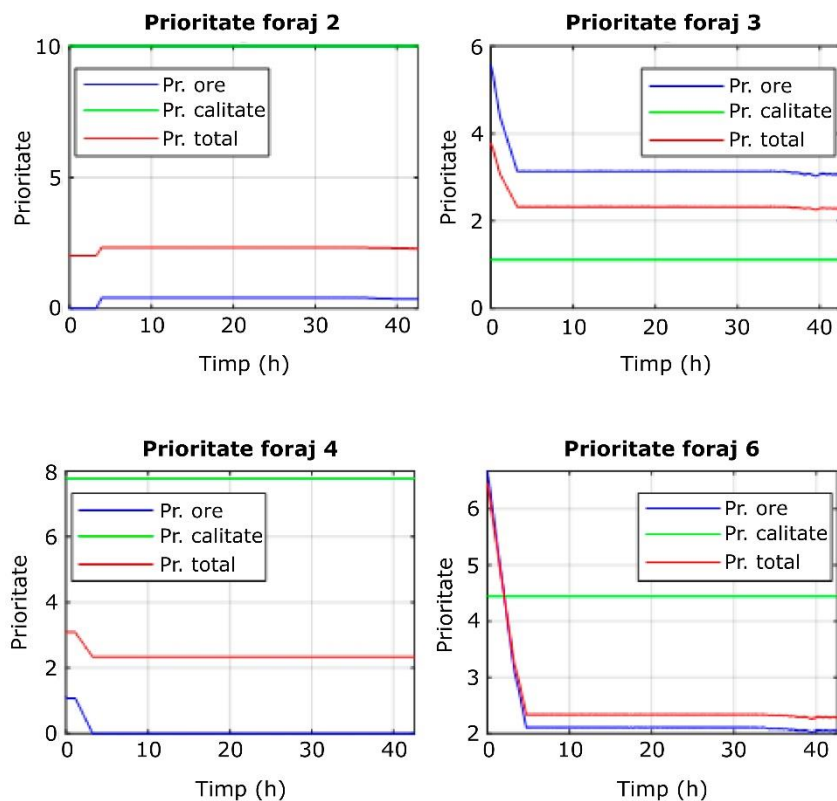


Figura 6.9. Evoluția indicatorilor de prioritate ai forajelor, identificați de către soluția SDC

Pe de altă parte, după aplicarea soluției SDC, evoluțiile debitului total solicitat de la surse ($F_{t,r}$), respectiv nivelul din rezervorul de distribuție și punctele de referință (setpoints) ale debitelor, calculate de soluția SDC, pentru fiecare foraj ($F_{w,r}$), se regăsesc în Figura 6.10, care a fost atașată în succesiunea acestui paragraf. Complementar, se consemnează că factorul γ a fost setat la valoarea 1 pentru toate forajele din cauza cererii mari de apă, coincidentă cu neactivarea a două dintre forajele disponibile ale stației, care au dus la necesitatea preluării unei cantități ridicate de apă de la surse, pentru direcționarea spre procesul de tratare. Bineînțeles, se observă că soluția SDC stabilește punctele de referință ale debitelor surselor, surprinse în partea a doua din Figura 6.10, în concordanță cu prioritățile stabilite de către aceasta în Figura 6.9, de mai sus. Concomitent, se remarcă faptul că nivelul apei din bazinul de distribuție spre rețeaua de apă potabilă, ilustrat în Figura 6.10, rămâne la o cotație constantă, ceea ce indică asigurarea păstrării stabilității sistemului pe parcursul aplicării strategiei de optimizare, acest aspect fiind de maxim interes pentru deținătorii oricărei instalații reale, care impun dovezi apriorice în această direcție, înainte de testarea pe echipamente.

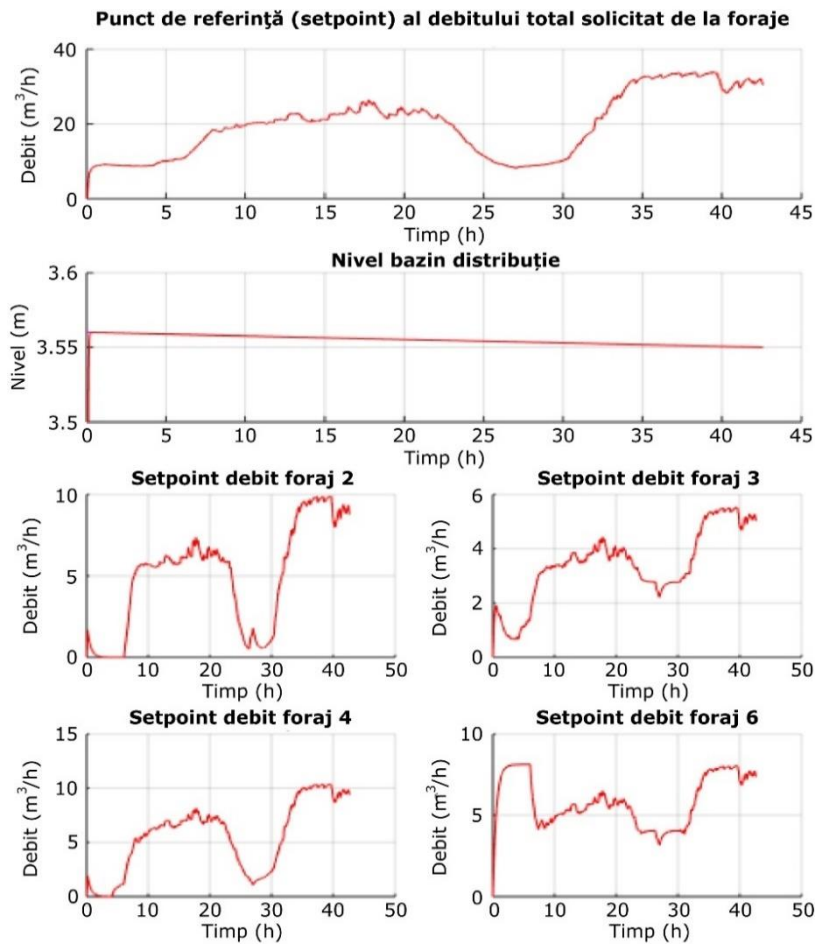


Figura 6.10. Evoluția debitelor surselor și a nivelului apei din rezervorul de distribuție, după aplicarea SDC

Mai presus de orice, primul scenariu ne arată că influența soluției SDC asupra reducerii consumului de energie este consistentă. Etalând o manieră mai detaliată, pe baza graficului din Figura 6.11, care evocă diferența procentuală de putere între sistemul cu SDC, pe de-o parte, și același sistem, însă fără SDC, de cealaltă parte, se poate conchide că îmbunătățirea rezultată este de aproximativ 9%. Din nou, Figura 6.9, Figura 6.10 și Figura 6.11 sunt extrase din Matlab și arată rezultatele aplicării soluției SDC complete, nerestricționate, în modelul instalației țintă, implementat în Matlab-Simulink, dar uzitând de date reale, acumulate din instalație. În realitate, îmbunătățirea eficienței energetice a modelului, de 9%, a validat conceptul soluției SDC și a oferit, în paralel, o dovadă indispensabilă pentru avansarea testării spre zona industrială reală.

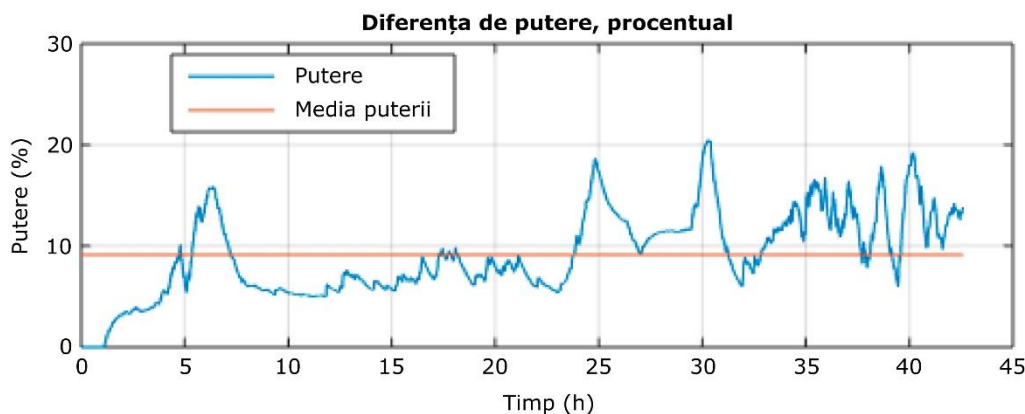


Figura 6.11. Diferența de putere, procentual, după folosirea SDC

În al doilea rând, după finalizarea primului scenariu de test și interpretării rezultatelor acestuia s-a clarificat faptul că soluția SDC trebuia să fie testată pe un termen mai lung și să reacționeze, aplicând concluziile, în mod autonom, asupra sistemului local, cu scopurile dovedirii mai bune a beneficiilor soluției asupra unui sistem real și atingerii unui nivel mai ridicat de pregătire tehnologică (technological readiness level). În acest sens, scenariul secund a cuprins o testare continuă, pe o perioadă mai întinsă, de două săptămâni, pe sistemul real, dar cu mai multe constrângeri impuse de către operatorii instalației. În aceeași ordine de idei, cele mai impactante constrângeri pretinse au fost, preponderent, legate de punctele de referință (setpoints) ale debitului surselor de apă, care nu s-a permis a fi schimbate de la valorile lor individuale fixe, respectiv, nici o sursă de apă adițională nu s-a autorizat a fi activată, în afara celor selectate. În mod particular pentru scenariul prezentat, sursele de apă selectate de către compania proprietară a instalației au fost doar patru la număr, din totalul celor șase avute la dispoziție, pe parcursul testelor sursa cu numărul 4 fiind înlocuită de cea cu numărul 1. Prin urmare, soluția SDC a fost testată pe instalația reală, în al doilea scenariu, fără toate modulele implementate, lipsind atât punctul de referință al debitului individual variabil al sursei de apă, cât și activarea tuturor forajelor disponibile, astfel încât soluția a rămas bazată doar pe selectarea, în funcție de prioritățile calculate, a aceluia foraj care va fi oprit sau pornit, fără posibilitatea influențării debitelor acestora.

Oricum, analiza suplimentară a datelor, efectuată cu asistența aplicației Historian, atunci când s-a tranzitat spre testele pe termen mai lung, a durat în jur de un an. Mai mult, în timpul acumulării consistente de date adjuvante și a analizei acestora au fost întâlnite și asimilate schimbări în funcționarea sistemului local, cele mai importante fiind procedurile de activare și dezactivare, manuale, ale surselor de apă, de-a lungul timpului, cauzate, în principal, de preferințele operatorului local, dar, ocazional, și de defecțiuni, pe termen scurt, la echipamentul forajului. În conformitate cu observațiile din ultimii 1,5 ani de experimente, operatorii locali activează sau dezactivează, manual, sursele de apă la fiecare 4-7 luni, de obicei selectând 4-5 foraje active, care sunt introduse în algoritmul local, comportament care a îngreunat teribil desfășurarea studiului în condiții optime. În opoziție, membrii echipei de cercetare susțin faptul că atunci când este adăugată în sistem o nouă sursă de apă, aplicația Historian necesită, pentru o analiză precisă, date întinse pe cel puțin patru luni, lipsa

acestora asigurând un grad de incertitudine legat de includerea corectă a noii structuri în SDC.

Cu toate acestea, cel de-al doilea scenariu de test, executat pe sistemul real, alterat de soluția SDC constrânsă, restricționată la puncte de referință (setpoints) ale debitelor fixe pentru cele patru foraje menționate a avut loc pe parcursul unei perioade de două săptămâni, între 23 noiembrie 2019 și 7 decembrie 2019. Corespunzător acestei perioade, Figura 6.12 și Figura 6.13 ilustrează evoluția debitelor pentru cele patru foraje (numerotate 1, 2, 3, 6), respectiv energia totală consumată de instalația de apă potabilă.

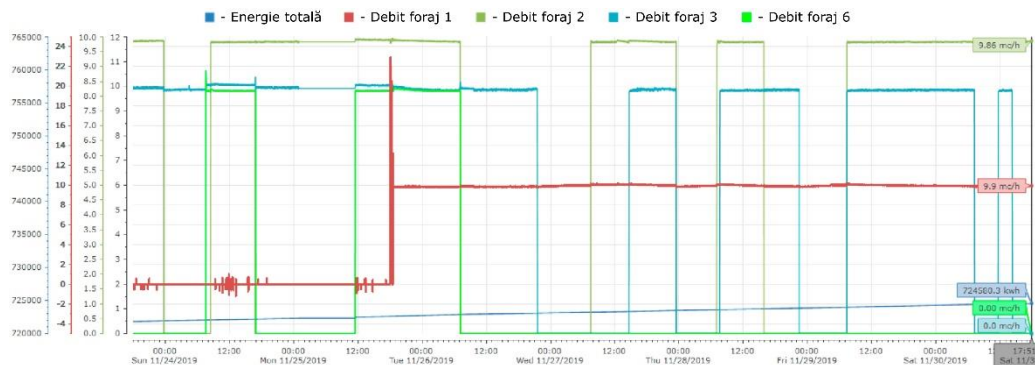


Figura 6.12. Debiturile forajelor și consumul total de energie, cu soluția SDC constrânsă, pe sistemul real, în săptămâna 1

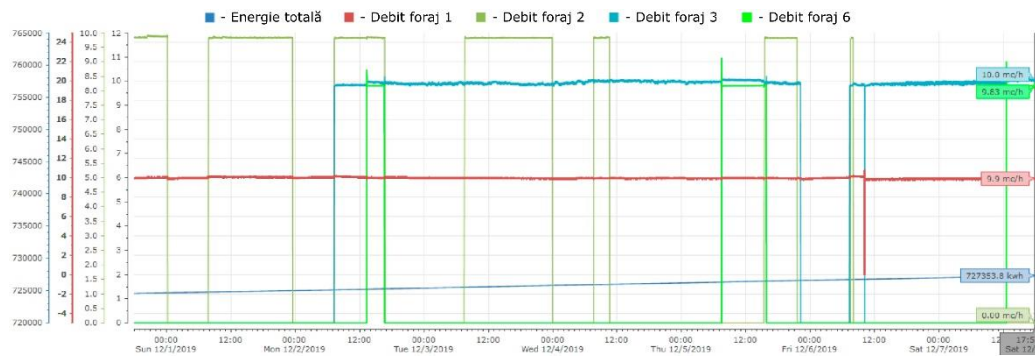


Figura 6.13. Debiturile forajelor și consumul total de energie, cu soluția SDC constrânsă, pe sistemul real, în săptămâna 2

Căutându-se un termen de comparație, Figura 6.14, Figura 6.15, Figura 6.16 și Figura 6.17 prezintă evoluția debitelor pentru aceleași patru foraje, alături de energia totală consumată de instalație, pe parcursul unei perioade de patru săptămâni, între 11 ianuarie 2020 și 8 februarie 2020, în care nu s-a utilizat soluția SDC deloc. Posedând intenția unei confruntări corecte a datelor, evoluțiile fără SDC au fost preluate într-o perioadă cu cereri de consum de apă similare cu cele din primele două săptămâni, în care s-a folosit SDC, motiv pentru care nu s-a considerat perioada sărbătorilor de iarnă.

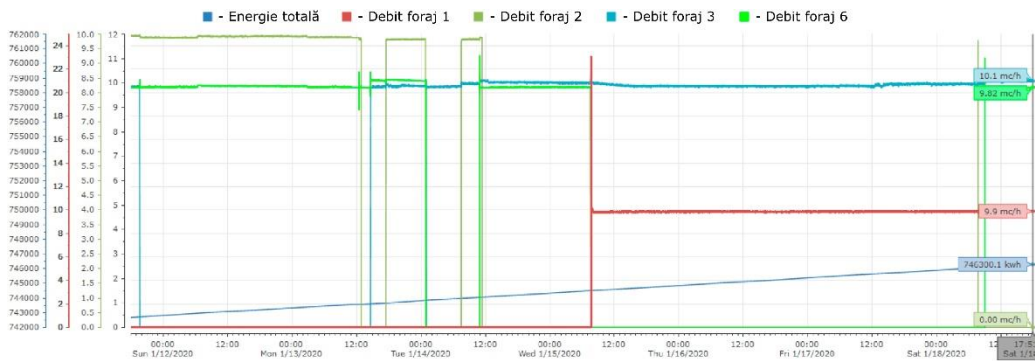


Figura 6.14. Debiturile forajelor și consumul total de energie, fără soluția SDC, pe sistemul real, în săptămâna 1

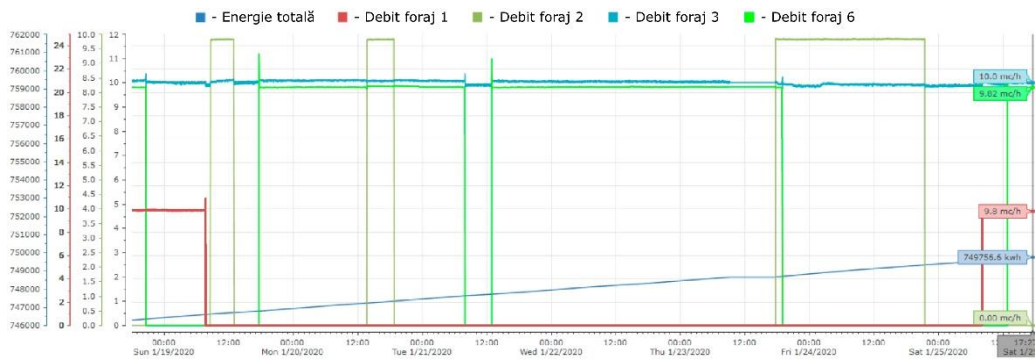


Figura 6.15. Debiturile forajelor și consumul total de energie, fără soluția SDC, pe sistemul real, în săptămâna 2

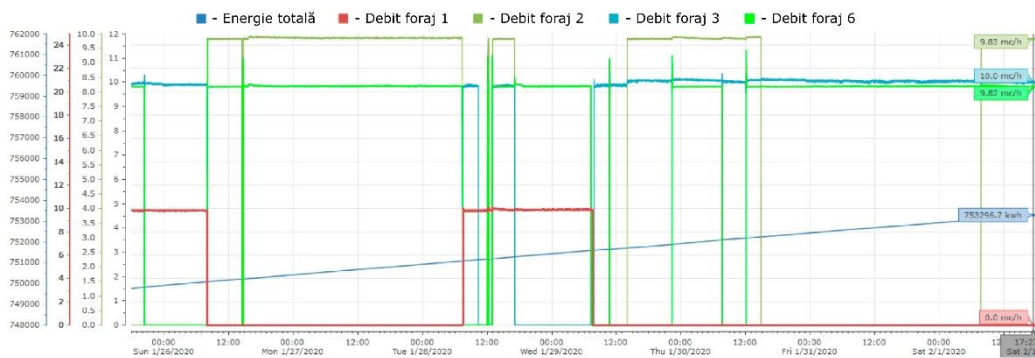


Figura 6.16. Debiturile forajelor și consumul total de energie, fără soluția SDC, pe sistemul real, în săptămâna 3

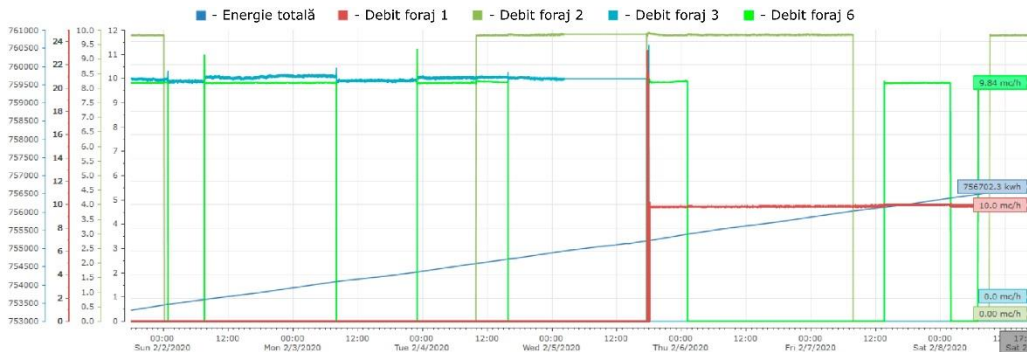


Figura 6.17. Debitelor forajelor și consumul total de energie, fără soluția SDC, pe sistemul real, în săptămâna 4

Chiar dacă ultimele 6 figuri prezentate mai sus, în teză, au fost desprinse din software-ul SCADA al companiei de apă, IGSS, de la nivel regional, datele pe baza cărora s-au clădit reprezentările grafice au fost monitorizate, stocate și analizate și de către aplicația Historian, singurul motiv pentru care s-au preferat aceste imagini constituindu-le capabilitățile net superioare ale IGSS de întocmire a diagramelor comparativ cu aplicația Historian, care, momentan, poate reproduce numai o singură caracteristică per grafic, așa cum este exemplificat în Figura 3.6.

În vederea examinării, datele exacte pe baza cărora s-a făcut comparația dintre cele două perioade evaluate sub al doilea scenariu de test sunt grupate în Tabelul 6.1. Astfel, această reprezentare tabelară detaliază valorile inițiale și finale ale indexului energiei electrice pentru fiecare săptămână, cantitatea de energie consumată pentru fiecare săptămână, media consumului de energie pentru perioadele de două, respectiv, patru săptămâni, și, în final, diferența de consum de energie, exprimată procentual, pentru a demonstra eficiența soluției propuse.

Tabelul 6.1. Consumurile de energie electrică ale instalației țintite, cu și fără SDC

	2 săpt. cu SDC constrânsă 23.11 – 07.12 2019		4 săpt. fără SDC 11.01 – 08.02 2020			
	Săpt. 1	Săpt. 2	Săpt. 1	Săpt. 2	Săpt. 3	Săpt. 4
Val. inițială (MWh)	722,0	724,6	742,7	746,3	749,8	753,3
Val. finală (MWh)	724,6	727,4	746,3	749,8	753,3	756,7
Consum (MWh)	2,6	2,8	3,6	3,5	3,5	3,4
Medie (MWh)	2,7		3,5			
Diferență (%)	+30%					

Pe marginea listării de mai sus, se subliniază faptul că media energiei consumate în timpul testelor cu SDC a fost de 2,7 MWh, iar în timpul testelor fără SDC a fost de 3,5 MWh. În acest fel, rezultă că studiul a identificat și expus o creștere

consistentă a consumului de energie, de aproximativ 30%, atunci când sistemul nu a fost prevăzut cu soluția SDC propusă.

Deci, în ciuda faptului că partea de referințe ale debitelor surselor nu a fost modificată în scenariul secund, s-a obținut o îmbunătățire de 30% pe sistemul real, în comparație cu primul scenariu, desfășurat pe modelul construit în Matlab-Simulink, unde s-a evidențiat o îmbunătățire de 9% cu întreg algoritmul funcțional. Deși eficiența este crescută considerabil încă din primul scenariu, se probează, în scenariul secund, premisa obținerii unei valori mai mari de 9%. Mai mult, membrii echipei de cercetare estimează că folosirea unei soluții SDC neîngrădite, la potențialul său maxim, pe o stație reală, ar aduce îmbunătățiri și mai semnificative decât cele deja atestate până acum în scenariul secund, de 30%, câteva dintre argumentele care susțin afirmația fiind:

- Posibilitatea redusă de a compara corect rezultatele în sistemul real, prin folosirea de teste pe termene relativ scurte, totuși, de două săptămâni, cauzată de accesul încă limitat la întregul randament al SDC pe instalația de apă potabilă, pentru perioade mai lungi, de ordinul lunilor de zile. Datorită acestor împrejurări, a fost silită revendicarea unei optimizări proclamând cea mai mică valoare înregistrată, și anume 9%.
- Numărul mic de foraje, în contextul unei cereri mari de apă de către rețea, implică perioade de funcționare mai lungi pentru fiecare foraj în parte, consecința fiind dispariția majorității gradelor de libertate în operare. De exemplu, gradele de libertate s-ar diversifica masiv în cazul în care toate cele șase foraje din instalația reală de apă potabilă ar fi în funcțiune.
- Din păcate, soluția de automatizare inițială, atât din instalația de distribuție, cât și din foraje, este slab implementată, această stare de fapt putând fi generalizată, în multe instalații de apă potabilă situația prezentându-se asemănător. În acest sens, comparația în curs include puncte de referință (setpoints) inițiale fixe ale debitului fiecărui foraj și, în pofida ajustării dese în timpul testelor, acestea au fost setate folosind cea mai bună cunoaștere a operatorilor și dezvoltatorului inițial al sistemului, în locul exploatării rețelei calculate de SDC.

În încheiere, subsecțiunea de față a raportat acțiunile întreprinse în direcția testării și validării metodei SDC sugerate de etapa de cercetare curentă, începând cu fixarea ambianței întâlnite în industrie și, apoi, continuând cu prezentarea a două scenarii de test, distingându-se, pe parcurs, și anumite dificultăți întâmpinate, pentru obținerea rezultatelor ilustrate în lucrare. Desigur, soluția studiată poate fi considerată, fără nici o urmă de îndoială, validată, rezultatele dobândite în urma testelor fiind calificate de către echipa de cercetare drept remarcabile.

6.4. Concluzii

Raționând cu privire la faza de cercetare etalată în capitolul 6 al tezei, se rememorează oportunitatea întrezărită pentru optimizarea consumului energetic într-o instalație de apă potabilă, alături de demersurile efectuate pentru transformarea acestei optimizări în realitate. În această direcție, s-a formulat o soluție de decizie și control plasată în zona de Fog Computing a sistemului tehnic, metodă aflată în consens perfect cu principiile IIoT și Industry 4.0. Cu siguranță, preocuparea din spatele procedeele dezvoltate a fost reducerea consumului de energie utilizat pentru

tratarea și distribuția apei, eficiența energetică fiind puternic legată de alocarea și utilizarea potrivită a surselor de apă.

În altă ordine de idei, studiul SDC succede unor pași precedenți de cercetare, pe drumul dezvoltării unei aplicații software de tip historian proactiv, eforturi anterioare care s-au concretizat, pe de-o parte, într-un sistem de acumulare a datelor, prezent în zona de Fog Computing, practic, un historian cu costuri și cerințe reduse, și, pe de altă parte, într-o soluție de analiză a dependențelor dintre date, care este capabilă să stabilească diferite corelații valoroase, într-un cadru conștient de proces. În plus, au fost luate în considerare, pentru a filtra dependențe și pentru a furniza rețeta corectă pentru sistemul funcțional, anumite constrângeri specifice procesului, stări, impact, grade de libertate și limitări.

Pe lângă descrierea dezvoltării la nivel teoretic, conceptual, a soluției SDC s-a conturat și o implementare practică a acesteia, în interiorul unui sistem tehnic real, unde metoda a fost aplicată, neinvaziv, asupra structurilor de control locale și a făcut uz de interoperabilitate. Prin urmare, aplicabilitatea SDC este larg răspândită în sectorul apei și, în general, în industria de fabricație, unde sistemele locale sunt de diverse tipuri, cu un procentaj ridicat de structuri vechi, moștenite.

În continuare, opinând că un răspuns corect și complet pentru a clarifica un deznodământ specific, reprezentând impactul IIoT și Industry 4.0, poate deriva numai la capătul unor cercetări aplicative, particularizări detaliate și studii pe termen lung ale sistemelor și proceselor locale, în fragmentul de capăt s-a înclinat interesul spre testarea SDC, în primul rând pe o simulare, model în Matlab-Simulink, iar finalmente pe un sistem real, instalație de apă potabilă operațională, în industrie. Cântărind rezultatele obținute, cu mult peste așteptări, rețeta furnizată de SDC este, fără îndoială, aplicabilă pentru instalații de apă potabilă, scenariile de test executate certificând eficiența conceptului și validând cercetarea în sine.

Dintr-un alt punct de vedere, studiul soluției SDC a contribuit și la expansiunea literaturii de specialitate în proximitatea tematicii, prin publicarea articolului [232] într-un jurnal de anvergură internațională.

Definitivând seria mențiunilor conclusive prin reconectarea cu perspectiva de ansamblu a studiului doctoral actual, se pune punct unei alte etape de cercetare, în decursul căreia s-a elaborat o strategie de optimizare a eficienței energetice bazată pe prioritizarea surselor de apă, uzitând și de aplicația Historian, cu modulul său de identificare a dependențelor dintre date, pentru a confirma practic, la sfârșit, pe un sistem real din industrie, că metoda funcționează.

7. STRATEGIE PREDICTIVĂ BAZATĂ PE METEOROLOGIE ÎN SE

7.1. Procesele tipice în SE

În deschiderea noului pasaj se aduce la cunoștință faptul că activitățile săvârșite ca parte a penultimei etape de cercetare din studiul doctoral sunt redată în capitolul 7, care consemnează reîntoarcerea la dezvoltarea aplicației Historian, pornind de la stadiul evolutiv al acesteia îndeplinit la finele secțiunii 5.

Cu toate că s-a premeditat o redactare în succesiune, o porțiune însemnată a incursiunilor de sub această penultimă fază de cercetare s-au derulat, în plan temporal, în paralel cu perioada anterioară, în care s-a optimizat consumul de energie al unei instalații de apă potabilă, intervalele de timp alocate în acele circumstanțe pentru acumularea de date nesolicitând o participare umană ridicată, motiv pentru care a fost posibilă avansarea, concomitent, și cu cercetarea din capitolul 7.

În acest mod, faza curentă de cercetare și dezvoltare este îndrumată spre nivelul secund din arhitectura software de referință stabilită în secțiunea 4, propunându-și prezicerea evoluției viitoare a valorilor măsurate ale sistemului tehnic monitorizat, contând, în principal, pe relațiile și dependențele identificate de către algoritmiul primului nivel al arhitecturii.

Pe lângă aceste aspecte, așa cum se va depista și pe parcursul subcapitolului 7.3, a fost inovată și asamblată o colecție de extinderi, completări și îmbunătățiri pentru implementarea practică din Historian a primului nivel din arhitectura de referință.

De asemenea, în acest punct al curbei de progres s-a postat aspirația integrării unor date de context în implementare, cu scopul amplificării performanței soluției, în asentiment cu sugestiile arhitecturii de referință. În mod cert, grație raportării la industria apei, adică destinația selecționată pentru livrarea efectelor practice ale cercetării, cele mai potrivite astfel de date pentru domeniul în discuție sunt cele legate de condițiile meteorologice. Din această cauză s-au implementat practic, în aplicația Historian, adițional, și adaptările necesare pentru manevrarea și considerarea unor date de context, în speță, cele meteorologice, atât la primul, cât și la cel de-al doilea nivel al arhitecturii de referință.

Dat fiind faptul că în etapa de cercetare în curs au fost înglobate și datele meteorologice, se constată că influența cea mai mare a acestora, în industria apei, se resimte asupra stațiilor de epurare (SE), chiar dacă nu poate fi negată o corelație, comparativ mai mică însă, și asupra STAP. Așadar, studiile din această fază au fost orientate spre o SE, valorificând procesele tehnologice aferente, conjunctură în care, din dorința facilitării unei comprehensiuni distinse, se caracterizează, în porțiunea subsecventă a acestei subsecțiuni, procesele care au loc într-o SE tipică.

În concordanță cu ideea comunicată anterior, operațiunile clasice care au loc, de obicei, în interiorul unei SE normale sunt sumarizate în Figura 7.1 și amănunțite suplimentar mai departe.

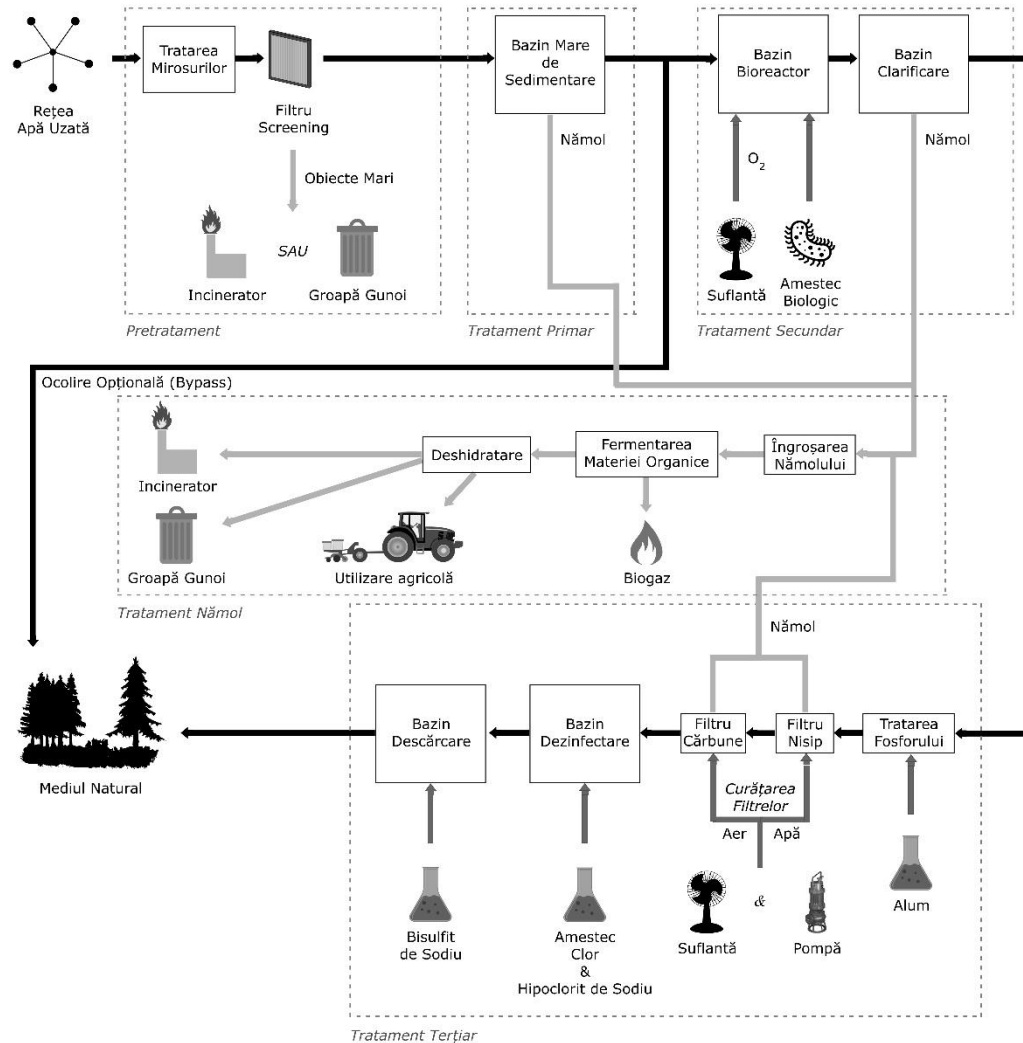


Figura 7.1. Procesele tipice în SE

Debutând cu viziunea globală a SE, se observă că procesul de tratare este divizat, din punct de vedere logic, în mai multe etape, și anume: pretratament, tratament primar, tratament secundar, tratament terțiar și tratarea nămolului.

Urmărind fluxul apei uzate, aceasta pătrunde în SE din rețeaua de ape uzate, unde sursa apei poate fi rezidențială, instituțională, comercială, industrială, ploaie sau o combinație a celor antemenționate. După intrarea apei în SE, procesele de pretratament sunt inițiate, acestea numărând două componente. Primordial, poate fi administrată tratarea mirosurilor, pentru că zonele înconjurătoare ale stației să fie protejate de mirosul neplăcut care acompaniază, în mod natural, apele uzate. Pe post de notă divergentă, se aduce în atenție faptul că procesul de tratare a mirosurilor poate să nu fie necesar la unele stații. Totuși, în situațiile în care este indispensabil, există două metode distincte de tratare a mirosurilor: tratarea aerului și tratarea lichidelor. Dacă

este aplicată modalitatea tratării aerului, atunci apa uzată este închisă în rezervoare mari, care sunt acoperite ermetic, cu huse special concepute pentru controlul mirosurilor. După aceea, aerul prins sub huse, în interiorul bazinelor, este extras de un sistem de ventilare și supus tratamentului, înainte să fie eliberat în mediu. În privința procedurii de tratare a lichidelor sunt introduse în apa uzată diferite substanțe chimice, care neutralizează elementele producătoare de miros urât. Continuând spre procesul secund care are loc sub pretratament, acesta este așa-numitul screening, unde apa uzată este trecută prin filtre, pentru a îndepărta atât pietrișul, cât și obiectele mari, cum ar fi sticle, materiale plastice, ramuri de copaci, obiecte sanitare sau bețișoare de urechi. În acest sens este foarte important să fie înlăturate devreme asemenea obiecte, în deplasarea prin SE, deoarece ele pot deteriora echipamentul instalației, în cazul în care sunt prezente în pașii următori ai procesului de tratare. Desigur, obiectele eliminate sunt fie incinerate, fie dispuse în gropile de gunoi.

Cu condiția ca pretratamentul să fie complet, apa își urmează cursul în prima etapă de tratament, unde materia solidă rămasă este separată de apele uzate. În această fază sunt folosite bazine mari de sedimentare, în care apele uzate se clarifică. Odată cu epuizarea unui interval de mai multe ore, nămolul se depune în partea de jos a bazinului, în timp ce grăsimea și uleiul se ridică la suprafață. În acel moment, nămolul este prelevat și direcționat spre procesul de tratare a nămolului, pe când grăsimea și uleiul pot fi utilizate la fabricarea săpunului.

Ulterior tratamentului primar există o ocolire (bypass) opțională, în așa fel încât apa tratată poate fi trimisă direct în mediul natural, fără să mai intre în etapele de tratament secundară și terțiară. De fapt, această ocolire este folosită în timpul ploilor abundente de către stațiile care primesc apă uzată dintr-un sistem de canalizare mixt. În acest caz, rundele de tratament secundară și terțiară sunt eludate, pentru a le proteja de supraîncărcare hidraulică, amestecul de apă din canalizare cu apă de ploaie primind doar tratament primar înainte de a fi transportat înapoi în mediul natural. În unele stații, evitarea (bypass) este implementată direct la intrare, așa că apa uzată nu este nici măcar trecută prin procesul de screening. În plus, ipostaza unei SE mai mari, care nu dispune de o ocolire (bypass) complet gravitațională, reclamă utilizarea unor pompe puternic consumatoare de energie pentru a transfera apa netratată direct în emisar, atunci când cantitățile apreciabile de apă uzată depășesc capacitatea stației.

Circulând pe itinerarul apei în SE, obiectivul etapei secundare de tratament este suprimarea materiei biologice din apa uzată, prin intermediul unui bazin bioreactor, unde atât oxigen, introdus cu suflante, cât și un amestec biologic (biological floc), alcătuit din bacterii și microorganisme care consumă materia organică rămasă sunt inserate în apa uzată. În posterioritatea bioreactorului, însă aprioric părăsirii tratamentului secundar, apa uzată este expediată într-un bazin de clarificare, unde particulele mari se lasă în partea de jos și sunt scoase pentru transmiterea spre procesul de tratament al nămolului. Într-o înșiruire antitetică de idei, cu țelul de a menține parametrii de proces în interiorul unor limite optime în timpul tratamentului biologic, trebuie să aibă loc o ajustare a pH-ului, implicând diferite substanțe chimice, cum ar fi $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 , Na_2CO_3 , NaOH și altele.

Ultima etapă este tratamentul terțiar, care este similar cu procesul de tratare a apei potabile, calitatea apei rezultate fiind apropiată de calitatea apei potabile. În deschidere, un compus chimic este injectat în apa uzată pentru a înlătura fosforul, de obicei, alum, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, dar clorura de polialuminiu (poly-aluminum chloride, acronim PAC) sau clorura de fier, FeCl_3 , pot fi, la rândul lor, folosite. În unele stații, îndepărtarea fosforului poate fi implementată pe parcursul a diverse stadii, cum ar fi

bazinul mare de sedimentare, în timpul tratamentului biologic sau mai târziu, în bazinul de clarificare. Bineînțeles, dacă fosforul este eliminat de către tratamentul biologic, atunci tratamentul chimic devine o metodă auxiliară. Revenind, apa trece, mai departe, printr-un filtru de nisip și un filtru de cărbune, înainte de popasul într-un bazin de dezinfectare, unde recepționează o imixtiune de clor și hipoclorit de sodiu, NaClO. În cele din urmă, apa este trimisă într-un bazin de descărcare, unde se recurge la bisulfid de sodiu, NaHSO₃, întrebuițat pentru a declorina chimic apa deoarece clorul rezidual este toxic pentru speciile acvatice. Cu siguranță, apa care iese din tratamentul terțiar este eliberată în mediul natural, în râuri, lacuri sau alte căi navigabile locale. La fel de important, o altă procedură periodică desfășurată în timpul tratamentului terțiar este curățarea filtrelor, în care filtrele de nisip și cărbune sunt spălate cu aer și apă, nămolul rezultat fiind direcționat spre zonele cuprinzătoare ale acțiunilor de tratare a acestuia.

Din nou, se remarcă faptul că fiecare dintre etapele de tratament, primară, secundară și terțiară produc reziduuri, sub formă de nămol, care este, de asemenea, procesat în interiorul SE, în timpul activității de tratare a nămolului. Referitor la aceasta, primul subset de proceduri sunt cele de îngroșare, care se realizează în interiorul unui sistem mecanic de îngroșare a nămolului (sludge thickener), un echipament care seamănă cu un bazin de clarificare, dar are un mecanism de agitare (stirring mechanism) adăugat. Apoi, noroiul trece prin procesul de fermentare a materiei organice, care reduce cantitatea de materie organică din nămol, în această privință având posibilitatea folosirii a trei opțiuni diferite de fermentare, și anume fermentare aerobă, fermentare anaerobă și compostare. Mai mult, tehnicile de fermentare pot poseda un beneficiu major, materializat prin producerea de biogaz, un amestec de CO₂ și metan, CH₄, care poate fi revalorificat chiar la stație, pentru alimentarea energetică a echipamentului. Drept transformare tehnologică terminală în tratarea nămolului se înscrie deshidratarea, în cadrul căreia nămolul este plasat, în mod comun, în platforme de uscare a nămolului rezidual (drying beds). După scurgerea unei perioade considerabile de timp, nămolul uscat ajunge să fie ars în incineratoare, trimis la gropi de gunoi sau pus în valoare pe post de îngrășământ în agricultură.

Tinzând spre întocmirea bilanțului subsecțiunii în care ne regăsim, se deslușește o inaugurare prin gravarea contextului general al tezei în care se acomodează noua etapă de cercetare, alături de amintirea reperului său temporal de implementare, relativ la celelalte părți ale lucrării, pentru ca o trasare succintă a liniei de studiu urmărită în această fază de cercetare să premeargă înfățișarea meticuloasă a proceselor tipice care au loc într-o SE.

7.2. Probleme definitorii și dependențe meteorologice în SE

În lansarea proaspătului subcapitol, repartizat în prelungirea reliefării prelucrărilor tehnologice particulare din SE, se edifică punctele de interes vizate, și anume, pe de-o parte, prezentarea problemelor definitorii din sfera SE și, pe de altă parte, enumerarea dependențelor capitale dintre procesele din SE și fenomenele meteorologice naturale. Certamente, argumentarea traversării acestor subiecte se sprijină atât pe consolidarea mai bună a imaginii împrejurărilor în care este intercalată soluția dezvoltată, cât și pe sublinierea avantajelor potențiale care se pot ivi pentru o SE, în urma cercetării din această etapă, atuuri care constituie o parte a justificării dirijării studiilor din această fază spre SE.

În mod consecvent, unele dintre problemele definitorii recunoscutibile dintr-o SE, care rezervă preocupare și prin prisma temei penultimului ciclu de cercetare din teză sunt aliniată mai jos:

- Suprasolicitarea stației, care poate cauza supraîncălzirea suflantelor, ceea ce, la rândul ei, provoacă un nivel scăzut de oxigen în bazinul bioreactor, astfel încât se reduce eficiența tratamentului secundar. Adicional, suprasolicitarea stației poate să conducă și la scurgeri de nămol din rezervorul de decantare.
- Consum ridicat de substanțe, elocvent fiind, în această situație, demersul de tratare a mirosului, care necesită reglare continuă a substanțelor folosite, în funcție de concentrația și conținutul apei uzate admise în SE. Fără îndoială, conținutul apei uzate este strâns dependent de condițiile meteorologice, mai ales de precipitații.
- Costuri energetice ridicate, în jur de 30% din costurile anuale de operare ale unei SE fiind reprezentate de consumul de electricitate. Conform unor surse, luând în calcul o țară dezvoltată, chiar o estimare de până la 2-3% din energia electrică a întregii națiuni este consumată pentru tratarea apei uzate. Oricum, păstrând un anumit grad de rezervare în legătură cu datele anterioare, consumul acesta, totuși de necontestat ca fiind însemnat, poate fi redus semnificativ, de exemplu, prin optimizarea acțiunilor de tratament biologic.
- Defecțiuni ale echipamentelor sau ale algoritmilor de control, care pot crea variate complicații și dificultăți, unele costisitoare financiar.
- SE subdimensionate, din punct de vedere cronologic majoritatea stațiilor fiind construite în urmă cu 10-20 de ani, între timp devenind subdimensionate pentru sarcinile curente. În acest fel, se ajunge la alegerea unei alternative dintre creșterea capacității, a încărcăturii suportate și, implicit, a costurilor impuse de menținerea unui proces de curățare temeinic sau, în cea de-a doua posibilitate, deversarea apei uzate, parțial tratate, în mediu, concomitent cu conservarea unor costuri mai scăzute. Din păcate, în multe zone geografice din afara celor prospere povara bugetară care sosește la pachet cu alegerea primei alternative înclină balanța spre cea de-a doua, care, pe lângă o utilizare ineficientă a resurselor, fondează și eventuale riscuri ecologice.

În același timp, funcționarea unei SE este alterată de condițiile meteorologice din aria acoperită de rețeaua de apă uzată care furnizează apă în SE, cea mai proeminentă interferență fiind determinată de cantitatea de precipitații. În caz de averse foarte abundente, SE are la îndemână și apelarea la canalul de ocolire (bypass), în acest mod, discernându-se între vicierea mediului sau o creștere perceptibilă a costurilor operaționale, datorată adaosului de electricitate și substanțe. Chiar și atunci când volumul de ploaie nu favorizează o apă uzată care permite a fi debarasată legal în mediul natural după administrarea numai a tratamentului primar, cuantumul de ploaie modifică notabil conținutul și concentrația apei uzate prezente în SE, care, în schimb, impactează atât tratamentul biologic aplicat în etapa secundară de tratament, cât și cantitățile și concentrațiile de aditivi chimici din tratamentul terțiar. Lăsând la o parte ploaia, temperatura poate, de asemenea, să joace un rol în activitatea SE, în primul rând din perspectiva tratării mirosurilor, dar și în planul tratamentului biologic din etapa secundară și a deshidratării nămolului, dacă sunt folosite platforme în aer liber de uscare a nămolului rezidual (outdoor drying beds). În plus, o furtună sau vânturi puternice, în special toamna, pot însuma mase mari de ramuri de copaci și frunze, care ar putea înfunda filtrul pentru screening în timpul pretratamentului.

Atingând punctul în care s-au contemplat deja procesele tipice care au loc în interiorul unei SE, problemele definitorii și influența meteorologică uzuală asupra SE, toate acestea fiind prezentate anterior în teză, concluzia emergentă este că o SE oglindește decorul ideal care reține șansa beneficiarii de o soluție software capabilă de identificarea dependențelor și relațiilor exacte aflate între caracteristicile măsurate ale unei SE și caracteristicile meteorologice. Mai mult, profitând de acele relații și dependențe pentru precizarea evoluției viitoare a valorilor caracteristicilor stației, se netezește calea oferirii unei fundații valoroase pentru optimizarea SE, în vederea îndeplinirii unor obiective, cum ar fi reducerea costurilor, scăderea consumului energetic, scăderea consumului de substanțe sau îmbunătățirea mentenanței. Datorită acestor considerații, deși soluția implementată, care este ilustrată în subsecțiunea următoare a lucrării, reprezintă o abordare generică, aceasta a fost desfășurată, în scopuri de testare și validare, într-un sistem tehnic aferent unei SE, unde probabilitatea livrării unei perfecționări tangibile este propice.

Dorind încheierea subcapitolului în curs, se inventariază contribuțiile acestuia, care s-au limitat la enunțarea unui subgrup al problemelor care apar, în practică, în SE și, după aceea, la evidențierea modalităților în care evoluția vremii influențează funcționarea SE, ambele tematici fiind străbătute pentru o cristalizare mai bună a cadrului țintit de implementarea practică a nivelului secund al arhitecturii de referință, în direcția dezvoltării unei aplicații software historian de tip proactiv.

7.3. Soluția implementată

În acord cu reflecțiile precursore, soluția descrisă în acest subcapitol, care a fost implementată pentru transpunerea aplicației Historian la nivelul secund al arhitecturii de referință divulgată în secțiunea 4 a tezei, este bazată pe stadiul cercetării care a fost atins după concretizarea capitolului 5, pe această cale, valorificând uneltele deja implementate ca urmare a fazelor apriorice de studiu, și anume, atât aplicația Historian elementară, cât și algoritmul de la primul nivel din arhitectura de referință a unui software historian de tip proactiv, autonom. În mod clar, acest progres tehnologic este disponibil în acest moment, fiind testat și validat tot în industria apei, în subsecțiunile 3.4, 5.4 și 6.3, ceea ce asigură o platformă stabilă și de încredere, peste care este fezabilă construirea și dezvoltarea următorului pas, făcut prin filiera proiectării din subsecțiunea de față, pe lungul drum îndreptat spre aspirația finală a realizării unei aplicații historian proactive complet funcționale.

Pentru început, fuzionarea implementării nivelului secund al arhitecturii de referință în aplicația Historian, prinsă într-o dezvoltare persistentă, a revendicat imbricarea prealabilă a unei serii de îmbunătățiri și schimbări soluției deja implementate în fragmentul 5.3.

În acest sens, la capătul unor teste pe termen lung, o mică revizie a fost întreprinsă, legată de acuratețea algoritmului de la primul nivel, în lipsa căreia, în unele cazuri, se acumulau diferențe sesizabile. Astfel, calculele au fost ajustate pentru a dobândi o precizie sporită, sub formă de număr de zecimale, în raportarea dependențelor de date identificate.

O altă schimbare capitală a fost efectuată în ceea ce privește alegerea etichetei (tag) de referință. Recapitulând implementarea din secțiunea 5 a tezei, aceea pretindea ca utilizatorul aplicației să aleagă o referință dintre etichetele disponibile, iar restul etichetelor erau analizate în funcție de eticheta selectată. În opoziție, pentru a materializa o înțelegere mai largă a tuturor relațiilor, conexiunilor și dependențelor care există în interiorul sistemului supravegheat, implementarea prezentată în

această subsecțiune a eliminat nevoia deosebirii unei etichete de referință. În locul acestei maniere, fiecare dintre etichetele monitorizate este setată ca și referință, câte una pe rând, iar algoritmul de identificare a relațiilor, dezvoltat în capitolul 5, este rulat o dată pentru fiecare referință.

Desigur, mulțumită adoptării reorganizării antemenționate, relativă la alegerea referinței, noi structuri de date sunt necesare pentru stocarea rezultatelor generate de procedura de la primul nivel. În întâmpinarea impedimentului, algoritmul de identificare a relațiilor a fost modificat pentru a construi un graf orientat de dependențe, în care se depozitează concluziile execuției acestuia. În mod specific, graful asamblat este orientat, ponderat și poate să conțină cicluri, iar produsele finite ale primului strat din arhitectura de referință, adică relațiile și dependențele, sunt modelate folosind următoarea convenție:

- Un arc de la nodul i la nodul j cu ponderea $-N$ semnifică:
 - atunci când nodul i a fost setat ca referință, o dependență a nodului j față de nodul i a fost identificată (prezența arcului).
 - atunci când nodul i a fost setat ca referință, valorile măsurate ale nodului j au evoluat invers proporțional (semnul minus) față de valorile nodului i , într-o proporție cantitativă de $N\%$ (acest procent reprezintă rezultatul cantitativ identificat de către analiză, mai multe detalii referitoare la acest procent fiind disponibile în secțiunea 5 a tezei). Similar, o pondere pozitivă indică o evoluție direct proporțională a valorilor.
- Lipsa unui arc de la nodul i la nodul j exprimă faptul că evoluția valorilor măsurate ale celor două caracteristici corespunzătoare nodurilor în cauză nu este proporțională.

La fel de important, în implementarea actuală, graful de dependențe este stocat recurgându-se la matricea sa de adiacență, în interiorul căreia linia i conține valorile dependențelor tuturor nodurilor j , de pe coloane, față de i , din momentul în care nodul i a jucat rolul referinței. Cu certitudine, graful de dependențe formează o intrare (input) esențială pentru cel de-al doilea nivel din arhitectura de referință.

În altă ordine de idei, ultima îmbunătățire care a fost adusă soluției dezvoltate în capitolul 5 constă în abilitatea de a cuprinde caracteristici meteorologice în analiza relațiilor. În această direcție, date istorice privind vremea pot fi acum puse la dispoziția algoritmului de identificare a relațiilor și dependențelor, la primul nivel al arhitecturii de referință, la cererea explicită a utilizatorului, sursa acestor date fiind serviciul online DarkSky [233]. În eventualitatea în care utilizatorul selectează participarea datelor meteorologice istorice, atunci valorile caracteristicilor meteorologice relevante pentru industria apei, în speță, temperatura maximă, temperatura minimă, cantitatea de precipitații, umiditatea, presiunea atmosferică, viteza vântului și indexul ultraviolet UV, sunt obținute de la [233] pentru fiecare din zilele în care există în baza de date valori ale etichetelor (tags) care sunt implicate în analiză. În continuare se deschide o scurtă paranteză în legătură cu noțiunea de zi, în contextul implementării corespunzătoare acestei subsecțiuni. Astfel, se precizează că întreaga implementare lucrează, ca unități, cu pași de eșantionare, fiecare caracteristică fiind redusă la o singură valoare per pas de eșantionare, valoare procurată prin medierea aritmetică a tuturor valorilor din baza de date încadrate în fereastră temporală a pasului de eșantionare în discuție. Din cauza serviciului de la care se face aprovizionarea cu datele meteorologice, care livrează atât datele istorice, cât și prognozele, pe intervale zilnice, s-a fixat, ca pas de eșantionare, ziua, dată fiind

conjunctura, dar această constrângere nu provine din implementarea în sine. Spre închiderea acoladei, în cazul dispunerii de date meteorologice întinse pe perioade de timp mai mici, implementarea funcționează în mod identic și cu pași de eșantionare diferiți. Reîntorcându-ne la firul principal, pe post de cerință pentru accesarea datelor meteorologice, locația geografică a sistemului tehnic monitorizat trebuie să fie furnizată de către utilizator. Practic, din adresa oferită de către utilizator se determină longitudinea și latitudinea amplasamentului, folosind [234], ambele necesare pentru apelarea interfeței programabile (API) a serviciului DarkSky. Ulterior deținerii convenabile, în aplicația Historian, a valorilor fiecăreia dintre cele șapte caracteristici meteorologice considerate a fi de interes, aceste caracteristici sunt rotite în poziția referinței, câte una, pe rând, în algoritmul de identificare a relațiilor, care calculează doar dependențele etichetelor sistemului tehnic față de caracteristicile meteorologice. În accepțiune opusă, dependența caracteristicilor meteorologice de etichetele sistemului tehnic nu are sens, așa că nu este calculată. Deplasându-ne spre repercusiune, dacă utilizatorul alege să includă date meteorologice istorice în analiza executată de către algoritmul de prim nivel, atunci matricea de adiacență a grafului de dependențe va fi deformată, totalizând $i + e$ linii și i coloane, unde i semnifică numărul de etichete din interiorul sistemului monitorizat și e denotă numărul de etichete din exteriorul sistemului, în esență, numărul de caracteristici meteorologice. În mod evident, acest fapt insinuează că graful nu va fi, niciodată, în posesia a niciunui arc care să pornească de la o etichetă monitorizată a sistemului tehnic și să aibe ca destinație o caracteristică meteorologică.

De asemenea, îmbunătățirile descrise mai sus, exercitate asupra soluției din pasajul 5 al lucrării, au condus la modificarea interfeței grafice cu utilizatorul a aplicației Historian, noile componente ale interfeței fiind surprinse în Figura 7.2, de mai jos, comparativ cu versiunea anterioară din Figura 5.3.

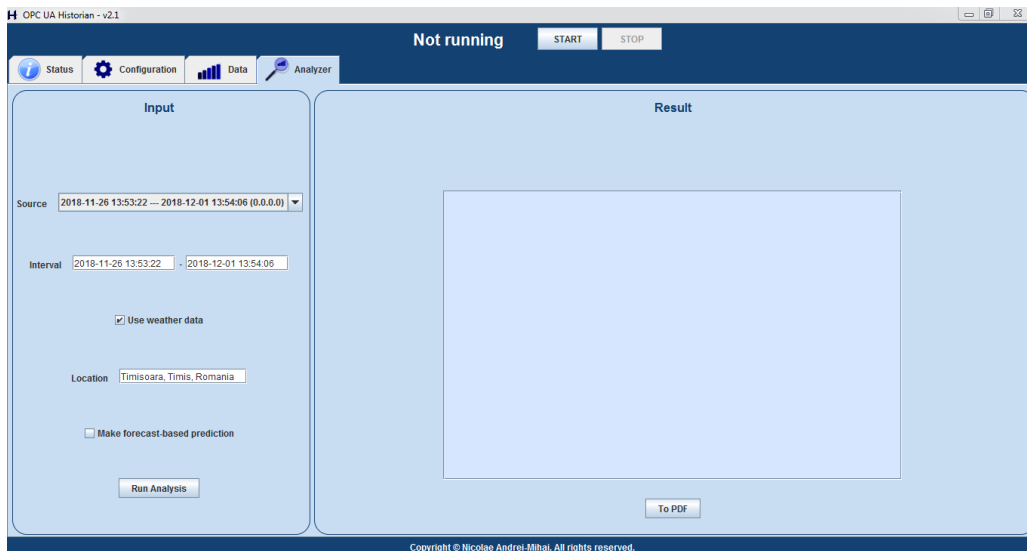


Figura 7.2. Elementele noi ale interfeței grafice cu utilizatorul, după îmbunătățirea versiunii aplicației Historian precedente implementării nivelului secund al arhitecturii de referință

În acest fel, se observă că utilizatorul poate activa acum, prin intermediul controlului intitulat *Make forecast-based prediction*, augmentarea aplicației Historian

cu algoritmul predictiv din al doilea strat al arhitecturii de referință, care va fi amănunțit mai jos. Totuși, această acțiune este îngăduită numai dacă date meteorologice istorice sunt folosite în algoritmul de identificare a relațiilor și dependențelor, la primul nivel, exigență care se semnalează cu ajutorul casetei *Use weather data*.

Așadar, se conchide porțiunea rectificărilor prestate în soluția dezvoltată în secțiunea 5, care au fost fundamentale pentru pregătirea implementării de la cel de-al doilea nivel al arhitecturii de referință. Mai departe, se introduce conturarea algoritmului predictiv cercetat și integrat în aplicația Historian, plasat la nivelul superior, care prezice evoluția viitoare a sistemului tehnic supravegheat, pe baza prognozei meteorologice și a relațiilor, conexiunilor și dependențelor identificate de către algoritmi de nivel primar. Simplificat, algoritmul arată cum va influența vremea prognozată funcționarea sistemului în viitor. În mod inevitabil, execuția algoritmului de predicție dezvoltat este condiționată de următoarele premise:

- Graful de dependențe, generat de algoritmi așezați la primul nivel, trebuie să fie disponibil
- Datele privind prognoza meteorologică trebuie să fie obținute de la [233]
- Cele mai recente valori ale etichetelor monitorizate, care țin locul valorilor inițiale în procesul de predicție, trebuie să fie extrase din baza de date, stipulându-se, însă, lipsa obligativității ca acestea să reprezinte valorile curente, în timp real. În cazul în care valorile curente nu se află la dispoziție, atunci cele mai recente se califică pentru uz.

Presupunând ipotezele premergătoare confirmate, algoritmul de predicție se situează în posibilitatea de a fi lansat în execuție, iar Figura 7.3 sumarizează o prezentare generală, de ansamblu, a algoritmului implementat.

```

┌ pentru z în zilele_prognodate
│   setează_valori_inițiale_pentru_ziua_curentă (z)
│   ┌ pentru m în caracteristici_meteorologice
│   │   traversare_în_lățime_a_grafului_de_dependențe (rădăcină_start = m)
│   │   └─┘
│   └─┘
└─┘

┌ funcție procesează_nod ()
│   proc_prec = calculează_procent_schimbare_în_nodul_precedent_față_de_ziua_anterioară ()
│   semn_prec = calculează_creștere_sau_scădere_valoare_în_nodul_precedent_față_de_ziua_anterioară ()
│   dep = citește_dependența_din_graf_pentru_arcul_de_la_nodul_precedent_la_nodul_curent ()
│   val_c = citește_valoarea_curentă_a_nodului_curent ()
│   proc_sch = calculează_procent_schimbare_pentru_nodul_curent (proc_prec, dep)
│   val_sch = calculează_valoarea_schimbării_în_unități_pentru_nodul_curent (proc_sch, val_c)
│   val_nou = calculează_noua_valoare_a_nodului_curent (val_sch, val_c, dep, semn_prec)
│   setează_valoare_nouă_pentru_nodul_curent (val_nou)
└─┘

```

Figura 7.3. Prezentare generală a algoritmului predictiv implementat

Din nou, nelăsând așteptate explicațiile schematizării, în momentul în care algoritmul predictiv începe precizarea valorilor pentru o nouă zi, prima dată inițializează valorile etichetelor monitorizate, din sistemul tehnic, pentru acea zi. În acest sens, pentru prima zi de predicție, valorile inițiale ale etichetelor sistemului sunt cele mai recente valori ale acestora din baza de date, iar pentru restul de zile prognozate, valorile inițiale sunt identice cu cele calculate de către algoritmul pentru ziua precedentă.

În succesiune, datele referitoare la prognoza meteorologică pot fi primite de la [233] pentru maxim șapte zile înainte, prin urmare, conducând la o traversare în lățime (BFS) a grafului de dependențe pentru fiecare dintre caracteristicile meteorologice consfințite, în fiecare dintre cele șapte zile viitoare. În plus, algoritmul standard de parcurgere în lățime a fost ajustat, pentru a memora nodul de la care traversarea a ajuns la nodul curent, informație necesită de funcția care procesează nodul curent, *procesează_nod*, rezumată în Figura 7.3. Pe de altă parte, nodul rădăcină al parcurgerilor în lățime este întotdeauna o caracteristică meteorologică, ceea ce înseamnă faptul că, plecând de la evoluția previzionată a caracteristicilor meteorologice, algoritmul poate să anticipeze cursul viitor al valorilor etichetelor sistemului tehnic, sprijinindu-se pe dependențele identificate de către algoritmul de la primul nivel între caracteristicile meteorologice și caracteristicile sistemului. Cu siguranță, prin executarea traversării în lățime, se ține cont de toate relațiile existente între etichetele sistemului tehnic, într-o manieră globală. De exemplu, prezumând o caracteristică, notată A, a sistemului tehnic, direct influențată de temperatură și caracteristica B a aceluiași sistem, invers impactată de către A, atunci, în circumstanța unei prognoze meteorologice sugerând o creștere a temperaturii pentru ziua următoare, calcularea doar a noii valori a caracteristicii A, bazată pe creșterea de temperatură, nu contribuie cu o predicție exactă a evoluției colective, universale a sistemului, deoarece o creștere în A cauzează, la rândul ei, o scădere în B. În contrast cu asemenea deficiențe, acest gen de situații sunt complet acoperite de către algoritmul implementat, căutându-se, astfel, atingerea unei predicții cât mai realiste.

Alături de sintetizarea aspectelor din proximitatea metodei parcurgerii grafului, dezvoltarea funcției *procesează_nod* a asimilat raționamentele:

- Calcularea procentului de schimbare în nodul precedent, adică nodul de la care pornește arcul care conduce la nodul curent, prin compararea valorii actuale a nodului precedent cu valoarea aceluiași nod în ziua precedentă.
- Calcularea semnului schimbării, respectiv, dacă valoarea nodului precedent a crescut sau a scăzut față de ziua anterioară.
- Folosind procentul de schimbare în nodul precedent și dependența din graf, algoritmul predictiv calculează procentul de schimbare pentru nodul curent. Bineînțeles, mai multe detalii în privința conotației valorii dependenței din graf se pot consulta în subsecțiunea 5.2 a tezei, dacă este nevoie.
- Procentul de schimbare pentru nodul curent este utilizat, mai departe, împreună cu valoarea actuală a acestui nod, pentru a determina valoarea de schimbare (diferența matematică, în unități, între noua și vechea valoare) pentru nodul de față.
- Valoarea de schimbare aderă, după aceea, valorii curente a nodului actual, dependenței corespunzătoare din graf și semnului de schimbare pentru nodul precedent, în calcularea noii valori a nodului de față, care va fi atribuită acestuia.

Oscilând în celălalt unghi, ieșirea algoritmului implementat reprezintă valorile precise pentru etichetele monitorizate din sistemul tehnic, timp de șapte zile de la data predicției, câte o valoare per pasul de eșantionare, și anume, o zi.

Mai presus de orice, până la această bornă a dezvoltării practice a aplicației Historian, soluția studiată pentru nivelul secund din arhitectura de referință se aliniază unei filozofii generice, care îi permite extinderea de la domeniul apei la orice industrie ale cărei particularități au legătură cu starea vremii. Însă, pentru a aplica și testa, în

realitate, algoritmul, un proces specific este absolut necesar, convenindu-se asupra SE din industria apei.

De altfel, declanșând trecerea la cea de-a treia și ultima parte a acestei subsecțiuni, posterior finalizării implementării acestei forme a nivelului secund al arhitecturii de referință în aplicația Historian, a devenit limpede faptul că atât algoritmul de identificare a relațiilor și dependențelor, cât și algoritmul predictiv ar putea să primească o îmbunătățire consistentă a preciziei, prin capitalizarea a diverse informații tipice procesului supravegheat, care să fie întrebuințate în timpul execuției algoritmului. În această direcție, câteva exemple ar fi, pe de-o parte, știind că prin valorile unei etichete se înțelege codul de eroare pentru o pompă, cunoștința poate fi fructificată în timpul analizei, pentru a evita recunoașteri fals pozitive de dependențe între consumul de energie al pompei și alte caracteristici, iar, pe de altă parte, comprehensiunea fluxului procesului pentru industria specifică este vitală, știind că, din punct de vedere al procesului, aerarea solicită o suflantă, care, implicit, consumă energie, favorizează orice modalitate de optimizare legată de consum. Deci, o soluție activă autonomă trebuie să înțeleagă, de la un anumit stadiu al dezvoltării înainte, semnificațiile din spatele etichetelor unui sistem tehnic, conceptul de aplicație historian conștientă de proces (process-aware) fiind esențial pentru predicții corecte, rețete, analize relevante ale dependențelor dintre date, cât și pentru interpretarea funcțiilor obiectiv și a constrângerilor.

În contextul creionat anterior, pentru a fi capabilă să colecteze și să folosească aceste informații specifice procesului, aplicația Historian a primit, chiar de acum, încă un modul software nou dezvoltat, *Process Editor*, avansat ca premeditare a unei etape viitoare de elevare, noul angrenaj admitând crearea unui model al procesului monitorizat, în interiorul aplicației Historian. În același timp, pentru încorporarea *Process Editor* în interfața grafică cu utilizatorul, s-au modificat elementele grafice din fila *Configuration*, de la ipostaza captată în Figura 3.4, la cea din Figura 7.4, care agreează deschiderea, într-o fereastră nouă, a *Process Editor*. Pe lângă deschiderea separată a *Process Editor* pentru a edita o definiție de proces existentă, aceeași imagine, Figura 7.4, dezvăluie și capacitatea de a adăuga sau șterge definiții de proces, acțiuni care se pot îndeplini prin utilizarea noilor butoane din interfața grafică intitulate *Add new*, respectiv *Delete currently selected*. Practic, gestionarea acestor procese instituite în interiorul soluției Historian este întregită de alegerea aceluia proces care se dorește a fi cel curent folosit, din multitudinea celor disponibile, selecționare derulată prin intermediul inventarului adiacent butonului denumit sugestiv *Set as currently used*. Pe această cale, se observă faptul că aplicația Historian se mulează pe binecunoscutului standard de programare CRUD (create, read, update, delete) în ceea ce privește manipularea informațiilor legate de specificitatea proceselor tehnice cu care interacționează. Similar cu imaginea din capitolul terț, ascunderea unor date din captura de ecran de mai jos s-a efectuat din considerente legate de confidențialitate, nenegociabile în relația cu compania de apă a cărei sistem tehnic a servit ca material de studiu.

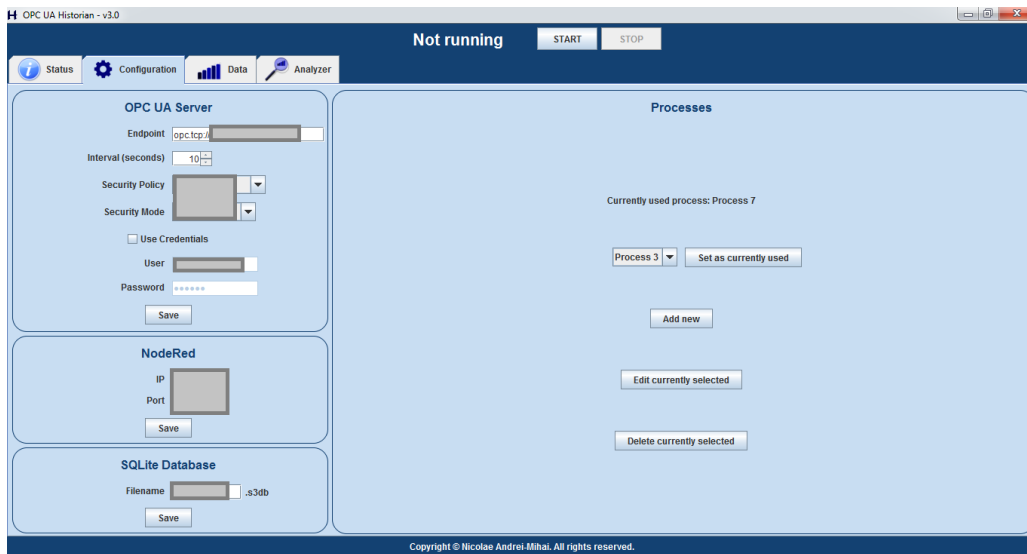
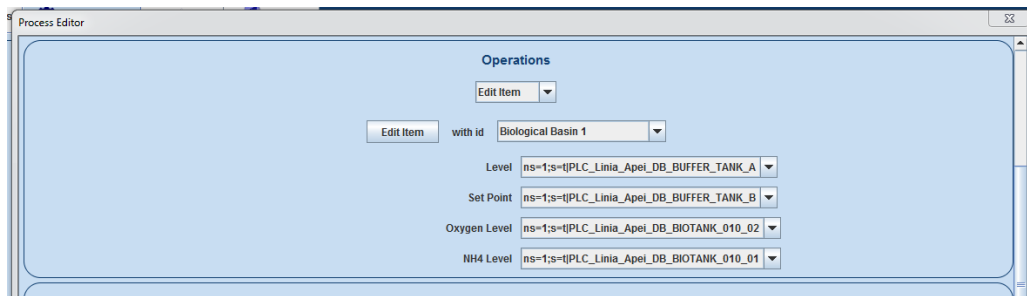
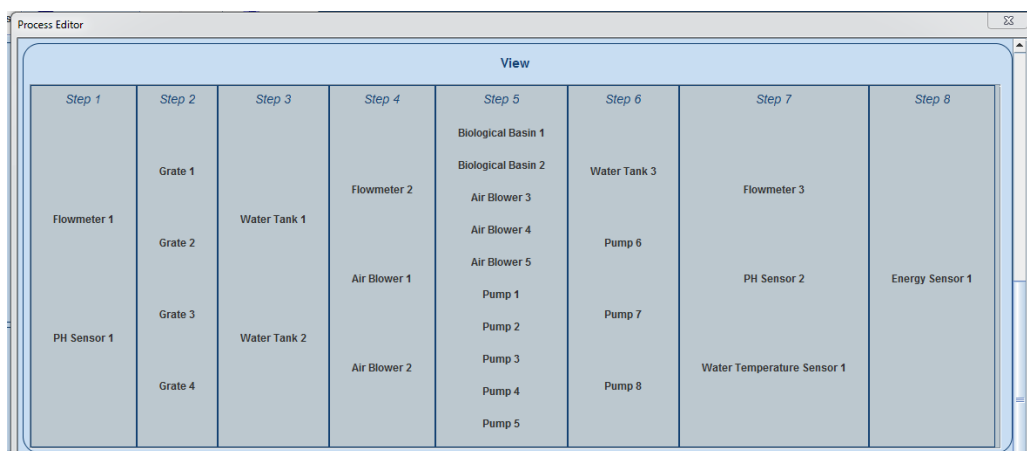


Figura 7.4. Noua versiune a filei *Configuration* din interfața grafică, integrând *Process Editor*

În conformitate cu imaginea de mai sus, multiple procese pot fi definite, dintre care numai unul poate fi setat drept cel curent folosit, pluralitatea activităților cunoscute facilitând, după caracterizarea prealabilă a acestora, o alternanță extrem de ușoară, în Historian, între diferite procese supravegheate. Realmente, aplicația Historian, conștientă de proces, cere de la utilizator maparea datelor principale, în funcție de o serie de caracteristici predefinite ale componentelor procesului. În continuare, edificând aserțiunea, un proces definit în interiorul *Process Editor* conține pași (step), care, la rândul lor, înglobează obiecte (item), existând o varietate de tipuri prestabilite de obiecte, paletă din care utilizatorul poate să aleagă, fiecare obiect stăpânind propriile sale caracteristici, de asemenea, predefinite. În această latură, exemple elocvente pentru industria apei ar fi, pe post de obiecte, sursă de apă, suflantă de aer, pompă, debitmetru, bazin apă, iar pe post de caracteristici ale unui bazin biologic, nivel, punct de referință setat al nivelului apei, nivel oxigen, nivel NH₄. Desigur, pentru fiecare caracteristică, utilizatorul poate fixa o etichetă (tag) din lista de etichete de pe serverul care expune parametrii sistemului tehnic, în acest fel, asignând un înțeles fiecărei etichete monitorizate. În epilogul acestui paragraf, Figura 7.5 prezintă editarea unui obiect (item) din *Process Editor*, în timp ce Figura 7.6 înfățișează un subproces al unei SE, așa cum este adăugat în *Process Editor* din Historian. Dincolo de acestea, posibilitatea de a asocia diverse constrângeri fiecărei reprezentări de proces a fost și aceasta implementată, fiind ilustrată în Figura 7.7.

Figura 7.5. Editarea unui obiect (item) în *Process Editor* din HistorianFigura 7.6. Subproces al unei SE, așa cum este definit în *Process Editor* din Historian

The screenshot shows the 'Constraints' section of the Process Editor. It includes a dropdown menu for the constraint type, a value input field (1,000), and an 'Add' button. Below this is a 'Delete' button and a 'with id' dropdown menu (1). A table lists the constraints:

Id	OPC UA Tag	Relation	Value
1	ns=1;s= PLC_Linia_Apei_DB_BLOWER_030_VB_10	>	1,000
2	ns=1;s= PLC_Linia_Apei_DB_BLOWER_030_VB_20	>	1,000
3	ns=1;s= PLC_Linia_Apei_DB_PUMP_110_PP_10	>	1,000
4	ns=1;s= PLC_Linia_Apei_DB_PUMP_110_PP_20	>	1,000
5	ns=1;s= PLC_Linia_Apei_DB_PUMP_110_PP_30	>	1,000
6	ns=1;s= PLC_Linia_Apei_DB_PUMP_110_PP_40	>	1,000
7	ns=1;s= PLC_Linia_Apei_DB_PUMP_110_PP_50	>	1,000
8	ns=1;s= PLC_Linia_Apei_DB_PUMP_090_PP_10	>	1,000
9	ns=1;s= PLC_Linia_Apei_DB_PUMP_090_PP_20	>	1,000
10	ns=1;s= PLC_Linia_Apei_DB_PUMP_090_PP_30	>	1,000
11	ns=1;s= PLC_Linia_Apei_DB_BIOTANK_010_01	<=	23,500
12	ns=1;s= PLC_Linia_Apei_DB_BIOTANK_010_02	<=	23,500

Figura 7.7. Constrângerile procesului, adăugate în *Process Editor* din Historian

Oricum, ținând seama de păstrarea unei orientări cât mai generice a aplicației Historian, care să nu restricționeze soluția doar la industria apei, chiar dacă se oferă prestabilite atât tipurile de obiecte, cât și caracteristicile acestora, răspunsul la problema evidentă a limitării generalității implementării a constat în compunerea unui cadru (framework) generic. Consecvent, acesta recurge, pe de-o parte, pentru construirea automată a elementelor de interfață grafică necesare, iar, pe de altă parte, pentru interacțiunea cu structura XML utilizată pentru stocarea tuturor definițiilor proceselor întemeiate în *Process Editor*, la conținutul a două tablouri (arrays), de tip Java String, care schițează toți constituenții predefiniți. În scop exemplificativ, cele 2 tablouri pe baza cărora se orchestrează întregul *Process Editor* sunt capturate în Figura 7.8.

```
public static String[] processesItemTypeOptions =
{
    "Water Source",
    "Flowmeter",
    "Water Temperature Sensor",
    "PH Sensor",
    "Energy Sensor",
    "Aeration Tank",
    "Air Blower",
    "Pump",
    "Chlorine Injection Sensor",
    "Chlorine Scale",
    "Sand/Charcoal Filter",
    "Sludge sequential decanter",
    "Water Tank",
    "Grate",
    "Biological Basin"
};

public static String[][] processesItemsSpecificCharacteristics =
{
    {"Status", "Level", "Reference Level", "Flow", "Reference Flow", "Volume", "Energy", "No. of Starts"},
    {"Flow", "Volume", "Pressure"},
    {"Temperature"},
    {"PH"},
    {"Energy"},
    {"Level", "Reference Level", "Oxygen"},
    {"Status", "Fault", "Energy", "Revolution Speed", "Functioning Time"},
    {"Status", "Fault", "Power", "Revolution Speed", "Functioning Time", "Energy"},
    {"Measurement", "Temperature", "Dosage"},
    {"Mass", "kg per month"},
    {"Flow", "Functioning Hours", "Filtration Hours", "Washing Hours"},
    {"Level", "Solid Suspensions"},
    {"Level"},
    {"Status"},
    {"Level", "Set Point", "Oxygen Level", "NH4 Level"}
};
```

Figura 7.8. Tablourile care fixează elementele predefinite folosite în *Process Editor*

În mod cert, abordarea desemnată de Figura 7.8 implică faptul că anexarea, dar și eliminarea obiectelor sau caracteristicilor acestora impune doar o mică și banală schimbare, într-un tablou de variabile, dispărând imperativitatea altor intervenții la organizarea elementelor de interfață grafică sau la gestionarea conlucrării cu tiparul XML. Astfel, se menține o soluție potrivită pentru potențiale expansiuni facile spre alte industrii, reconversiile spre acestea fiind rapide și fără o invazie majoră în proiectul Historian.

După cum probabil se intuiește, salvarea tuturor proceselor definite se face sub formă de XML, într-un fișier pe disc, criptat, Figura 7.9 punând la dispoziție o mostră de asemenea XML, care cuprinde modelul salvat pe disc al fiecărui proces descris în *Process Editor* din Historian, firește, în format decriptat în cele ce urmează.

```

<HistorianUserDefinedProcesses>
  <currentProcess>Process 7</currentProcess>
  <Process name='Process 3'>
    <Step name='Step 1'>
      <Item name='Water Source 1'>
        <Status>ns=1;s=t|F1_Status_pompa</Status>
        <Level></Level>
        <Reference_Level></Reference_Level>
        <Flow>ns=1;s=t|F1_Debit</Flow>
        ...
      </Item>
      <Item name='Water Source 2'>
        ...
      </Item>
    </Step>
    <Step name='Step 2'>
      ...
    </Step>
    <Constraints>
      <Constraint name='1'>
        <Tag>ns=1;s=t|F2_Tens</Tag>
        <Relation><![CDATA[>]]</Relation>
        <Value>6,000</Value>
      </Constraint>
      <Constraint name='2'>
        ...
      </Constraint>
    </Constraints>
  </Process>
  <Process name='Process 4'>
    ...
  </Process>
</HistorianUserDefinedProcesses>

```

Figura 7.9. Exemplu de XML folosit pentru stocarea definițiilor proceselor realizate în *Process Editor* din Historian

În concluzia subsecțiunii, soluția implementată practic în această fază a cercetării beneficiază și uzitează de stadiul atins în etapele anterioare de studiu și clădește peste acestea. În orice caz, subcapitolul a înșiruit, pe rând, delimitat în trei părți din perspectivă logică, îmbunătățirile aduse formulărilor software din ciclurile inițiale ale tezei, urmate de algoritmul predictiv localizat în nivelul 2 al arhitecturii de referință, pentru a încheia cu pregătirea aplicației pentru acumularea înțelesului a ceea ce reprezintă etichetele procesului monitorizat, în anticiparea exploatarei acestor cunoștințe într-o dezvoltare viitoare. În mod concis, s-a obținut, la capătul implementării, o variantă funcțională de armonizare în practică a nivelului secund al arhitecturii de referință adresate unei soluții historian autonome, de tip proactiv.

7.4. Scenarii de test și discutarea rezultatelor

Fundamentând punctul de plecare în noua subsecțiune prin dorința de a testa și valida atributele nou implementate ale aplicației Historian, relatate în subcapitolul anterior al tezei, au fost considerate, în continuare, mai multe scenarii de test, în industria apei, referitoare la o SE reală, deținută și operată de către aceeași companie de apă regăsită în parteneriatul cu echipa de cercetare.

Bineînțeles, testele au fost efectuate folosind cea mai recentă versiune a aplicației Historian, care a inclus implementările atât ale primului, cât și ale celui de-al doilea nivel al arhitecturii de referință. La fel ca în sesiunile de testare circumscrise în fazele apriorice de cercetare, soluția a fost instalată pe platforma Raspberry Pi.

În mod concret, au fost catalogate și examinate șapte scenarii de test pentru validarea implementării celui de-al doilea nivel al arhitecturii de referință, fiecare dintre acestea acoperind o perioadă de timp în care au fost colectate date reale de la SE. În acest sens, un set de date relevante ale unui proces de la o SE poate să conțină între 200 și 2000 de etichete, deși numărul total de etichete dintr-o SE poate să depășească 6000. Oricum, din întregul set de etichete, cele monitorizate în scenariile de test actuale sunt numai cele prefigurate ca adecvate pentru a fi prezise, cu privire la evoluția vremii, în așa fel încât numărul de etichete analizate pentru predicția valorii a fost 26, în toate cele șapte scenarii. În aceeași idee, cele 26 de etichete au fost fixate de către membrii echipei de cercetare, fiind apreciate drept cele mai reliefante și având cea mai mare posibilitate de a fi utilizate în optimizări viitoare, acestea reprezentând, mai ales, consumuri de curent electric pentru diferite pompe și suflante de aer, diverse volumuri de apă în interiorul SE și indicatori ai calității apei, cum ar fi turbiditatea. Mai departe, Tabelul 7.1 detaliază cele șapte scenarii de test din punct de vedere al intervalelor de timp consemnate și al numărului de etichete semnalate de către algoritmul primului nivel ca posedând o evoluție a valorilor dependentă de cel puțin una dintre caracteristicile meteorologice din respectivul interval.

Tabelul 7.1. Perioadele și impactul influenței vremii în scenariile de test ale nivelului secund

Număr scenariu de test	Perioada de colectare a valorilor etichetelor analizate	Numărul de etichete analizate	Numărul de etichete identificate ca fiind legate de vreme
1	28.01 – 26.02 2020	26	2
2	28.01 – 26.02 2020	26	2
3	28.01 – 03.02 2020	26	12
4	28.01 – 06.02 2020	26	9
5	28.01 – 10.02 2020	26	10
6	22.02 – 26.02 2020	26	17
7	17.02 – 26.02 2020	26	6

În acord cu așteptările, decurge amănunțirea procedurii de test, primordial, aplicația Historian fiind întrebuințată pentru a depozita valorile măsurate ale etichetelor (tags) selecționate, pe perioada de timp prezentată în Tabelul 7.1, sarcină care nu a reclamat participarea niciunei caracteristici proactive și ar fi putut fi realizată de orice aplicație historian clasică. După aceea, caracteristicile proactive au fost supuse evaluării, prin executarea algoritmului predictiv, pentru fiecare scenariu de test în parte, uzitându-se de controalele din interfața grafică ilustrate în Figura 7.2, din subcapitolul premergător. Cu siguranță, intrările (inputs) pentru rularea de test au înglobat date meteorologice istorice, alături de valorile înregistrate ale etichetelor din sistemul monitorizat și s-a început cu prestarea algoritmului de la primul nivel, în speță, varianta îmbunătățită descrisă în subsecțiunea precedentă, derivată din cea implementată în fragmentul 5.3, care a generat la ieșire (output) graful de dependențe, câte unul distinct pentru fiecare scenariu de test, precum exemplul atașat în Figura 7.10, de mai jos, corespunzând scenariului de test cu numărul 7 din Tabelul 7.1. De fapt, în construirea reprezentării din Figura 7.10, exclusiv etichetele și relațiile lor aferente, care au fost depistate dependente de cel puțin una dintre caracteristicile meteorologice au fost luate în seamă, deoarece o abordare a desenării alcătuită din toate etichetele sistemului supravegheat și legăturile lor de rigoare ar fi transformat schematizarea într-una dificil de urmărit.

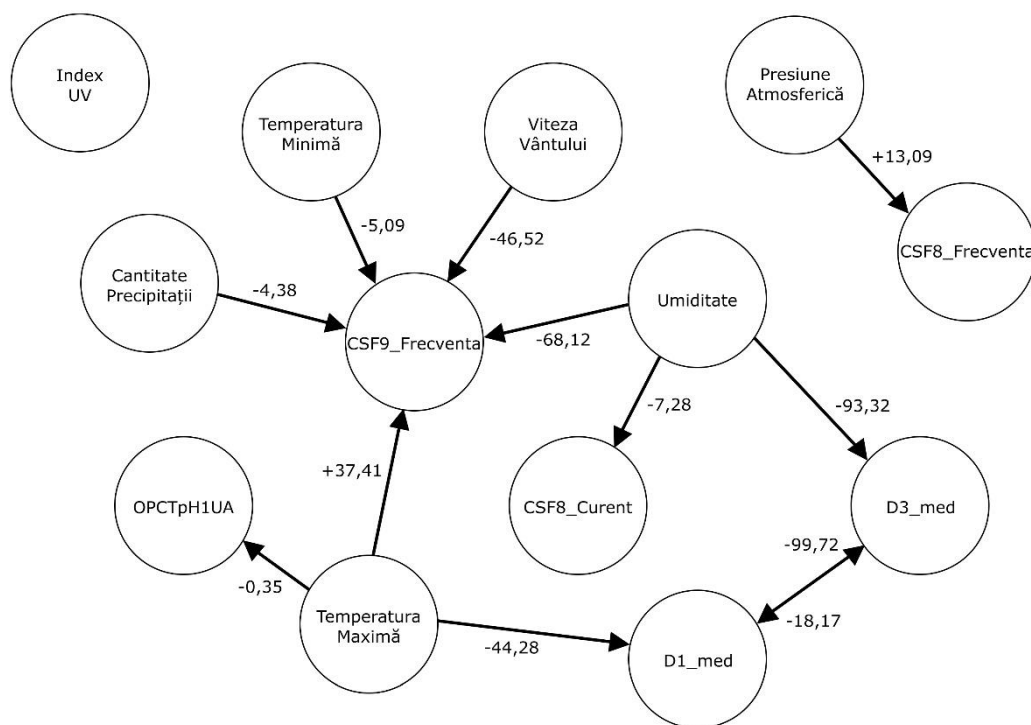


Figura 7.10. Graful de dependențe în scenariul de test cu numărul 7, reprezentare cuprinzând doar etichetele dependente de caracteristici meteorologice

În succesiune, grafurile de dependențe, așa cum este și cel arătat în Figura 7.10, au fost folosite pe post de intrare (input), împreună cu prognoza meteorologică, obținută de la [233] și cu cele mai noi valori ale etichetelor la momentul analizei,

pentru algoritmul predictiv menționat în subsecțiunea prealabilă. În mod deloc surprinzător, consecința rulării acestuia s-a reflectat în calcularea cu succes de către algoritm a valorilor precise, pentru fiecare dintre cele 26 de etichete din sistemul monitorizat, în următoarele șapte zile începând de la data execuției, în fiecare dintre cele șapte scenarii de test. Practic, algoritmul de predicție dezvoltat a estimat impactul pe care vremea prognozată îl va avea asupra sistemului tehnic în viitor, prin identificarea și înțelegerea, din datele istorice înmagazinate, a conexiunilor care există între vreme și etichetele sistemului tehnic. Astfel, au rămas la îndemâna echipei de cercetare nu mai puțin de șapte predicții diferite, toate plănuite pentru perioada 4-10 martie 2020, fiecare dintre acestea asimilând valori pentru cele 26 de etichete, în funcție de dependențele detectate în acel scenariu. În această direcție, un mic eșantion al rezultatelor numerice predictive produse de execuția algoritmului, din scenariul de test cu numărul 5, este plasat în Figura 7.11, în care documentul PDF suport a fost exportat direct din aplicația Historian.

```

Prediction results

Date: Wed Mar 04 00:00:00 EET 2020

F1_Debit_T: 65850.67
F1_Curent: 3.65
F1_Turatia_Pompa: 0.0
F2_Debit_T: 196605.8
F2_Curent: 0.08
F2_Turatia_Pompa: 0.0
F3_Debit_T: 84777.09999997432
F3_Curent: 0.1
F3_Turatia_Pompa: 0.0
D1_med: 0.0
D1_index: 0.0
OPCTTP1UA: 14.269999999997724
OPCTpH1UA: 8.4
CSF7_Curent: 4.37
CSF7_Frecventa: 0.0
CSF8_Curent: 4.175208435508391
CSF8_Frecventa: 0.0
CSF9_Curent: 163.34
CSF9_Frecventa: 0.0
SPI1_ENERGIE: 3.637763609612555
CSF10_Curent: 0.0
CSF10_Frecventa: 39.78
SPI2_ENERGIE: 1.0
D3_med: 25.34
D3_index: 0.0
TGD1_Ep: 700386.95

Date: Thu Mar 05 00:00:00 EET 2020

F1_Debit_T: 65807.39
F1_Curent: 3.94
F1_Turatia_Pompa: 0.0
F2_Debit_T: 199634.42
F2_Curent: 0.11
F2_Turatia_Pompa: 0.0
F3_Debit_T: 84777.09999997432
F3_Curent: 0.15
F3_Turatia_Pompa: 0.0
D1_med: 0.0
D1_index: 0.0
OPCTTP1UA: 14.269999999997724
OPCTpH1UA: 8.41
CSF7_Curent: 4.41
CSF7_Frecventa: 0.0
CSF8_Curent: 4.175208435508391
CSF8_Frecventa: 0.0
CSF9_Curent: 86.53
CSF9_Frecventa: 0.0
SPI1_ENERGIE: 3.637763609612555
CSF10_Curent: 0.0
CSF10_Frecventa: 39.83
SPI2_ENERGIE: 1.0
D3_med: 25.37
D3_index: 0.0
TGD1_Ep: 700168.01

Date: Fri Mar 06 00:00:00 EET 2020

F1_Debit_T: 64636.63

F1_Curent: 3.94
F1_Turatia_Pompa: 0.0

```

Figura 7.11. O parte a ieșirii algoritmului de predicție pentru scenariul de test cu numărul 5

Ulterior determinării predicțiilor, aplicația Historian a fost lăsată în operare pentru a achiziționa și memora valorile celor 26 de etichete, pentru durata dintre 4 și

10 martie 2020, adică exact cele șapte zile înainte pentru care este făcută predicția. În acest fel, la sfârșitul celor șapte zile pentru care au fost disponibile valorile prezise ale etichetelor, valorile reale, efective ale acestora, preluate de la SE, au fost, la rândul lor, accesibile, facilitând o cântărire a viabilității algoritmului de predicție.

Pentru susținerea unei discerneri a aspectelor concludente, în fiecare dintre cele șapte scenarii de test avute în vedere, valorile prezise au fost comparate cu valorile reale. Apoi, cele mai semnificative rezultate, considerând toate scenariile de test, în privința potențialului de optimizări și îmbunătățiri viitoare în sistemul tehnic supravegheat au fost sumarizate în Figura 7.12, extrasă dintr-un centralizator menținut în Microsoft Excel și sunt explicate în prelungirea clasificării tabelare.

#		04.03.2020	05.03.2020	06.03.2020	07.03.2020	08.03.2020	09.03.2020	10.03.2020	Eroarea Medie
CSF10_Curent	Prezis	3.978	3.983	4.009	4.018	4.042	4.047	-	8.340
	Real	4.311	4.346	4.402	4.400	4.384	4.425	-	
	Eroare	7.729	8.353	8.934	8.690	7.798	8.535	-	
OPCTpH1UA	Prezis	1.084	1.084	1.085	1.085	1.086	1.086	-	0.413
	Real	1.080	1.080	1.080	1.080	1.082	1.081	-	
	Eroare	0.326	0.401	0.464	0.452	0.340	0.493	-	
TGD1_Ep	Prezis	700386.950	700568.010	700807.450	701174.740	701213.080	701382.850	701560.570	8.500
	Real	763665.357	765490.546	766042.646	766599.938	766929.821	767016.004	767199.572	
	Eroare	8.286	8.481	8.516	8.534	8.569	8.557	8.556	
CSF7_Curent	Prezis	4.370	4.410	3.940	4.000	3.910	3.930	3.980	15.801
	Real	4.833	4.936	4.976	4.764	4.757	4.847	4.783	
	Eroare	9.575	10.649	20.827	16.046	17.805	18.918	16.790	
F2_Debit_T	Prezis	199605.800	199634.420	199806.530	207457.010	208508.560	209463.310	212342.880	8.694
	Real	224429.000	224472.474	224589.842	224808.748	225061.228	225096.466	225123.343	
	Eroare	11.061	11.065	11.035	7.718	7.355	6.945	5.677	

Figura 7.12. Cele mai semnificative rezultate ale scenariilor de test

Așadar, Figura 7.12 înregistrează cinci etichete, sub denumirile *CSF10_Curent*, *OPCTpH1UA*, *TGD1_Ep*, *CSF7_Curent* și *F2_Debit_T*, ale căror valori au fost identificate ca fiind legate de evoluția unor caracteristici meteorologice. Astfel, pentru fiecare dintre aceste etichete, Figura 7.12 dezvăluie valoarea prezisă, pe liniile albastre și valoarea reală, pe liniile verzi, în fiecare dintre cele șapte zile prevăzute, echivalente cu cele șapte coloane care au capete de tabel sugerând date calendaristice. În plus, liniile roșii înfățișează eroarea predicției pentru fiecare etichetă, în fiecare zi, eroare calculată în procente, cu ajutorul formulei:

$$E = \frac{\text{abs}(P - R) \cdot 100}{R} \quad (7)$$

unde:

- E este eroarea predicției unei etichete într-o anumită zi
- P este valoarea prezisă a etichetei
- R este valoarea reală a etichetei
- abs este o funcție standard Excel, care returnează valoarea absolută a parametrului primit

Revenind la Figura 7.12, coloana din extremitatea dreaptă, intitulată *Eroarea Medie*, mediază aritmetic valorile erorii E contabilizate per fiecare zi pentru respectiva etichetă.

În derularea perpetuă a acestei subsecțiuni va avea loc interpretarea expunerilor din Figura 7.12, odată cu accentuarea oportunităților viitoare de

perfecționare ale unei SE, prin intermediul profitării de pe urma prevestirii evoluției etichetelor în cauză.

În primul rând, eticheta *CSF10_Curent* subscie intensității, exprimate în amperi, a curentului electric consumat de o pompă, care este folosită pentru transferul apei uzate de la tratamentul mecanic la tratamentul biologic, în interiorul unei SE. În mod normal, această pompă se utilizează mai puternic pe măsură ce mai multă apă reziduală intră în sistem, având un comportament similar cu pompa de ocolire (bypass). Concordant cu ambianța industrială, abilitatea de a prezice cu acuratețe folosirea acestor pompe preconizează capabilitatea de a pronostica gradul de utilizare a sistemului de ocolire (bypass), care dispune de o amprentă masivă atât asupra consumului general de electricitate al SE, cât și asupra cheltuielilor totale cu substanțele ale SE. Din nou, dozarea orelor de funcționare ale pompelor de transfer și a sistemului de ocolire (bypass) sunt dependente de precipitații în cazul majorității stațiilor, conducând la concluzia că algoritmul de predicție ar putea aduce o valoare adăugată palpabilă în această zonă.

În al doilea rând, eticheta *OPCTpH1UA* comunică valorile turbidității apei, măsurate la ieșirea din SE, o caracteristică reper pentru calitatea apei, după aplicarea tratamentului în interiorul SE. În mod clar, acest parametru trebuie să îndeplinească unele cerințe legale în ceea ce privește limitele sale, iar prezicerea acestei etichete contribuie la estimări mai bune ale consumurilor viitoare de substanțe.

Mai departe, eticheta *TGD1_Ep* reprezintă consumul de energie total al SE, anticiparea corectă a acestuia fiind indispensabilă pentru orice optimizare ulterioară legată de energie în SE.

De asemenea, eticheta *CSF7_Curent* divulgă intensitatea, tot în amperi, a curentului electric consumat de o suflantă de aer, care introduce oxigen într-un bazin biologic. În această situație, cotarea precisă a acestei valori creează șansa înțelegerii și prezicerii necesarului energetic al unui bazin biologic și ponderea acestuia în consumul total de energie al stației.

În fine, eticheta *F2_Debit_T* face cunoscut volumul apei la intrarea în SE, o predicție apropiată de realitate a acestuia permițând o expertiză în avans de încredere a consumurilor totale de energie și substanțe, dar și a proporției de întreținere a sistemului de ocolire (bypass). Desigur, volumul apei la admisia în SE este influențat din plin, în mod direct, de caracteristicile meteorologice, în special de cantitatea de precipitații.

Fără îndoială, diferențele de predicție dintre scenariile de test inserate în discuție au fost pricinuite de deosebirile existente în recunoașterea dependențelor dintre date, care, la rândul lor, se datorează varietății de caracteristici meteorologice întâlnite în timpul fiecărei perioade de timp acoperite de scenariile de test. Cu toate acestea, echipa de cercetare a putut întrevădea diverse posibile căi de optimizare de urmat într-o viitoare implementare de nivel 3 a arhitecturii de referință.

Îndreptându-ne spre o conchidere a analizei rezultatelor, cele șapte scenarii de test implicate au capitalizat cu succes datele reale strânse din SE, cu deznodământ promițător. Din nefericire, acuratețea generală exactă a algoritmului de predicție este foarte greu de evaluat deoarece aceasta este direct influențată de către precizia prognozei meteorologice. În apărarea acestei ipoteze, o abatere de 1°C între temperatura prognozată și temperatura reală, la o valoare de 5°C, adică temperatura medie pe parcursul intervalului temporal în care s-au desfășurat scenariile de test, îndrumă spre o eroare de 20%, care este introdusă de către inexactitatea prognozei meteorologice, nu de către algoritmul dezvoltat. Pe lângă acestea, inspectarea datelor istorice adunate pe o întindere de timp în care anumite fenomene meteorologice nu au fost notate, de exemplu, nu a plouat, ar putea înclina spre împrejurările în care

algoritmul de identificare a relațiilor, de la primul nivel, nu găsește nici o dependență între unele dintre caracteristicile meteorologice și etichetele sistemului tehnic, chiar dacă acestea ar putea să existe. Deci, carența precedent revelată comasează faptul că acuratețea totală a algoritmului ar putea fi cuantificată mai bine în urma reconsiderării unor scenarii de test pe termen mai lung, extinzându-se pe multiple luni, sau chiar ani.

În contrast cu maniera de prezentare a procedurilor de testare din celelalte subcapitole, din cauza, pe de-o parte, a creșterii aproape exponențiale a dimensiunilor grafului de dependențe atunci când un număr mai mare de etichete (tags) este inclus, ceea ce duce la depășirea capacităților umane de urmărire limpede și, pe de altă parte, a spațiului excesiv de vast din lucrare pe care l-ar fi revendicat, orice scenariu de test care grupează un număr foarte mare de etichete este infeasibil a fi detaliat în această secțiune prin edificarea minuțioasă a fiecărui pas al analizei. În acest context, s-a decis ca subsecțiunea de față să extragă anumite porțiuni dintr-o diversitate înrudită de scenarii de test, care să fie potrivite pentru evidențierea celor mai importante principii. În ciuda acestor particularități de transmisibilitate a mesajului, punând în balanță toate testele efectuate de către echipa de cercetare, cea mai recentă versiune a aplicației Historian poate fi validată drept o soluție aptă pentru calcularea impactului caracteristicilor meteorologice asupra unui sistem tehnic din industrie, bifând, astfel, obiectivele trasate pentru faza curentă de cercetare.

În pecetluirea acestei subsecțiuni, orientate spre testarea elementelor de nivel secund al arhitecturii de referință, completate aplicației Historian în subcapitolul anterior, se constată că au fost trecute în revistă șapte scenarii de test, s-au lămurit pașii de test care au fost respectați în toate scenariile, pentru ca în fracțiunea finală să se enumere și discute rezultatele obținute, care au validat implementarea practică.

7.5. Concluzii

Atâta timp cât asumarea provocării materializării generației viitoare de aplicații de tip historian, proactive, integral funcționale, testate, validate, care își vor dovedi valoarea în industria de mâine, a fost pusă în mișcare de către echipa de cercetare, prin investirea în etapele de studiu indexate până la acest punct în teză, soldate cu rezultate încurajatoare, demersurile reunite sub capitolul 7 al acestei lucrări sunt înseriate acestora, sprijinind, în mod evident, acest efort și împingând soluția cu o idee și mai proximal de țelul suprem.

În acest sens, ciclul de cercetare actual s-a axat pe aprofundarea modalităților de a implementa practic anumite componente, care să fie, din perspectivă conceptuală, corespondente nivelului secund din arhitectura de referință deconspirată în secțiunea 4.

Alături de acestea, s-a dorit aducerea în ecuație a unor date de context relevante pentru procesul monitorizat atât la primul, cât și la cel de-al doilea nivel din arhitectura de referință. Bineînțeles, s-a cristalizat intenția rămânerii ancorării în industria apei, în scopul accesării mult mai lesne a unor sisteme reale, prin parteneriatul cu compania de apă. În acest cadru, s-a luat act de faptul că, în industria apei, unele dintre datele de context care au o influență însemnată asupra proceselor tehnologice specifice sunt cele meteorologice, cu precădere în SE.

Așa că a șaptea diviziune a redat, inițial, procesele tipice din interiorul unei SE, pentru a inventaria, mai apoi, și problemele definitorii, din sfera practică, pentru aceste instalații industriale, înaintea listării dependențelor tradiționale ale

parametrilor SE față de vreme. În continuare, s-a studiat și implementat, prin alipirea la aplicația Historian construită până în acel moment, un algoritm de predicție a valorilor etichetelor supravegheate ale SE. În plus, a fost dezvoltat și un modul software nou, denumit *Process Editor*, destinat colectării asocierilor de înțeles particular, legat de proces, pentru etichetele acestuia, de la operatori, în aplicația Historian, informații deosebit de prețioase pentru viitoarele manifestări în direcția optimizării. În cele din urmă, activitățile s-au încheiat cu testarea și validarea aplicației, folosind scenarii de test adecvate pentru SE, rezultatele dobândite fiind mulțumitoare.

În altă ordine de idei, contribuțiile prezentate în această etapă de cercetare oferă atât îmbunătățiri primului nivel din arhitectura de referință, cât și un aport stratului secund al aceleiași arhitecturi, sub forma prezicerii valorilor etichetelor sistemului tehnic, cu privire la datele meteorologice integrate ca și date de context, în același timp, pregătind și drumul pentru viitoare prospecții inovatoare.

Totuși, deși ținta principală a dezvoltării curente o reprezintă industria apei, s-a reușit conservarea unei mentalități generice în augmentarea aplicației Historian, chiar și la acest nivel, în așa fel încât aceasta nu a devenit constrânsă la industria apei, fiind convenabilă o eventuală metamorfozare ușoară spre altă industrie, cu toate caracteristicile implementate până acum.

În paralel, contingentul științific îmbrățișat în secțiunea 7 a tezei a stat la baza elaborării, recenzării de specialitate, acceptării și publicării articolului [235] într-un jurnal de circulație internațională.

Finalmente, se profilează luarea parte la întregirea, cu această ocazie, a unei alte perioade de explorare experimentală, care și-a atins, fără ezitare, toate aspirațiile prestabilite, pentru a ceda, în succesiune, locul în lucrare ultimei etape de cercetare întreprinse sub structura acestor studii doctorale, aliniată mai jos, ca fragment de capăt al operațiunilor de elevare a soluției Historian elementare spre zona proactivă, unde, deocamdată, nu există produse echivalente.

8. AUTOMATIZAREA COMPLETĂ A STRATEGIEI DE REDUCERE A CONSUMULUI DE ENERGIE DIN STAP

8.1. Aspecte specifice STAP relevante în context

Prefațând capitolul 8, se enunță faptul că acesta învăluie ultima etapă de cercetare ramificată sub auspiciul circumstanțelor doctorale în curs, fază ale cărei preocupări vizează o consonanță cu nivelul superior, cel de-al treilea, din arhitectura de referință instituită în pasajul 4 al lucrării.

Astfel, runda de investigație și inovație aflată sub lupă s-a concentrat pe continuarea strategiei promovate în partea a șasea a tezei și integrarea completă a acesteia în aplicația Historian proactivă, scopul fiind obținerea capabilității de a influența funcționarea surselor de apă ale unei STAP pentru reducerea consumului de energie, într-o operare neinvazivă, autonomă și neasistată de om. În mod concret, s-a abordat, esențialmente, dificultatea identificării și adaptării automate a indicatorilor de calitate ai surselor de apă, fiind proiectată o soluționare prin intermediul analizei continue, automate, pe termen lung, în interiorul aplicației Historian proactive. Adițional, în plan auxiliar, s-a acționat și pentru realizarea unei detalieri suplimentare, a unor ajustări și testări ale implementărilor și conceptelor în cadrul soluției Historian, premeditându-se, în acest fel, o evoluție pe scara nivelului de pregătire tehnologică. Persistând ambiția limpezirii oricăror potențiale confuzii, se declară expres că nu s-a studiat o nouă automatizare a buclei de control centrale a unei STAP, ci o automatizare globală în aplicarea unei strategii de optimizare asupra sistemului deja existent.

În contextul unui sistem industrial funcțional, cu o automatizare deja implementată a procesului tehnologic, sistemul local va opera, pe durata întregului său ciclu de viață, în conformitate cu algoritmul acestuia și limitele sale impuse, intervenții invazive la nivelul PLC sau SCADA, pentru a face modificări, fiind întotdeauna evitate, din cauza mai multor motive, cele mai importante dintre acestea fiind: (i) impracticabilitatea imixtiunii în sine, datorită lipsei codului sursă, a proiectelor sau a documentației; (ii) complexitatea și implicațiile unei alterări la bază, în nucleul sistemului; (iii) caracterul colectiv moștenit al structurilor vizate, eminentamente echipamente hardware și software arhaice (outdated), pentru care este o penurie de: medii de programare și dezvoltare software, licențe de dezvoltare, posibilități de actualizare (upgrade) firmware pentru PLC-uri, disponibilitate a modulelor SCADA anexe licențiate pentru a înfăptui algoritmul dorit; (iv) pretenția de a nu opri sistemul, înlocuiri la PLC-uri pricinuind, în general, o oprire a sistemului, procedura de restart, în industrie, pe o aplicație SCADA perimată sau slab dezvoltată guvernând, în mod frecvent, o întrerupere de 4-5 ore. Pe lângă acestea, interferența într-un proces industrial funcțional poate fi puternic mărginită de diverse garanții sau de contracte de mentenanță, care nu sunt menite să perfecționeze algoritmi, ci să gestioneze funcționarea rezolvării contemporane. Deci, atunci când se aduce în discuție infrastructura critică, de apă, electricitate, gaz sau instalații de producție în care timpul este capital (time-sensitive), pătrunderea invazivă este exclusă până la următoarea actualizare (upgrade) a sistemului local, în ansamblu, iar, în

automatizare, acest tip de modernizare este efectuată după timpi de funcționare îndelungați, având ca rezultat dănuirea a mult echipament vechi, în orice ramură industrială. Dincolo de acestea, industria înfruntă absența structurilor distribuite de acumulare a datelor, iar în situațiile în care sunt prezente, aplicațiile model historian sunt constituenți, în mare parte, nefolosiți sau utilizați foarte puțin, din cauza deficitelor acestora pe piste de proactivității, cunoașterii procesului, incapacității de a identifica dependențe între date și a determina strategii de creștere a eficienței cu reacționare asupra sistemelor reale. Chiar dacă se posedă un historian, datele stocate așteaptă ochiul uman, care poate, sau nu, să găsească o dependență sau o rețetă, într-o conduită pe termen lung a sistemului, iar cantitatea de date nu este, în mod categoric, susceptibil a fi manipulată în asemenea fel, o STAP mică înglobând aproximativ 2000 de valori per pas de eșantionare, pe când o STAP mai mare poate să atingă chiar până la 8000 de etichete. La fel, funcționarea este probabil să fie denaturată de-a lungul timpului, prin degradarea echipamentului și procesului fizic sau schimbarea comportamentului operatorului, datele trebuind analizate permanent. După examinarea dependențelor dintre date, o platformă în stil historian este necesar să formuleze soluții ațintite spre eficiență, bazate pe funcții obiectiv și constrângerii, într-un climat conștient de proces, pentru a fi abilă în ripostarea neinvazivă asupra sistemului local, în armonie cu strategia de rectificare a eficienței selectată, pentru a mandata însușirea acesteia. De exemplu, se pot substitui referințele într-o buclă de control locală, respectând toate constrângerile amintite. În această accepțiune, o soluție complet automatizată preia semantica unui historian distribuit, autonom și automat, conștient de proces, apt pentru a executa toate acțiunile anteconsemnate, pe întreaga operare a sistemului local, fără nici o intermediere umană.

În cazul în care se păstrează expectația unei raportări la contribuțiile primare ale acestei etape finale de cercetare, acestea sunt ghidate spre umplerea golurilor care împiedică funcționarea deplin automată, pe termen lung, a strategiei dezvoltate în secțiunea 6. Desigur, adiacent progresului laturii științifice, aceste studii conturează și crearea practică a unei unelte software proactive, inteligente, conforme paradigmei IIoT, atrăgând, în acest mod, un interes remarcabil din partea companiilor din industria apei.

Într-o optică diferită, motivația generală pentru urmărirea obiectivelor de mai sus prezintă o notă duală, și anume: (i) reducerea consumului de energie al unei STAP conduce la diminuarea costurilor operaționale, care ar trebui, cel puțin la nivel teoretic, să se răsfrângă în scăderi ale facturilor la apă ale populației, ceea ce, în unele părți ale globului, ar putea semnifica o accesibilitate sporită la apă potabilă; (ii) în funcție de metodele utilizate pentru a produce energia electrică folosită, o micșorare ar putea favoriza o limitare a consumului de combustibili fosili, fapt care are un impact pozitiv asupra mediului natural înconjurător.

Mai departe, subsecțiunea de față aduce în atenție un punct de vedere care antrenează detalii limitate, conținând doar un rezumat al acelor părți și tematici dintr-un proces tipic STAP care joacă un rol în cercetarea cuprinsă în etapa actuală. În caz contrar, o imagine mai completă și mai amănunțită asupra proceselor care au loc în interiorul unei STAP poate fi formată prin consultarea secțiunii 5.1 sau 6.1.

Prin urmare, pentru început, o reprezentare simplificată a călătoriei apei, pornind de la sursele naturale și continuând până la momentul intrării în rețeaua de apă potabilă este ilustrată în Figura 8.1, de mai jos, și comentată ulterior.

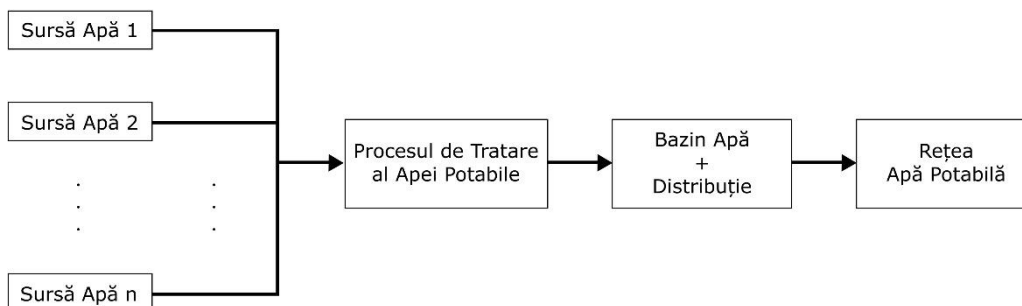


Figura 8.1. Reprezentare simplificată a drumului apei, de la surse, până în rețeaua de apă potabilă

Considerând schematizarea de mai sus, se poate observa că o STAP tipică se bazează pe multiple surse de apă distincte, cel mai comun tip de sursă fiind, cel puțin în zona geografică în care a activat echipa de cercetare, foraje în sol, din care este extrasă apă, cu pompe, din pânza freatică. După aceea, apa provenită de la surse este îmbinată într-un singur debit total, care este livrat la intrarea procesului de tratament. Firește, procesul de tratament curăță apa și se asigură de faptul că, la ieșirea sa, calitatea apei îndeplinește cerințele legale pentru apa potabilă. După tratament, apa rezultată este plasată în interiorul unor rezervoare de apă, câteodată și un turn de apă fiind complementar, depozitare din care este distribuită în rețeaua de apă potabilă. În această înălțuire, bazinele de apă acționează, mai mult sau mai puțin, ca un tampon, între rețea, care scoate apă din ele și, de partea cealaltă, procesul de tratament, care adaugă apă în ele. De asemenea, nivelul apei din interiorul acestor rezervoare dictează cantitatea de apă care ar trebui să fie oferită de către surse. Cu toate acestea, debitul total, amestecat, direcționat la intrarea procesului de tratament, în care toate sursele aflate în funcțiune introduc apă, este cel solicitat de către automatizarea STAP, pe baza nivelului apei din interiorul rezervoarelor și a debitului real de ieșire spre rețeaua de distribuție, ceea ce propulsează spre constatarea potrivit căreia atât modalitatea în care acest debit total este împărțit între surse, cât și alegerea acelor surse care vor fi utilizate, din ansamblul disponibil, sunt hotărâte, în practică, ținând cont numai de orele de funcționare ale surselor de apă.

Polarizând expunerea asupra consumului de energie, acesta reprezintă consecința funcționării echipamentelor industriale în STAP, mari consumatori fiind pompele de apă și suflantele de aer, acestea din urmă fiind folosite în procesul de tratament. În acest context, o reflecție fundamentală leagă, în mod direct, reducerea timpului de funcționare al echipamentului de consumuri mai mici de energie, însă nu trebuie omis faptul că o micșorare a timpului de funcționare al echipamentului este echivalentă cu o diminuare a dozei de tratament aplicate apei, astfel încât, pentru a menține calitatea apei la ieșirea din STAP între limitele obligatorii, acest gen de abordare presupune o calitate mai bună a apei la intrarea în STAP. Mai presus de orice, raționamentul dedus preia forma: cu cât este mai bună calitatea apei la intrarea în STAP, cu atât mai puțin tratament va fi necesar, ceea ce înseamnă un consum de energie mai mic.

În termeni de calitate a apei, așa cum a fost deja precizat în secțiunea 6.2, în practică există diferențe sesizabile între sursele de apă ale unei STAP. Deschizând o mică paranteză în discuție, la rândul său de interes pentru studiul curent este și

decalajul dintre surse în ceea ce privește capacitatea debitului pe care fiecare dintre acestea îl poate oferi, și anume marginile minimă și maximă între care se încadrează debitul sursei atunci când este pornită. Revenind la calitatea apei, atunci când o nouă sursă de apă, fie ea foraj sau apă de suprafață, este încorporată în serviciu, se întocmește o fișă tehnică, unde o gamă de parametri ai apei sunt trecuți, după colectarea și analizarea, în prealabil, la un laborator, de mostre de apă de la sursă. Cu siguranță este nevoie a sublinia lipsa unui singur parametru, care să oglindească perfect calitatea apei și etalarea unei serii de parametri care pot fi luați în considerare, împreună, deși o formulă general acceptată de calculare a unui indicator de calitate universal valid, din grupul de parametri indicatori ai calității, nu poate fi găsită deocamdată. Fără echivoc, în lumea reală, deoarece, pe de-o parte, calitatea apei unei surse se schimbă mereu în timp, ca rezultat a diverși factori, cum ar fi poluarea sau suprafolosirea, iar, pe de altă parte, analiza de laborator nu este repetată periodic după lansarea inițială în serviciu a sursei, parțial datorită costurilor testării și parțial din cauza inconvenientelor prelevării probei, se ajunge la situația în care indicatorii de calitate ai apei de la surse nu au fost luați în seamă până acum, la niciuna dintre soluțiile de automatizare implementate în STAP. În acest sens, cel mai bun scenariu întâlnit în practică este susținut de către operatorii locali ai stației, care, uneori, au remarcat, de-a lungul timpului, că în cazurile în care au comandat mai multă apă de la anumite surse, echipamentele stației păreau a funcționa mai puțin decât în conjuncturile apelării la alte surse, dar acest tip de concluzii sunt empirice și subiective, formate din întâmplare și nu prin metode științifice.

Oricum, cel mai important aspect din această secțiune, care necesită a fi accentuat este ideea conform căreia consumul de energie al unei STAP este direct influențat de calitatea apei furnizate la intrarea sa. În același timp, această calitate a apei poate fi ajustată, între unele limite, deoarece este compusă dintr-o combinație a calității fiecărei surse care alimentează cu apă în acel moment specific, proporțional cu debitele lor, așa cum este semnalat în ecuația subsecventă:

$$Q_t = Q_1 * W_1 + Q_2 * W_2 + \dots + Q_n * W_n \quad (8)$$

unde:

- Q_t este calitatea apei introduse la intrarea STAP
- Q_1, \dots, Q_n este calitatea apei de la sursa 1, ..., n
- W_1, \dots, W_n este factorul de ponderare al fiecărei surse, acest factor fiind egal cu procentul pe care debitul curent al sursei respective (cât de multă apă este livrată în prezent de către sursa respectivă) îl reprezintă din debitul total transmis la intrarea STAP. De altfel, alterând debitul curent al surselor, la nivel individual, factorii de ponderare pot fi direct influențați și, astfel, întrebuiți pentru a îmbunătăți calitatea apei adusă la intrarea STAP, anume Q_t .

Din nou, cerința fixă, rigidă, impusă în timp real de către automatizarea STAP este legată de debitul total, de cantitatea de apă care trebuie să intre în STAP, decizia cu privire la modul în care această cantitate este atinsă, adică, în esență, cât de multă apă este solicitată de la care dintre surse, este luată arbitrar, la nivelul fiecărei STAP individuale. Cu fermitate se menționează faptul că, pentru aceeași cantitate totală de apă, se poate obține o calitate diferită a apei la intrarea în STAP, în funcție de sursele care sunt folosite și de cantitatea de apă procurată de la fiecare dintre acestea. În realitate, chiar dacă atât cantitatea de apă care poate fi extrasă, în speță limitele minimă și maximă, cât și calitatea apei sunt aparte pentru fiecare sursă, aceste resurse naturale nu sunt utilizate într-o manieră care să urmeze scopul clar de a

dobândi cea mai bună calitate pentru apa de la intrarea în STAP. Dată fiind această stare existențială obiectivă, se poate afirma că toate STAP-urile întâmpinate în industrie funcționează, în prezent, peste consumul lor de energie optim.

În concluzie, se apreciază că subsecțiunea aflată în proces de definitivare a caracterizat propice atributele problematicii țintite din STAP de către ultima etapă de cercetare, care, spre deosebire de ciclurile anterioare de dezvoltare, dominate de genericitate, își îngustează acțiunile spre un sector particular, restrâns. La fel de important, s-a facilitat înțelegerea punctului exact din traseul apei unde se dorește a se interveni cu optimizarea din această fază de studiu.

8.2. Legătura indispensabilă cu cercetările anterioare

În debutul unei noi circumscrieri a lucrării, dacă subsecțiunea precedentă s-a orientat pe elucidarea zonei din alcătuirea proceselor STAP în care se intenționează a se interpune acest interval de studiu, subcapitolul de față marchează deplasarea focalizării asupra soluției de automatizare a optimizării consumului de energie. Totuși, atât cercetarea, cât și dezvoltarea soluției practice de automatizare, ambele prezentate în diviziunea 8 a tezei, sunt puternic interconectate cu alte demersuri, deja descrise în acest manuscris, care sunt indispensabile pentru a putea permite studiilor actuale să fie declanșate. Grație acestor conexiuni, secțiunea în cauză va trece în revistă eforturile premergătoare relevante pentru ipostaza dată și va pune la dispoziție explicații succinte în privința motivelor pentru care este necesar să le referim, în situația aceasta, pentru a înlesni o mai bună percepție a ambientului în care este așezată cercetarea curentă, a legăturii cu etapele preexistente, dar și a modului în care sunt folosite rezultatele retroactive.

În primul rând, orice încercare de optimizare trebuie să se bazeze pe date solide, înregistrate de la sistemul tehnic monitorizat, în așa fel încât este imperativă rigurozitatea ca unealta principală utilizată să fie o aplicație software de tip historian. În această direcție, răspunsul a fost redactat în capitolul 3 al documentului, unde s-a propus o aplicație, denumită Historian, care se distanțează de alternativele concurente prin cerințe reduse, posibilitatea de a fi instalată pe o platformă hardware Raspberry Pi compactă, uzitarea de protocolul deschis de comunicare OPC UA și neîncapsularea datelor stocate sub protocoale proprietare de acces la date. În plus, implementarea practică a fost testată întocmai în industria apei, pe echipamente din lumea reală, ceea ce o recomandă pentru studiul din această fază.

Păstrând consecvența, o altă contribuție crucială, folosită în această incursiune este constituită din modulul de identificare a dependențelor dintre date, dezvoltat și integrat în aplicația Historian din capitolul 3 în timpul cercetării din secțiunea 5. De fapt, pentru a diminua consumul de energie este iminentă dispunerea de o metodă de a determina cum se influențează și depind, una de cealaltă, caracteristicile sistemului supravegheat, precum debite de apă, ore de funcționare, consumuri de substanțe, consumuri de energie, defecțiuni ale echipamentului și altele. Bineînțeles, algoritmul din subsecțiunea 5.2 și transpunerea sa practică în interiorul soluției Historian, începută în fragmentul 5.3 și îmbunătățită în pasajul 7.3, bifează cu desăvârșire această exigență, posedând competența, atunci când valorile măsurate, în timp, a două caracteristici sunt disponibile, deslușirii informațiilor pe seama cărora stabilește dacă aceste valori evoluează, în timp, proporțional sau nu, una față de cealaltă, și în ce măsură.

În mod cert, pe parcursul recepționării valorilor măsurate ale diverselor caracteristici ale unui sistem, oricare aplicație de tip historian primește, de la sistem,

câte o serie de valori numerice asociate unei etichete (tag), aceasta din urmă fiind doar un șir de caractere, de exemplu: D1_max, OPCTpH1UA, CSF9_Frecventa și așa mai departe. Fără îndoială, realizarea unei automatizări complete a unei strategii de atenuare a consumului de energie, care să nu pretindă asistență umană, prezumă ca ustensila de automatizare să înțeleagă semnificația practică din spatele acelor șiruri de caractere. Mai detaliat, instrumentul de automatizare trebuie să înțeleagă, de exemplu, faptul că eticheta F3_Debit_T exprimă debitul de apă care este oferit, în prezent, de către sursa de apă cu numărul 3 și rolul structurii în întregul proces. Așadar, noțiunea care se creionează ar insinua un nou tip de soluție software, historian conștient de proces (process-aware historian), această ipoteză avangardistă neregăsindu-se, până acum, în literatură sau industrie. Pe aceeași cale, chestiunea acordării unui înțeles specific, în proiectul Historian, etichetelor care sunt monitorizate a fost adresată în secvența 7.3 a lucrării și rezolvată prin emiterea așa-numitului *Historian Process Editor*.

Având în vedere obiectivul major al acestei etape de cercetare, cu alte cuvinte optimizarea energetică, cea mai importantă activitate antecedentă conexă este cea înfățișată în delimitarea 6, unde echipa de cercetare a clădit, la nivel conceptual, o strategie integrală pentru scăderea consumului de energie al unei STAP, prin ierarhizarea surselor sale de apă și consfințirea referinței de debit pentru fiecare buclă de control locală. Perseverând, studiul din capitolul 6 a fost, de asemenea, aplicat în sfera practică, ajutat de o simulare Matlab Simulink, unde procedeu a fost testat utilizând date de intrare preluate de la o STAP reală, înainte de a fi testat pe sisteme reale, însă, pe acestea, cu constrângeri limitative dictate de către compania locală de apă. În ciuda faptului că operațiunile practice din cadrul segmentului 6 au demonstrat că strategia este eficientă în reducerea consumului de energie, unele aspecte reclamă mai multe studii pentru a se obține o funcționare în întregime automatizată, pe termen lung, a aplicației Historian proactive alături sistemului real. Concret, pe parcursul probelor derulate pe echipamente reale în compartimentul 6.3, indicatorii de prioritate ai surselor de apă au fost determinați prin coroborarea contribuțiilor bazate pe experiență de la operatori locali cu variate dependențe depistate de către modulul de analiză a datelor din proiectul Historian, care a fost implementat în demarcarea 5.3. Cu toate acestea, procedura a necesitat ca o persoană să seteze diferite intervale de timp pentru analize, în interfața grafică a aplicației Historian, să execute analiza dependențelor în mod repetat și să noteze orice rezultate relevante. Pe de altă parte, din cauza interdicției de a modifica punctele de referință (setpoints) ale debitelor cerute de la sursele de apă pe durata testelor, decretată de compania de apă, acea implementare practică a dezvoltării abstracte, principiale, care împarte debitul total, solicitat de la toate sursele, în debite specifice, pentru fiecare sursă, nu a fost aplicată în împrejurările real. Deci, componenta software rezultantă a urmat planul teoretic general, dar a fost trunchiată în evaluarea reală și nu a acoperit toate scenariile potențiale, incluzând aici și unele cazuri marginale aferente (corner cases), care au rămas netratate. În aceeași ordine de idei, retușarea operării sistemului, în contextul acțiunilor de răspuns ale strategiei asupra sistemului real, adică pornirea și oprirea pompelor de apă de la foraje și alte ajustări minore permise au fost atent supravegheate și limitate de necesitatea recurgerii la asistența umană. Deși această manieră de lucru a servit onorabil preocupărilor imediate și a produs rezultate foarte bune în scenariile de test din subsecțiunea 6.3, pentru o desfășurare pe scară largă și o funcționare autonomă, pe termen lung, a soluției, în domeniul industriei apei, este nevoie de mai multe cercetări. Desigur, o formulare complet automatizată va asigura faptul că această tactică de optimizare poate să aducă beneficii consistente în lumea reală, în afara condițiilor tentativelor de cercetare (research trials).

În final, această partajare din spațiul tezei a evidențiat relația foarte strânsă dintre unele examinări sau expansiuni anterioare, din perioada doctorală, și soluția materializată sub egida acestei ultime faze de studiu, într-o avans cronică a pregătirii prezentării soluționării, prefigurată pe întinderea subcapitolului următor.

8.3. Soluția implementată

În preambulul noii rubrici din organizarea în curs, se trasează menirea acesteia de a relata efectiv soluția investigată, dezvoltată și înglobată în proiectul Historian cu scopul de a se automatiza utilizarea strategiei de reducere a consumului de energie în STAP, prin prisma elementelor software construite pe cuprinsul acestui stagi doctoral, această etapă de sfârșit deblocând, cu adevărat, în practică, pentru prima dată, intens râvnita proactivitate.

Data fiind deținerea la îndemâna echipei de cercetare a tuturor progreselor înșiruite în subsecțiunea precedentă, automatizarea deplină a strategiei de reducere a consumului de energie amănunțită în capitolul 6 este împiedicată, în acest moment, de absența surmontării ulterioarelor lacune:

- Inexistența unei metode automatizate în totalitate, care să nu insereze neajunsuri suplimentare și să fie capabilă a determina indicatorul de calitate al apei pentru fiecare sursă de apă din STAP, metodă prin intermediul căreia să fie fezabilă recalcularea periodică a lui q_f din ecuația (3) din 6.2.
- Lipsa unei implementări software practice robuste, cu toate cazurile imaginabile prevăzute și tratate, atât a succesiunii de formule din 6.2, cât și a algoritmului pentru repartizarea debitului total necesar între surse, schițat, la nivel conceptual, în aceeași subsecțiune. Adicional, s-ar lăsa așteptat ca această elaborare software să fie îndeajuns de abilă pentru a administra, în mod direct, concluziile, prin mijloace neinvazive, în sistemul monitorizat.

Prin urmare, discontinuitățile evocate mai sus întemeiază interesul primordial al acestei ultime faze de cercetare, iar rezolvările acestor probleme monopolizează principalele contribuții științifice și practice ale etapei în cauză.

Considerând cele discutate până la acest punct, se constată faptul că circumstanțele foarte complexe în care este plasat acest ciclu de studiu au fost aduse la cunoștință, observație datorită căreia restul subcapitolului de față se poate axa pe contribuțiile și soluțiile profilate în acest interval.

Încă din stadiu incipient este esențial a se reține că, pentru orice STAP în care se dorește a se profita de avantajele acestei unelte de reducere a consumului de energie, trebuie ca această stație să îndeplinească o serie de premise:

- STAP trebuie să fie dotată cu cel puțin două surse de apă.
- Este necesar ca următoarele date să fie furnizate de la sistemul tehnic spre instrumentul de optimizare, pentru o perioadă de timp de cel puțin două-trei luni înainte ca orice fel de optimizare să poată fi aplicată: debitul curent de apă pentru fiecare sursă (valoarea reală), referința de debit de apă pentru fiecare sursă (setpoint), debitul minim de apă posibil pentru fiecare sursă, debitul maxim de apă posibil pentru fiecare sursă, un indicator al gradului de uzură pentru fiecare sursă (de exemplu: numărul orelor de funcționare al pompelor de apă sau numărul de porniri al acestora), debitul total de apă

cerut de la toate sursele, consumul total de energie al STAP. În mod evident, aceste date vor fi folosite în analiză, pentru a identifica tipare și dependențe.

- Pentru fiecare dintre datele descrise la bulina secundă, de mai sus, un operator local al STAP trebuie să atașeze, în faza de configurare inițială, un înțeles respectivei etichete OPC UA, în ustensila de optimizare, deoarece este necesar ca aceasta să știe, cu precizie, dacă, de exemplu, valorile numerice ale etichetei intitulate D_Total reprezintă debitul de apă total sau consumul de energie.
- Automatizarea care este deja prezentă în interiorul STAP, garantându-i operarea normală este obligatoriu să aibă bucle de control implementate într-un asemenea mod încât acestea să folosească, pe post de referință (setpoint) pentru debitul de apă pe care fiecare sursă se cuvine să îl livreze, valorile numerice atribuite unei etichete OPC UA. Firește, această clauză permite uneltei de optimizare să influențeze sistemul, într-o conduită neinvazivă, fără a revendica vreo schimbare la buclele de control ale automatizării STAP. În acest fel, soluția înlocuiește valori ale etichetelor pentru a afecta funcționarea sistemului.

Atâta timp cât, pe de o parte, întreaga dezvoltare din lucrare, estimată ca fiind indispensabilă pentru pasul acesta de cercetare a fost pusă în practică în platforma software Historian, iar, pe de altă parte, se resimte nevoia de a forța respectarea prevederilor listate în avans de acest paragraf, a fost decis ca abordarea cea mai bună, pentru dobândirea dezirabilei automatizări complete a strategiei de reducere a consumului de energie, ar fi integrarea acesteia în aplicația Historian, ținându-se o conformitate cu nivelul 3 din arhitectura software expusă în secțiunea 4. În acest sens, baza de plecare a fost preluată de la punctul de dezvoltare al soluției Historian atins la capătul capitolului 7, etapa actuală trecând la o treaptă superioară, deasupra celei anterioare.

În continuare, asigurarea faptului că toate datele necesare sunt disponibile și condițiile sunt satisfăcute este efectuată cu ajutorul *Historian Process Editor*, care a fost introdus în secvența 7.3, inducându-se, astfel, ideea de historian conștient de proces (process-aware historian). Mai specific, dacă este utilizată strategia de optimizare, atunci a fost impus ca procesul selectat ca fiind cel folosit în acel moment în aplicația Historian să aibă o etichetă OPC UA distinctă, din STAP, desemnată la toate caracteristicile amintite la cea de-a doua bulină a enumerării de premise, nefiind tolerată nici o omisiune în această privință. De asemenea, s-a stabilit o convenție, potrivit căreia obiectul '*Flowmeter 1*' să precizeze debitul total solicitat de la toate sursele și obiectul '*Energy Sensor 1*' să denote consumul total de energie al STAP, în timp ce prezența acestor ambe entități, împreună cu cel puțin două surse de apă este, la rândul ei, nefacultativă. Mai departe, cu titlu de exemplu, Figura 8.2, de mai jos, ilustrează minimul de constituenți din care procesul curent folosit din Historian ar trebui să fie format, pe când Figura 8.3 redă caracteristicile minime ale unei surse de apă care cer a avea asociate etichetele lor pentru ca strategia de optimizare să poată rula. În mod limpede, funcționarea elementară a aplicației Historian, pentru citirea și stocarea în baza de date a valorilor etichetelor procesului curent folosit, nu este condiționată, în niciun fel, de aceste premise, verificarea și restricționarea de rigoare aplicându-se doar pentru partea proactivă, de optimizare, în cazul în care aceasta este bifată explicit de către utilizator. Deci, disponibilitatea și utilizarea, la nivel de bază, elementară, ale aplicației Historian nu sunt impactate de adăugarea implementării de la nivelul trei al arhitecturii de referință.

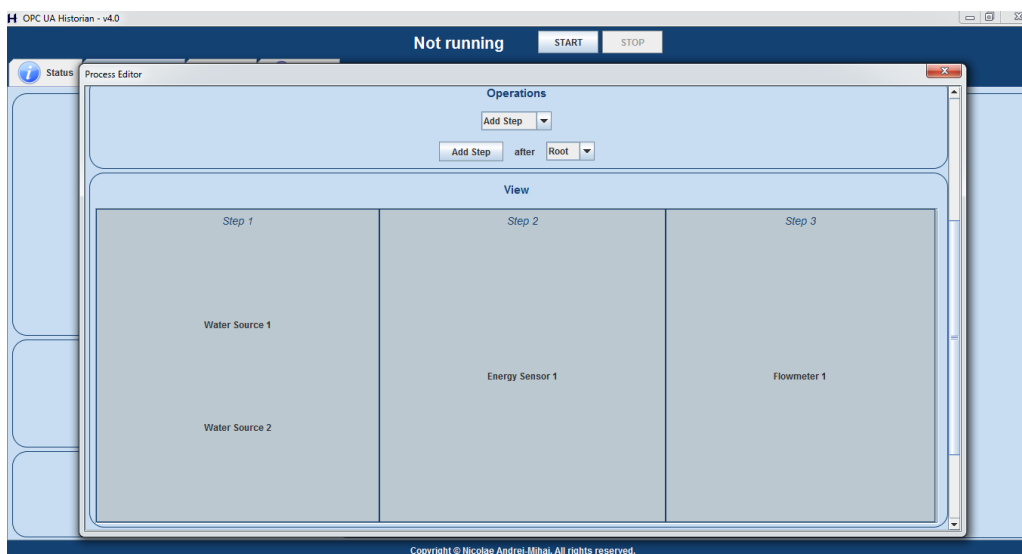


Figura 8.2. Exemplu al minimului de obiecte care trebuie să fie definite, în interiorul *Historian Process Editor*, pentru procesul folosit în prezent, pentru a executa strategia de optimizare

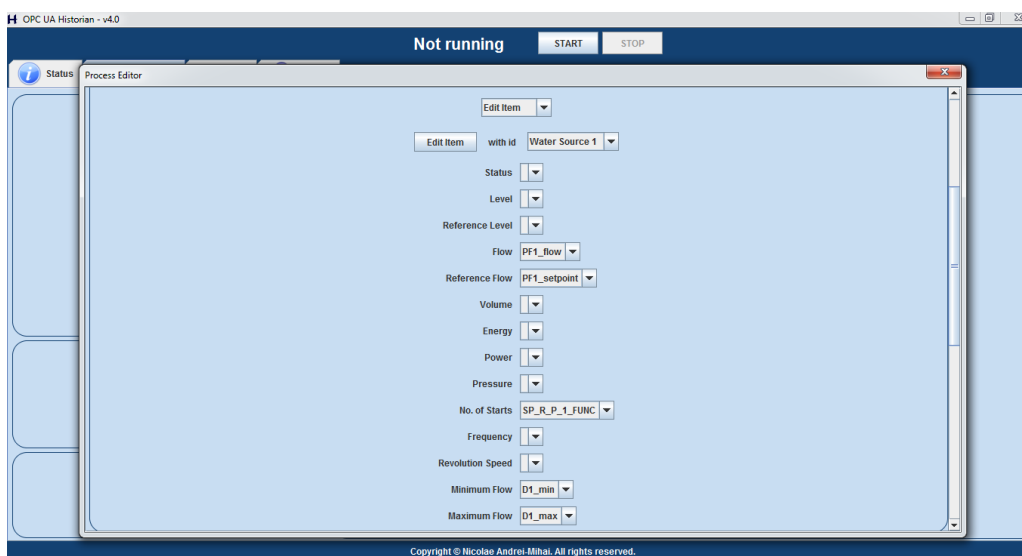


Figura 8.3. Caracteristicile surselor de apă care trebuie să aibă etichete asociate, în interiorul *Historian Process Editor*, pentru procesul folosit în prezent, pentru a executa strategia de optimizare

În eventualitatea în care toate datele de intrare pentru strategia de optimizare sunt accesibile, următorul pas îl reprezintă includerea soluției în arhitectura generală, generică, proactivă, în care aplicația Historian va oferi, la un moment dat în viitor, multiple obiective de optimizare, la nivelul trei al arhitecturii de referință, dintre care factorii de decizie din STAP vor putea să aleagă. În spiritul conservării acestei filozofii

pe termen lung, interfața grafică cu utilizatorul a proiectului Historian a fost îmbunătățită, așa cum este dezvăluit în Figura 8.4, pentru a crea posibilitatea de a selecta obiectivul de optimizare, reducerea consumului de energie fiind singura opțiune pusă la dispoziție deocamdată. În pofida faptului că implementarea curentă va aduce operatorului o unică variantă de optimizare, modalitatea de dezvoltare aleasă în acest punct al evoluției soluției software are rolul capital de a susține direcții și tendințe de perspectivă și de a favoriza integrarea viitoarelor obiective și module în platforma Historian, în așa fel încât, la acel moment, să nu mai fie necesare reproiectări majore ale întregului proiect.

De asemenea, în aceeași captură de ecran, din Figura 8.4, situată în urma acestui paragraf, se distinge maniera prin care, în prezent, utilizatorul poate să își declare dorința de a folosi sau nu și partea proactivă, de optimizare, a aplicației Historian, în speță controlul intitulat *Optimize the monitored technical system*. În acest fel, există oportunitatea de a utiliza aplicația Historian în două moduri: (i) elementar, doar pentru citirea și depozitarea în baza de date a valorilor etichetelor; (ii) proactiv, care cuprinde acțiunile elementare și, pe lângă acestea, își asumă și optimizarea sistemului monitorizat, revizuiindu-i funcționarea.

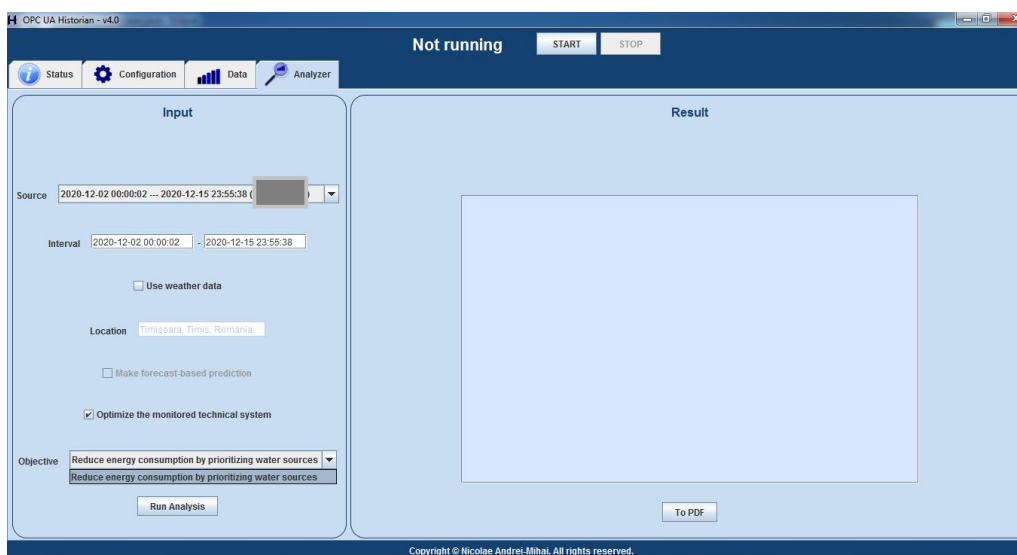


Figura 8.4. Alegerea obiectivelor de optimizare, în interiorul aplicației Historian proactive

Tranzitând spre implementarea automatizării strategiei din capitolul 6, acest demers a început cu o reperare, la nivel conceptual, a unei metode de a calcula indicatorul de calitate al apei pentru fiecare sursă (q_f din ecuația (3) din subsecțiunea 6.2), fără a necesita vreun fel de asistență umană sau analize și prelevări de probe complicate și costisitoare. Cu siguranță, o remediere a acestei probleme poate fi găsită prin valorificarea ideii conform căreia consumul total de energie al STAP este direct influențat de calitatea apei de la intrarea în STAP. În plus, adăugând faptul că o creștere a debitului de apă provenit de la o anumită sursă echivalează cu o pondere mai mare a calității apei de la acea sursă în calitatea totală a apei la intrarea în STAP, se concluzionează că determinarea calității apei unei surse poate fi realizată analizând datele istorice stocate și corelând schimbările de debit ale apei acelei surse cu modificările de consum de energie ale STAP. În mod clar, această metodologie

sugerează o detectare a calității apei surselor prin studierea debitelor și consumurilor de energie înregistrate în timp ce STAP a funcționat în trecut, fără a supune apa unor analize de laborator sau a măsura oricare alt indicator specific calității. Bineînțeles, o unealtă de analiză a datelor este indubitabil necesară, însă aplicația Historian dispune deja de un asemenea algoritm de identificare a dependențelor, definit în secvența 5, care facilitează implementarea acestui procedeu experimental, acoperind astfel cel mai important aspect care previne automatizarea completă a acestei strategii de optimizare.

Din punct de vedere practic, execuția strategiei de reducere a consumului de energie necesită o execuție prealabilă, cu succes, a algoritmului de identificare a dependențelor, de la nivelul 1 al arhitecturii de referință, deoarece rezultatele acestui algoritm de prim rang servesc drept intrări pentru rularea strategiei de eficientizare.

În plan inovator, noul algoritm, care îl determină pe q_f , pornind de la ieșirile algoritmului de la primul nivel este prezentat, sub forma unei scheme logice, în Figura 8.5, de mai jos, și detaliat suplimentar în prelungirea acesteia.

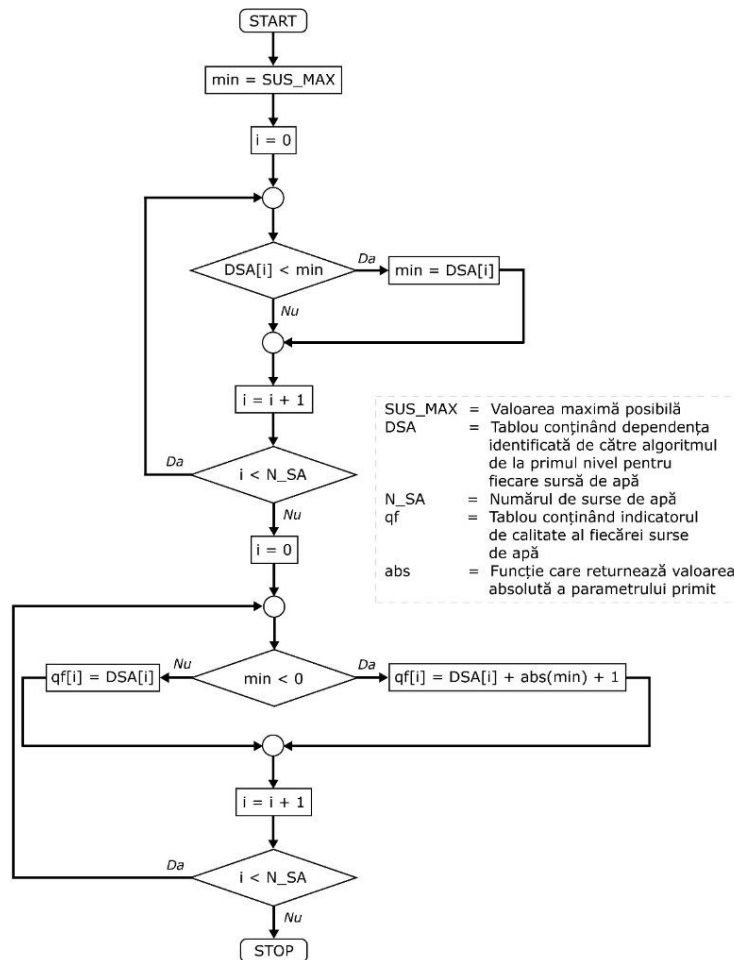


Figura 8.5. Algoritm implementat care determină q_f din rezultatele de la algoritmul de identificare a dependențelor de la primul nivel

Desigur, în acest caz, dependențele de interes, emise de către algoritmul de prim nivel, sunt doar acelea stabilite atunci când debitul de apă curent al unei surse, valoarea reală, a fost setat drept referință în analiză, iar consumul de energie total al STAP a fost caracteristica analizată. Din nou, aceste roluri, alături de semnificația valorilor dependențelor, sunt explicate în subcapitolul 5.2, iar în dezvoltarea de față acele dependențe aparținând submulțimii cu pricina sunt extrase, din graful de dependențe, într-un tablou (array), denumit DSA în Figura 8.5. Considerând aplicabilitatea în curs, cea mai bună calitate a apei este cea de la sursele de apă depistate ca având valorile de debit evoluând invers proporțional față de consumul de energie, urmată de cele care nu sunt proporționale, cea mai slabă calitate fiind la cele direct proporționale. Adicional, dacă mai multe surse sunt identificate ca având același rezultat în legătură cu proporționalitatea, atunci intervine în discuție rezultatul cantitativ al analizei: (i) între cele direct proporționale, cea mai bună calitate este la cel mai mic număr; (ii) între cele invers proporționale, cea mai bună calitate este la cel mai mare număr. Fără îndoială, pentru a lămuri mai bine raționamentele din precedentele două fraze, o cunoaștere a sensului rezultatelor algoritmului de la primul nivel este inevitabilă, amănunte pe marginea acestui subiect fiind plasate în fragmentul 5.2. De asemenea, pentru obținerea valorilor q_f , în concordanță cu logica menționată anterior, dacă există măcar o sursă de apă care este clasată ca fiind invers proporțională, atunci valoarea dependenței sale, de la algoritmul de nivel 1, este negativă. În această situație, a cel puțin unei prezențe invers proporționale, valoarea absolută, în modul matematic, a valorii minime dintre dependențele surselor este adunată tuturor valorilor q_f , așa cum este divulgat în partea inferioară din Figura 8.5. Acționând în acest fel, toate valorile calculate ale lui q_f sunt întotdeauna pozitive, iar calitatea și, implicit, prioritatea devin liniare cu valorile, indiferent de proporționalitate: cel mai mic număr reprezintă cea mai bună calitate, iar cel mai mare număr simbolizează cea mai slabă calitate. Totuși, din cauza faptului că valorile obținute nu respectă presupunerea ca numărul cel mai mare să arate cea mai bună calitate, pentru a calcula indicatorul de prioritate bazat pe calitatea apei, ecuația (3) din subsecțiunea 6.2 a fost transformată în următoarea egalitate, care, aplicată în contextul curent, este echivalentă cu originalul:

$$PQ_f = 10 - q_f \cdot \frac{10}{\max(q_1, \dots, q_n)} \quad (9)$$

Ulterior asimilării practice, în interiorul soluției Historian, a algoritmului arborat mai sus, ultima piesă care absentă dintre datele vitale pentru ca formulele (1-4) din porțiunea 6.2 să fie aplicate este acum disponibilă. După aceea, implementarea în codul sursă al proiectului Historian a calculelor din acele ecuații, în limbajul de programare Java, este banală și nu ridică dificultăți, așa că detalierea acestei activități poate fi trecută cu vederea, neanticipându-se impasuri în viitoare potențiale tentative de recreare a acestuia în urma parcurgerii capitolului 6.

În opoziție, segmentul final al soluționării din această subsecțiune constă în logica decidentă a debitului exact pe care fiecare sursă ar fi necesar să îl ofere pentru a se contabiliza un consum de energie optim. Într-adevăr, aceasta a fost descrisă, la nivel conceptual, în pasajul 6.2, dar algoritmul robust, complet, implementat în această etapă de sfârșit, în interiorul aplicației Historian, se armonizează portretizării din Figura 8.6, trasate de la nivel înalt. Oricum, pentru a sprijini posibile eforturi de reproducere, o optică foarte amănunțită a fost, la rândul său, luată în colimator, același algoritm fiind ilustrat, sub forma unei scheme logice, în Figura 8.7. În încercarea de a înlesni urmărirea firului principal, această imagine a fost augmentată

cu unele comentarii, încadrate de elementele grafice de culoare verde, iar Tabelul 8.1, cu sarcină edificatoare, a fost adăugat în alonja reprezentării, pentru a înștiința în privința abrevierilor din schematizare. Din cauza complexității apreciabile a algoritmului, care ar fi putut să degenereze Figura 8.7 într-una destul de dificil de traversat în ansamblul său, această diagramă a fost divizată în Figura 8.7 (a) și Figura 8.7 (b), cele două părți fiind legate, din perspectivă logică, prin conectori de întrerupere.

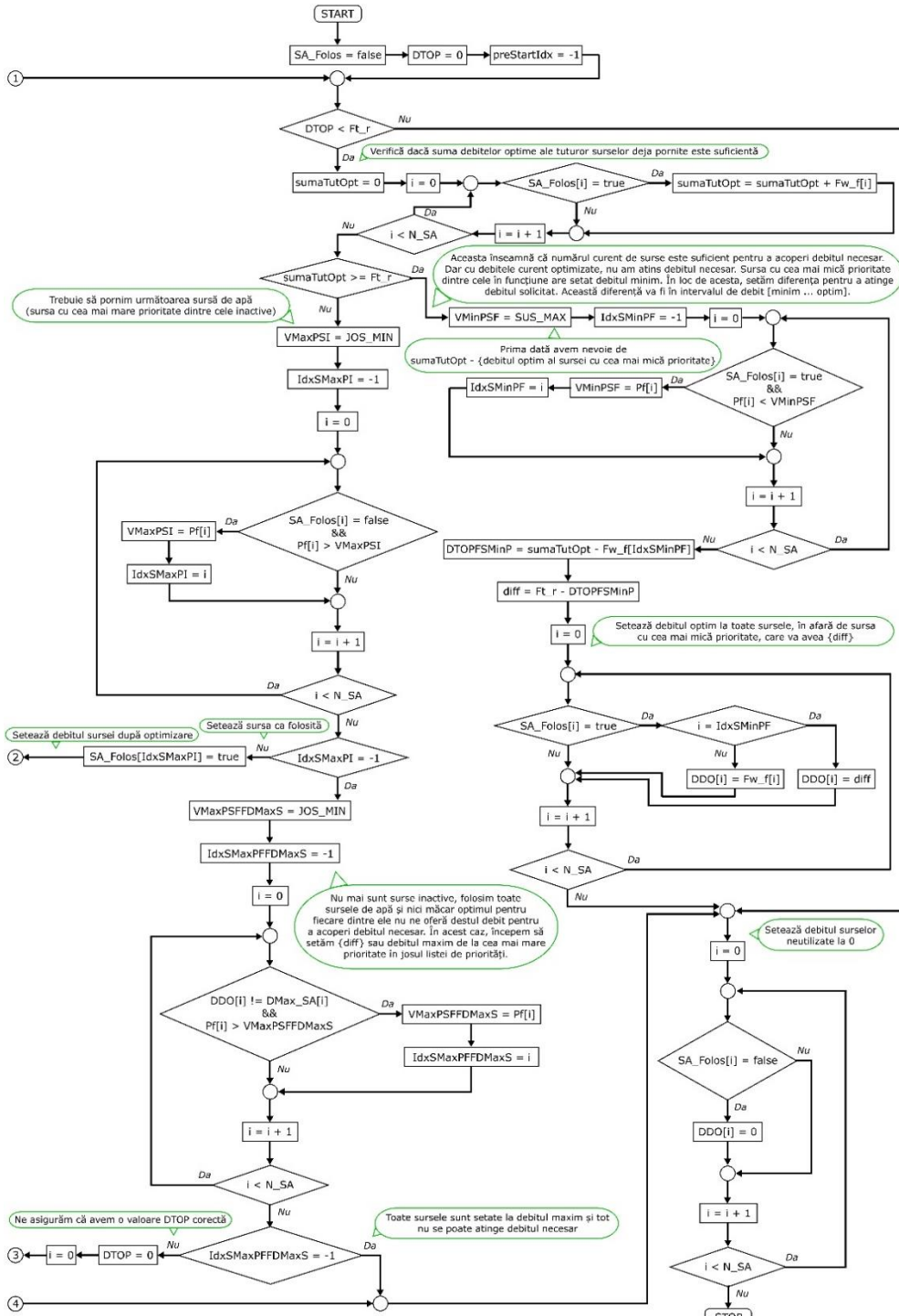
```

setează toate sursele ca 'nefolosite'
setează toate debitele determinate de către acest algoritm la 0

while (suma tuturor debitelor curent setate de către acest algoritm < debitul total solicitat) {
  if (suma lui  $Fw\_f$  de la sursele 'folosite'  $\geq$  debitul total solicitat) {
    identifică sursa cu cea mai mică prioritate dintre cele 'folosite' (o notăm S1)
    calculează:  $d1 =$  debitul total solicitat - (suma lui  $Fw\_f$  de la sursele 'folosite' -  $Fw\_f$  al lui S1)
    setează debitele surselor 'folosite' la:  $d1$  pentru S1 și optim ( $Fw\_f$ ) pentru toate celelalte
    setează debitele surselor 'nefolosite' la: 0
    // am terminat
  } else {
    identifică sursa cu cea mai mare prioritate dintre cele 'nefolosite' (o notăm S2)
    if (nu mai sunt surse 'nefolosite') {
      identifică sursa cu cea mai mare prioritate care nu are debitul său maxim setat de către acest [cont.]
      [cont.] algoritm (o notăm S3)
      if (S3 poate fi identificată adică există cel puțin o sursă care nu are debitul său maxim setat de [cont.]
      [cont.] către acest algoritm) {
        calculează: necesar = debitul total solicitat - suma tuturor debitelor curent setate de către [cont.]
        [cont.] acest algoritm la sursele 'folosite'
        if (necesar + debitul curent setat pentru S3 < debitul maxim al lui S3) {
          setează debitul lui S3 la: debitul curent setat pentru S3 + necesar
          setează debitele surselor 'nefolosite' la: 0
          // am terminat
        } else {
          setează debitul lui S3 la: debitul maxim al lui S3
          // se continuă cu o nouă iterație 'while'
        }
      } else {
        // Asta înseamnă că toate sursele sunt la debit maxim și tot nu se poate ajunge la debitul solicitat
        // Nu a mai rămas nimic de făcut, de la STAP se solicită să ofere mai multă apă decât poate
      }
    } else {
      setează S2 ca 'folosită'
      if (S2 este prima sursă setată ca 'folosită') {
        if (debitul total solicitat  $\leq$  debitul minim al lui S2) {
          setează debitul lui S2 la: debitul minim al lui S2
        } else if (debitul total solicitat > debitul maxim al lui S2) {
          setează debitul lui S2 la: debitul optim ( $Fw\_f$ ) al lui S2
        } else {
          setează debitul lui S2 la: debitul total solicitat
        }
      } else {
        setează debitul lui S2 la: debitul minim al lui S2
        setează debitul optim ( $Fw\_f$ ) la toate sursele 'folosite', în afară de S2 și de sursa pornită [cont.]
        [cont.] chiar înaintea lui S2 (o notăm S2')
        calculează:  $d2 =$  debitul total solicitat - (suma tuturor debitelor curent setate de către [cont.]
        [cont.] acest algoritm - debitul curent setat pentru S2')
        if ( $d2 \leq$  debitul minim al lui S2') {
          setează debitul lui S2' la: debitul minim al lui S2'
        } else if ( $d2 >$  debitul maxim al lui S2') {
          setează debitul lui S2' la: debitul optim ( $Fw\_f$ ) al lui S2'
        } else {
          setează debitul lui S2' la:  $d2$ 
        }
      }
    }
  }
}

```

Figura 8.6. Un rezumat, la nivel înalt, al algoritmului pentru divizarea debitului, detaliat în Figura următoare



(a)

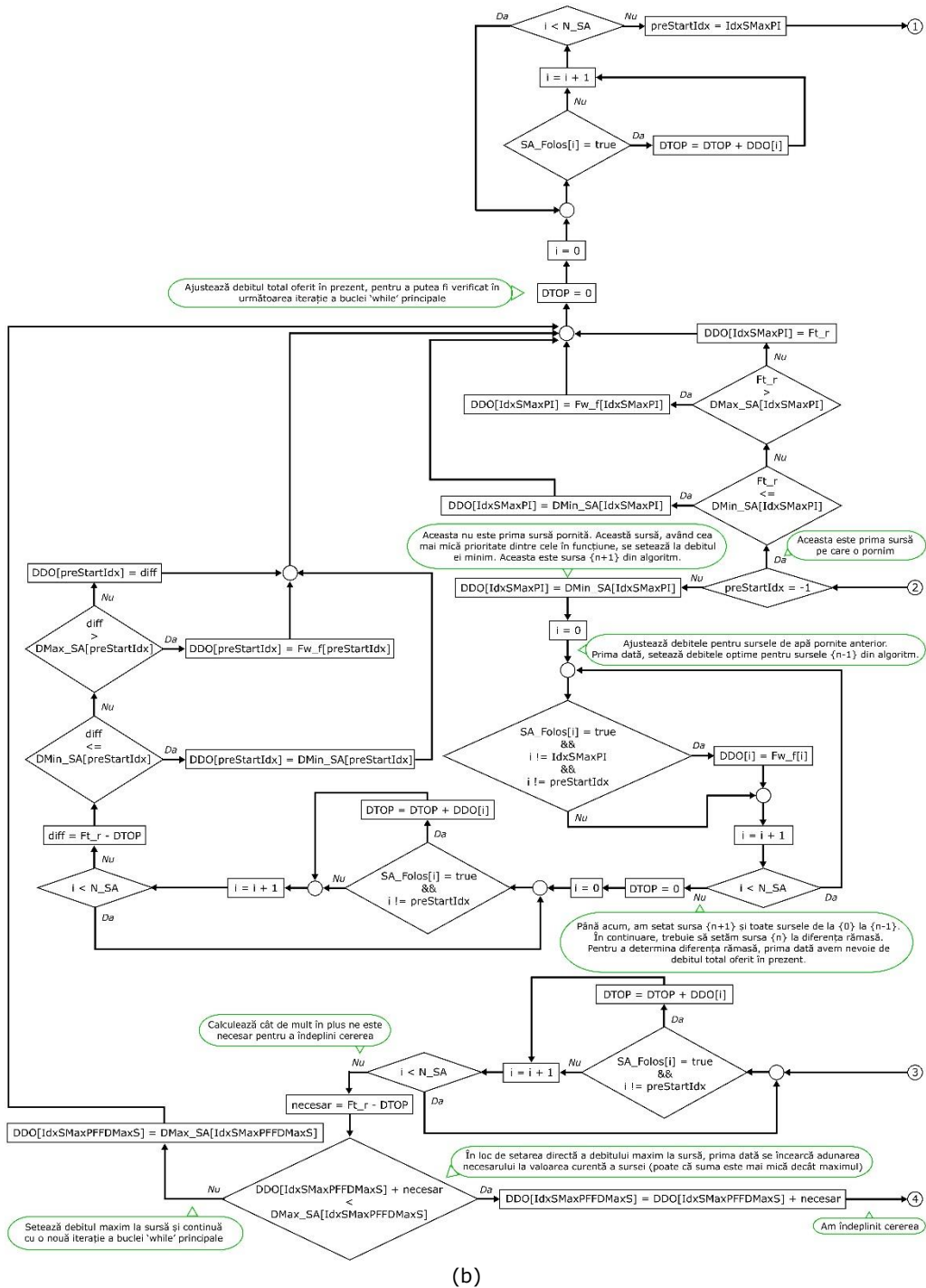


Figura 8.7. Algoritmul implementat pentru divizarea debitului total de apă solicitat în debite specifice pentru fiecare sursă, într-un mod optim pentru reducerea consumului de energie

Tabelul 8.1. Explicarea abrevierilor și denumirilor din Figura 8.7

Abreviere / Denumire	Explicații
SA_Folos	Tablou de tip boolean care arată starea fiecărei surse, dacă este pornită sau oprită
DTOP	Debitul Total Oferit în Prezent. Acesta este suma tuturor debitelor de apă de la surse.
preStartIdx	Indexul ultimei surse de apă care a fost pornită
Ft_r	Debitul total solicitat de la sursele de apă. Acesta este același cu cel din ecuația (5) din subsecțiunea 6.2.
DDO	Debite După Optimizare. Acesta este un tablou care conține debitul optim pentru fiecare sursă, așa cum este calculat de către strategia de optimizare.
N_SA	Numărul de Surse de Apă
sumaTutOpt	Suma debitelor optime de la toate sursele de apă
Fw_f	Tablou care conține debitul optim pentru fiecare sursă de apă, așa cum a fost calculat de către strategia de optimizare. Acesta este același cu cel din ecuația (4) din subsecțiunea 6.2.
VMinPSF	Valoarea celei mai mici priorități dintre sursele care funcționează
SUS_MAX	Valoarea maximă posibilă
IdxSMinPF	Indexul sursei cu cea mai mică prioritate dintre cele care funcționează
Pf	Tablou care conține indicatorul de prioritate al fiecărei surse de apă, așa cum a fost calculat de către strategia de optimizare. Acesta este același cu cel din ecuația (1) din subsecțiunea 6.2.
DTOPFSMinP	Debitul total oferit în prezent fără sursa cu cea mai mică prioritate
VMaxPSI	Valoarea celei mai mari priorități dintre sursele inactive
JOS_MIN	Valoarea minimă posibilă
IdxSMaxPI	Indexul sursei cu cea mai mare prioritate dintre cele inactive
VMaxPSFFDMaxS	Valoarea celei mai mari priorități dintre sursele care funcționează și nu au debitul maxim setat
IdxSMaxPFFDMaxS	Indexul sursei cu cea mai mare prioritate dintre cele care funcționează și nu au debitul maxim setat
DMax_SA	Tablou care conține debitul maxim posibil pentru fiecare sursă de apă
DMin_SA	Tablou care conține debitul minim posibil pentru fiecare sursă de apă

Cântărind ordinea cronologică, dincolo de execuția algoritmului din Figura 8.7, unealta automatizată posedă deja debitul optim care ar trebui setat pentru fiecare sursă, și anume DDO din Figura 8.7, pentru a diminua consumul de energie. În mod sigur, alăturând această informație condiției inițiale de asociere a unei etichete OPC UA pentru referința debitului de apă (setpoint) a fiecărei surse, problema descoperirii

unei metode de a influența sistemul tehnic este, de asemenea, rezolvată. Practic, implementarea automatizării acestei strategii se termină cu scrierea referinței de debit (setpoint) calculată a fiecărei surse, din DDO, ca valoare a etichetei OPC UA corespunzătoare, aceasta fiind folosită, mai departe, în interiorul buclelor de control ale automatizării existente a STAP.

În altă ordine de idei, rezultatele, pas cu pas, ale fiecărei etape implicate în execuția strategiei de reducere a consumului de energie integrată în aplicația Historian sunt afișate în interfața grafică cu utilizatorul, așa cum este exemplificat în Figura 8.8, de mai jos, permițându-se și exportarea externă, în format PDF.

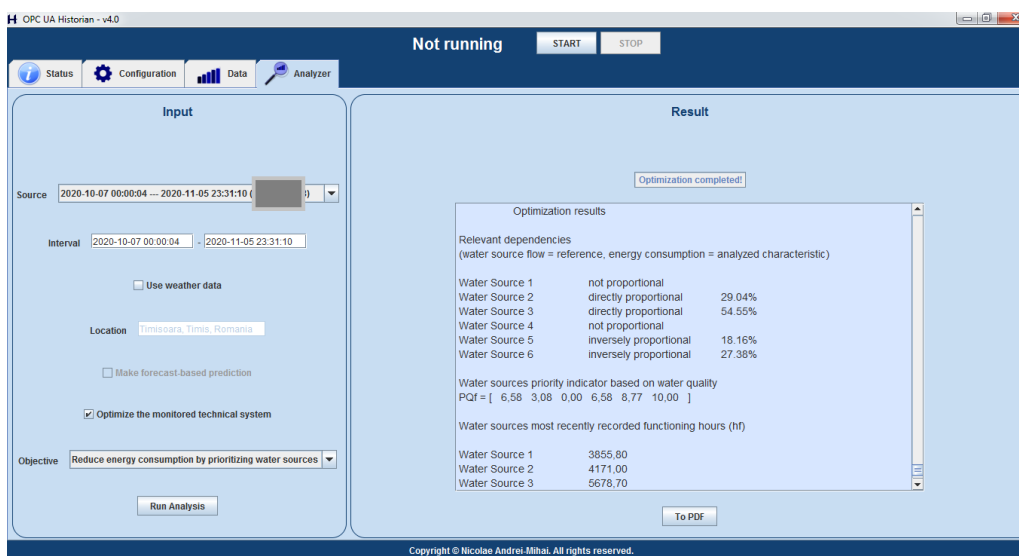


Figura 8.8. Exemplu de afișare, în interfața grafică a aplicației Historian, a rezultatelor rulării soluției de optimizare

În conchiderea subsecțiunii curente, se rememorează faptul că aceasta a prezentat implementarea automatizării complete a modalității de a aplica strategia de optimizare introdusă în capitolul 6. În acest fel, pentru prima dată, soluția Historian proactivă închide bucla caracterizată în arhitectura de referință instituită în secvența 4, devenind capabilă de monitorizarea unui sistem tehnic, analizarea datelor stocate și utilizarea concluziilor pentru a plănui o micșorare a consumului de energie în STAP, operațiile necesare fiind administrate direct sistemului, a cărui funcționare este influențată de către aplicația Historian proactivă.

8.4. Scenarii de test și interpretarea rezultatelor

Inaugurând noua subsecțiune a lucrării, se consemnează succesiunea normală, în care, în urma concretizării, în realitate, a oricărei noi dezvoltări de natură ideologică, așa cum a fost cazul în fragmentul precedent, în mod inerent, se regăsește o testare a produselor, cu scopul de a le valida, această fază reprezentând preocuparea subcapitolului actual.

În continuare, această porțiune a tezei este, la rândul său, alcătuită din trei părți distincte, în prima avându-se în vedere o înfățișare, din aproape în aproape, a tuturor pașilor prin care trece execuția soluției automatizate, pentru ca în partea secundă să fie descrise două cazuri de test diferite, concentrate pe algoritmul care împarte debitul de apă cerut între surse, pe când partea finală a subsecțiunii discută și interpretează rezultatele obținute.

Astfel, în cea dintâi zonă a delimitării 8.4, menținând o importanță primordială în etapele de testare și validare ale implementării, verificarea conformității tuturor valorilor calculate față de ecuațiile din subcapitolul 6.2 a constituit ținta incipientă.

În aceeași ordine de idei, o înșiruire, pas cu pas, a unei singure execuții a strategiei de optimizare, în interiorul aplicației Historian, din colecția de teste efectuate este expusă, cu intenția atât de a clarifica tehnica în care operează optimizarea, cât și de a detalia repercusiunea practică a implementării. Desigur, următorul calup de date imbricat în acest document a fost desprins direct din ieșirea vizualizată în interfața grafică cu utilizatorul a aplicației Historian, în mod similar cu ceea ce a fost surprins în Figura 8.8.

Din nou, așa cum s-a stipulat în prealabil, strategia de optimizare folosește doar un subset din ieșirea algoritmului de identificare a dependențelor de la primul nivel al arhitecturii de referință, și anume acela care a considerat debitul de apă real al surselor ca referință și consumul de energie total al STAP pe post de caracteristică analizată. În acest caz specific, preluat cu titlu de exemplu, subgrupul în cauză a fost cel captat în Tabelul 8.2, de mai jos.

Tabelul 8.2. Partea din ieșirea algoritmului de identificare a dependențelor care este de interes

Numărul Sursei de Apă	Proporționalitate	Cantitate
1	Nu este proporțional	-
2	Direct proporțional	29,04 %
3	Direct proporțional	54,55 %
4	Nu este proporțional	-
5	Invers proporțional	18,16 %
6	Invers proporțional	27,38 %

Bineînțeles, utilizând datele din Tabelul 8.2, algoritmul conturat în Figura 8.5 a calculat indicatorii de calitate ai apei, pentru fiecare sursă, care sunt enumerați în continuare:

$$q_f = [28,38 \ 57,42 \ 82,93 \ 28,38 \ 10,22 \ 1,00]$$

Apoi, acești indicatori de calitate ai apei au fost folosiți în ecuația (9) din subsecțiunea anterioară, dobândindu-se, pe această cale, indicatorii de prioritate pe baza calității apei, pentru fiecare sursă, aceștia fiind înlănțuiți mai jos:

$$PQ_f = [6,58 \ 3,08 \ 0,00 \ 6,58 \ 8,77 \ 10,00]$$

Pe de altă parte, pentru a se putea continua execuția, următorul pas are nevoie, ca intrare, de orele de funcționare ale fiecărei surse de apă, aceste valori fiind extrase din baza de date a aplicației Historian, selectându-se cele mai recente valori

disponibile pentru etichetele respective. Raportându-ne la exemplul nostru particular, valorile numerice au fost cele din Tabelul 8.3.

Tabelul 8.3. Orele de funcționare cele mai recent înregistrate pentru sursele de apă, la momentul optimizării

Numărul Sursei de Apă	Valoarea Orelor de Funcționare
1	3855,8
2	4171,0
3	5678,7
4	4781,4
5	4372,7
6	5884,4

Mai departe, orele de funcționare din Tabelul 8.3 au fost folosite în ecuația (2) din subcapitolul 6.2, ca valori ale lui h_f , în acest mod, obținându-se indicatorii de prioritate pe baza orelor de funcționare, pentru fiecare sursă:

$$PH_f = [3,45 \ 2,91 \ 0,35 \ 1,87 \ 2,57 \ 0,00]$$

După aceea, atât indicatorii de prioritate bazați pe calitatea apei (PQ_f), cât și cei bazați pe orele de funcționare (PH_f) au fost utilizați, împreună, în ecuația (1) din subsecțiunea 6.2, pentru a se determina prioritatea generală a fiecărei surse de apă. În mod individual, al exemplului de față, valoarea lui α , dar și a lui β au fost fixate la 0,5, ceea ce înseamnă că indicatorul de prioritate (P_f) a pus în balanță o contribuție egală a calității apei și a gradului de uzură al surselor. Anexând o scurtă notă laterală, atunci când se decide un indicator de prioritate pentru o sursă, trebuie să se țină cont și de nivelul de utilizare al sursei până la acel moment deoarece, în caz contrar, suprafolosirea echipamentului surselor cu cea mai bună calitate a apei va rezulta într-un număr mai mare de defecțiuni mecanice, care, datorită costurilor de mentenanță, ar face strategia de optimizare, comparativ cu neaplicarea acesteia în operarea STAP, mai costisitoare pentru compania de apă, pe termen lung, în ciuda reducerilor de costuri pe termen scurt. Reîntorcându-ne la exemplificarea începută, valorile distinsse pentru prioritățile surselor au fost:

$$P_f = [5,01 \ 2,99 \ 0,17 \ 4,23 \ 5,67 \ 5,00]$$

Ulterior stabilirii priorităților, îndeplinirea următorului pas necesită prezența, ca informații de intrare, a debitului minim și maxim posibil pe care fiecare sursă îl poate livra, acestea fiind citite din baza de date a aplicației Historian, filtrându-se cele mai noi valori disponibile pentru etichetele în cauză. În execuția analizată, aceste valori au fost cele trecute în Tabelul 8.4.

Tabelul 8.4. Debitul minim și maxim posibil, cele mai recent înregistrate, pe care fiecare sursă le poate livra, la momentul optimizării

Numărul Sursei de Apă	Debit Minim (m ³ /h)	Debit Maxim (m ³ /h)
1	5,0	8,8

2	6,5	13,2
3	8,9	17,6
4	6,7	11,9
5	4,8	10,6
6	7,8	15,1

Deci, datele din Tabelul 8.4 au fost folosite, alături de indicatorul de prioritate bazat pe calitatea apei (PQ_f), în ecuația (4) din subsecțiunea 6.2, pentru a afla debitele optime de mai jos, pentru fiecare sursă:

$$F_{w_f} = [7,50 \ 8,56 \ 8,90 \ 10,12 \ 9,89 \ 15,10]$$

La fel ca antecedentii, și ultimul pas din strategia de optimizare pretinde unele date de intrare, în speță debitul de apă total care este solicitat, în prezent, de la toate sursele. Fără echivoc, această valoare este calculată în interiorul STAP, de către automatizarea care asigură funcționarea stației, însă valoarea este setată unei etichete OPC UA accesibile pentru citire aplicației Historian. Prin urmare, la momentul execuției strategiei de optimizare, această valoare este obținută din baza de date a soluției Historian, prin alegerea valorii corespunzătoare etichetei de interes în întâia înregistrare din ordonarea temporală descrescătoare. În exemplul etalat, această valoare a fost:

$$F_{t_r} = 41,14$$

Deopotrivă, acest pas constă, în sine, în divizarea debitului de apă total, pe care sursele, în comun, trebuie să îl ofere (F_{t_r}), în debitele proprii, ale fiecărei surse, acest lucru realizându-se prin intermediul execuției algoritmului dezvoltat în Figura 8.7, care, în situația curentă, a furnizat următoarele debite optimizate:

$$DDO = [7,50 \ 0,00 \ 0,00 \ 8,66 \ 9,89 \ 15,10]$$

La acest punct, execuția strategiei de optimizare este finalizată, soluția punând la dispoziție o serie de debite de apă care, dacă sunt revendicate de la surse, generează cel mai mic consum de energie posibil în interiorul STAP pentru a satisface debitul cerut, adică 41,14 m³/h în contextul dat.

În plus, la sfârșit sunt afișate încă două bucăți adiționale de informație în interfața grafică cu utilizatorul a aplicației Historian, prima dintre acestea fiind debitul total oferit de către surse după optimizare, cu alte cuvinte, suma elementelor tabloului DDO, în conjunctura noastră aceasta fiind egală cu debitul solicitat, 41,14 m³/h. Cu toate acestea, se poate întâmpla, în anumite circumstanțe obiective, ca debitul solicitat să nu poată fi compensat perfect, în aceste cazuri speciale, algoritmul din Figura 8.7 fiind implementat ca, de fiecare dată, să încline spre depășirea țintei și să nu recomande valori ale căror sumă matematică este mai mică decât cantitatea cerută (F_{t_r}). În legătură cu această chestiune, dacă se livrează mai puțină apă decât s-a comandat, atunci devine fezabil ca apa din interiorul bazinului de distribuție să scadă până la un nivel atât de coborât încât să nu mai poată fi trimisă în rețeaua de apă potabilă, deși aceasta are nevoie de mai multă apă, acesta fiind un incident major pentru orice STAP. În opoziție, dacă se expediază mai multă apă decât s-a cerut, atunci nivelul apei din rezervorul de distribuție va crește mai rapid, ceea ce face ca automatizarea care operează STAP să reducă valoarea debitului solicitat mai rapid, în timp, fără a apărea nici un fel de consecințe nedorite în acest caz. Pe lângă aceasta, cea de-a doua informație anunțată este o listă cu perechi de nume de etichetă (tag)

și valoare numerică, pe care aplicația Historian le alterează în interiorul STAP, în exemplificarea de până acum, instantaneul prins în interfața grafică cu utilizatorul fiind:

```
Set PF1_setpoint to 7,50
Set PF2_setpoint to 0,00
Set PF3_setpoint to 0,00
Set PF4_setpoint to 8,66
Set PF5_setpoint to 9,89
Set PF6_setpoint to 15,10
```

În mod clar, prin convenție, o valoare pentru referința (setpoint) debitului egală cu 0,00 pentru o sursă de apă exprimă faptul că respectiva sursă nu va funcționa, ci va fi oprită.

Așadar, până la această cotă, a fost relatat un exemplu, pas cu pas, de execuție a automatizării complete dezvoltate în subcapitolul 8.3 a strategiei de reducere a consumului de energie introduse în secvența 6, apelându-se la date reale, produse de către soluția Historian proactiv.

În armonie cu afirmațiile de la debutul acestei subsecțiunii, după partea de început, orientată spre garantarea faptului că ecuațiile sunt aplicate corect în calcule, se succede o altă zonă, care înglobează obiectivul secund al demersurilor de testare, și anume verificarea dacă ieșirea algoritmului care repartizează debitul total de apă între surse, din Figura 8.7, urmează liniile directe trasate de către evoluția conceptuală din fragmentul 6.2. Într-o manieră extrem de simplificată, noțiunile presupun ca mai multă apă să fie obținută de la sursele cu prioritățile cele mai mari, în detrimentul surselor cu prioritățile mai mici, în același timp încercându-se să se păstreze debitul cerut de la fiecare sursă cât mai aproape cu putință de debitul optim calculat (F_{w_f}).

Desigur, pentru a evalua acest nou obiectiv, au fost luate în considerare două scenarii separate, ambele implicând date provenite de la STAP din lumea reală, fiecare dintre aceste probe fiind compusă din multiple cazuri de test. În continuare, procedura de test a constat în editarea valorii debitului total solicitat de la surse, în interiorul bazei de date a aplicației Historian, la cea mai recentă înregistrare. În acest fel, a putut fi investigată, cu execuții repetate ale strategiei de optimizare, o simulare a modului în care algoritmul din Figura 8.7 s-a comportat, în condiții identice, pentru valori diferite ale debitului total, independent de operarea STAP reale. Suplimentar, această metodă a permis formularea de cazuri de test asimilatoare a unei game largi de debite totale solicitate, într-un mediu sigur, unele dintre acestea fiind foarte improbabil a fi autorizate pentru testare pe o STAP reală.

Oricum, primul scenariu de test a antrenat date recepționate de la o STAP reală, dotată cu șase surse de apă, pe când datele istorice stocate analizate de către algoritmul de la nivelul 1 au acoperit o perioadă de patru săptămâni, întinsă pe intervalul de timp din 7 octombrie 2020 și până în 5 noiembrie 2020. La fel de important, trebuie amintit că ordinea surselor, pe baza indicatorului de prioritate (P_f) asociat acestora, așa cum a fost identificat de strategia de optimizare, a fost, în această împrejurare, de la cea mai mare, la cea mai mică prioritate: 5, 1, 6, 4, 2, 3. Concret, cazurile de test executate în acest scenariu și rezultatele aferente au fost strânse în Tabelul 8.5, de mai jos, cu abrevierile de care s-a făcut uz explicate în subsolul aceluiași tabel.

Tabelul 8.5. Cazurile de test executate și rezultatele acestora, în primul scenariu de test

Nr. Caz Test	Debitul Total Solicitat ($F_{t,r}$)	DDO 1 ¹	DDO 2	DDO 3	DDO 4	DDO 5	DDO 6	Suma Tuturor DDO
1	$F_{t,r} < \text{Min}5$ ²	0	0	0	0	Min5	0	Min5 ($> F_{t,r}$)
2	$\text{Min}5 < F_{t,r} < \text{Opt}5$ ³	0	0	0	0	$F_{t,r}$	0	$F_{t,r}$
3	$\text{Opt}5 < F_{t,r} < \text{Max}5$ ⁴	0	0	0	0	$F_{t,r}$	0	$F_{t,r}$
4	$\text{Max}5 + 1$	Min1	0	0	0	diff ⁵	0	$F_{t,r}$
5	$\text{Max}5 < F_{t,r} < \text{Max}5 + \text{Opt}1$	Min1	0	0	0	diff	0	$F_{t,r}$
6	$\text{Max}5 + \text{Opt}1 < F_{t,r} < \text{Max}5 + \text{Max}1$	Min1	0	0	0	Opt5	Min6	$> F_{t,r}$
7	$\text{Opt}5 + \text{Min}1 + \text{Min}6 < F_{t,r} < \text{Opt}5 + \text{Opt}1 + \text{Min}6$	diff	0	0	0	Opt5	Min6	$F_{t,r}$
8	$\text{Opt}5 + \text{Opt}1 + \text{Min}6 + 1$	diff ($> \text{Opt}1$)	0	0	0	Opt5	Min6	$F_{t,r}$
9	$\text{Opt}5 + \text{Max}1 + \text{Min}6 + 1$	Opt1	0	0	0	Opt5	diff	$F_{t,r}$
10	$\text{Opt}5 + \text{Opt}1 + \text{Opt}6$	Opt1	0	0	0	Opt5	Opt6	$F_{t,r}$
11	$\text{Opt}5 + \text{Opt}1 + \text{Opt}6 - 1$	Opt1	0	0	0	Opt5	diff	$F_{t,r}$
12	$\text{Opt}5 + \text{Opt}1 + \text{Opt}6 + 1$	Opt1	0	0	Min4	Opt5	diff	$F_{t,r}$
13	$\text{Opt}5 + \text{Opt}1 + \text{Opt}6 + \text{Opt}4 + 1$	Opt1	Min2	0	Min4	Opt5	Opt6	$> F_{t,r}$
14	$\text{Opt}5 + \text{Opt}1 + \text{Opt}6 + \text{Opt}4 + \text{Min}2 + 1$	Opt1	Min2	0	diff	Opt5	Opt6	$F_{t,r}$
15	$\text{Opt}5 + \text{Opt}1 + \text{Opt}6 + \text{Max}4 + \text{Min}2 + 1$	Opt1	Min2	Min3	Opt4	Opt5	Opt6	$> F_{t,r}$
16	$\text{Opt}5 + \text{Opt}1 + \text{Opt}6 + \text{Opt}4 + \text{Min}2 + \text{Min}3 + 1$	Opt1	diff	Min3	Opt4	Opt5	Opt6	$F_{t,r}$
17	$\text{Opt}5 + \text{Opt}1 + \text{Opt}6 + \text{Opt}4 + \text{Opt}2 + \text{Opt}3$	Opt1	Opt2	Opt3	Opt4	Opt5	Opt6	$F_{t,r}$
18	$\text{Opt}5 + \text{Opt}1 + \text{Opt}6 + \text{Opt}4 + \text{Opt}2 + \text{Opt}3 + 1$	Opt1	diff ($\text{Opt}2 + 1$)	Opt3	Opt4	Opt5	Opt6	$F_{t,r}$
19	$\text{Opt}5 + \text{Opt}1 + \text{Opt}6 + \text{Opt}4 + \text{Max}2 + \text{Opt}3 + 1$	Max1	diff	Opt3	Max4	Max5	Max6	$F_{t,r}$
20	$\text{Max}5 + \text{Max}1 + \text{Max}6 + \text{Max}4 + \text{Max}2 + \text{Opt}3 + 1$	Max1	Max2	diff	Max4	Max5	Max6	$F_{t,r}$
21	$F_{t,r} > \text{Max}5 + \text{Max}1 + \text{Max}6 + \text{Max}4 + \text{Max}2 + \text{Max}3$	Max1	Max2	Max3	Max4	Max5	Max6	$< F_{t,r}$

¹ DDO 1 = Debitul După Optimizare al sursei de apă 1.² Min5 = Debitul minim pe care îl poate oferi sursa de apă 5.

³ Opt5 = Debitul optim pentru sursa de apă 5, așa cum a fost calculat de către strategia de optimizare (aceiași cu $F_{w,r}$).

⁴ Max5 = Debitul maxim pe care îl poate oferi sursa de apă 5.

⁵ diff = Diferența rezultată prin scăderea Sumei Tuturor DDO în afară de coloana curentă din valoarea din ultima coloană a tabelului.

Altfel, cel de-al doilea scenariu de test a cuprins, la rândul său, date originare de la o STAP din lumea reală, dar diferită față de STAP folosită în primul scenariu, de această dată dispunându-se de doar patru surse de apă. Mai mult, în acest scenariu secund, datele colectate și analizate au izolat o perioadă de două săptămâni, întinsă pe intervalul de timp dintre 2 decembrie 2020 și 15 decembrie 2020. În mod analog, este necesar a se transmite că ordinea surselor, în funcție de indicatorul de prioritate (P_f) alăturat acestora, așa cum a fost stabilit de strategia de optimizare, a fost, în acest caz, de la cea mai mare, la cea mai mică prioritate: 2, 4, 1, 3. Într-o abordare omoloagă cu cea prezentată mai sus, cazurile de test executate sub acest scenariu și rezultatele acestora formează Tabelul 8.6, abrevierile conservându-și aceleași înțelesuri precum cele detaliate în porțiunea de subsol din Tabelul 8.5.

Tabelul 8.6. Cazurile de test executate și rezultatele acestora, în al doilea scenariu de test

Nr. Caz Test	Debitul Total Solicitat ($F_{t,r}$)	DDO 1	DDO 2	DDO 3	DDO 4	Suma Tuturor DDO
1	$F_{t,r} < \text{Min}2$	0	Min2	0	0	Min2 ($> F_{t,r}$)
2	$\text{Min}2 < F_{t,r} < \text{Opt}2$	0	$F_{t,r}$	0	0	$F_{t,r}$
3	$\text{Max}2 + 1$	0	diff	0	Min4	$F_{t,r}$
4	$\text{Max}2 + \text{Min}4 + 1$	Min1	Opt2	0	Min4	$> F_{t,r}$
5	$\text{Opt}2 + \text{Min}4 + \text{Min}1 + 1$	Min1	Opt2	0	diff	$F_{t,r}$
6	$\text{Opt}2 + \text{Opt}4 + \text{Min}1 + 1$	Min1	Opt2	Min3	Opt4	$> F_{t,r}$
7	$\text{Opt}2 + \text{Opt}4 + \text{Min}1 + \text{Min}3 + 1$	diff	Opt2	Min3	Opt4	$F_{t,r}$
8	$\text{Opt}2 + \text{Opt}4 + \text{Opt}1 + \text{Min}3 + 1$	diff	Opt2	Opt3 (= Min3)	Opt4	$F_{t,r}$
9	$\text{Opt}2 + \text{Opt}4 + \text{Opt}1 + \text{Opt}3 < F_{t,r} < \text{Max}2 + \text{Max}4 + \text{Max}1 + \text{Max}3$	diff	Opt2	Opt3	Opt4	$F_{t,r}$
10	$F_{t,r} > \text{Max}2 + \text{Max}4 + \text{Max}1 + \text{Max}3$	Max1	Max2	Max3	Max4	$< F_{t,r}$
11	$\text{Max}2 + \text{Opt}4 + \text{Opt}1 + \text{Opt}3 + 1$	diff	Opt2 (= Max2)	Opt3 (= Min3)	Opt4	$F_{t,r}$

Reflectând asupra datelor de test împachetate în cele două tabele anterioare, se argumentează că implementarea practică a algoritmului din Figura 8.7, așezată în aplicația Historian, urmează, într-adevăr, îndrumările teoretice generale oferite de către strategia prescrisă în subdiviziunea 6.2.

Deci, cu sprijinul rezultatelor aduse în atenție pe durata celor două părți deja epuizate din subsecțiunea actuală, 8.4, automatizarea completă a strategiei de reducere a consumului de energie, în interiorul soluției Historian proactiv, poate fi, fără dubii, proclamată ca validată.

În al treilea rând, pasajul din coada celor anteprecizate în preambulul acestui subcapitol dezbată și interpretează descoperirile și rezultatele înaintate în cele două zone de mai sus, chibzuind, de asemenea, și perspectiva studiilor precedente.

În mod esențial, pentru întregul efort de testare se evidențiază faptul că obiectivul acestei sesiuni de testare nu a fost demonstrarea eficienței strategiei de micșorare a consumului de energie, deoarece aceasta a fost deja certificată în încadrarea 6.3, unde s-a arătat că strategia a atenuat consumul de energie al unei STAP cu 9% într-un model cu date de intrare reale și cu 30% într-un test desfășurat pe o instalație reală în care s-a folosit numai o parte a algoritmului.

Prin urmare, ceea ce s-a intenționat a se obține, ca principal rezultat al testelor executate în capitolul curent, a fost dovedirea faptului că metoda automată dezvoltată de a aplica strategia de rentabilizare este realmente conformă cu conceptul care a provocat îmbunătățiri semnificative în reducerea consumului de energie. În această direcție, un set de rezultate de test a fost analizat temeinic, pentru a se asigura că toate calculele bazate pe ecuațiile strategiei sunt corecte, unul dintre aceste rezultate fiind disecat în prima parte a acestei subsecțiuni. În aceeași activitate de testare, bucată secundă din acest subcapitol a expus două scenarii separate, unul referind o STAP conținând șase surse de apă, iar celălalt o STAP având patru surse de apă, sintetizările din Tabelul 8.5 și Tabelul 8.6 atestând că soluția automatizată este aptă pentru alegerea debitului de apă al fiecărei surse, în consonanță cu instrucțiunile strategiei de optimizare.

Fără îndoială, bilanțul acestei etape de cercetare trebuie să fie interpretat drept dobândirea unei unelte integrate în interiorul unei soluții software de tip historian proactiv, care poate aplica, într-o manieră deplin automatizată, fără a necesita cooperare umană, o strategie de scădere a consumului de energie înăuntrul unei STAP, într-un mod neinvaziv în ceea ce privește automatizarea locală a stației. Astfel, automatizarea integrală din ciclul de studiu în curs deblochează posibilitatea, după o configurare minimală de care este nevoie în faza inițială, cum ar fi amplasarea obiectelor procesului în *Historian Process Editor* și atribuirea de semantism etichetelor, să se aplice acea strategie, în practică, fără limitări legate de prezența sau cunoștințele factorului uman. Consecvent, acest lucru îngăduie lansarea soluției pe o scară largă, în funcționare total automatizată, pe termen lung, în industria apei, propagându-se, cu această ocazie, beneficiile ramificate din ansamblul muncii de cercetare conexe spre mediul industrial, practic, real.

Chiar dacă atât montarea prototipului dezvoltat, cu toate funcționalitățile sale, într-un scenariu real, cât și testarea acestuia, pe termen lung, sunt tehnic realizabile, aceste experimentări vor trebui să fie aprobate de către compania locală de apă, deocamdată fiind planificate pentru un orizont viitor. Până atunci, nu pot fi susținute prin probe decât valorile de reducere a consumului de energie care au reieșit din subsecțiunea 6.3.

În preîntâmpinarea unei așteptări frecvente, tentativa de a compara rezultatele acestei faze cu cele ale unei soluții asemănătoare nu este fezabilă la momentul redactării acestui manuscris deoarece o altă strategie de coborâre a consumului de energie, în întregime automatizată, adecvată unei STAP, nu a putut fi întrezărită, până în prezent, nici în literatură, nici în practică.

În mod expres, soluția implementată în această perioadă de cercetare este complementară soluției principale, centralizate, de control automat al unei STAP și acționează pe o cale neinvazivă, aceasta din urmă având prioritate în operare, prin strategiile de control locale cu bucle deschise și închise și, de fapt, control total asupra proceselor. Așa că, prin indicatorii de prioritate identificați automat pentru foraje, conștientizarea procesului, strategia permanentă de sporire a eficienței energetice

cooptată în interiorul aplicației Historian considerând toate constrângerile, abilitatea de a reacționa automat asupra sistemului local și de a difuza strategia de eficientizare energetică fără intervenție umană, se girează automatizarea completă a soluției de urcare a eficienței energetice bazate pe programe din clasa historian pentru un STAP. În plus, indicatorii de prioritate obținuți și referințele (setpoints) debitelor surselor de apă sunt validate în relație cu strategia de reducere a consumului de energie în secțiunea 6, în contextul unei soluții complet automatizate. Deci, în cazul apariției unor evenimente perturbatoare externe, cum ar putea fi o pană de curent, menținerea activă a instrumentului descris în această etapă nu produce nici un fel de impact negativ asupra funcționării STAP.

Firește, unealta automatizată construită reprezintă doar o primă versiune a implementării unei expansiuni conceptuale, ceea ce face foarte plauzibilă ipoteza de a fi susceptibilă la îmbunătățiri. Pe această linie, prin observații pe termen lung ale performanței ustensilei în lumea reală, se pot studia și dezvolta, în timp, reglaje specifice și perfecționări, pentru a mări eficiența în temperarea consumului de energie.

În definitivarea subsecțiunii, se inventariază rolul acesteia, pe de-o parte de a prezenta testarea compoziției practice, subliniate în subcapitolul precursor, a etapei terminale din cadrul doctoral, rol exercitat prin deliberarea mai multor scenarii și exemple, iar, pe de altă parte, de a concilia variile posibile interpretări ale rezultatelor pricinuite.

8.5. Concluzii

Preluând ca atare direcția asumată spre care s-a pornit în această teză, de formulare a unor soluții și strategii inteligente pentru mediul industrial, sub directivele filozofiilor IIoT și Industry 4.0, această ultimă bornă de cercetare și-a aliniat tematica fluxului consacrat.

Astfel, folosindu-se de anumite rezultate și dezvoltări din intervalele anterioare de studiu, capitolul 8 a propulsat desăvârșirea unei unelte software, fuzionată intern în aplicația Historian proactivă, care poate diminua consumul total de energie al unei STAP, în mod autonom, neinvaziv și automatizat. Indubitabil, pentru aceasta s-a verificat ca demersurile să fie în conformitate cu nivelul 3 al arhitecturii de referință din secțiunea 4, orchestrându-se în realitate o automatizare completă a modalității de aplicare a procedurii de optimizare din secvența 6 asupra unei STAP. Fără ezitare, noua structură software a fost testată și validată ca fiind în acord cu stratagema din demarcația 6, reverberația finală a acestei faze de cercetare constituindu-se dintr-o implementare practică integrală a mijloacelor de optimizare, pregătită pentru premiera în lumea reală, în această formă închizându-se bucla caracterizată de arhitectura de referință și luând naștere întâiul historian proactiv funcțional întâlnit.

În pofida faptului că o doză apreciabilă de preocupări precedente a fost refructificată în etapa actuală, aceasta a relevat, de asemenea, și contribuții avangardiste importante, cum ar fi: (i) cercetarea și dezvoltarea unei metode de a conecta, la o margine, rezultatele algoritmului de identificare a dependențelor deja disponibil, de la primul strat al arhitecturii de referință aflată la temelia sistematizării Historian proactiv, iar, în colțul opus, indicatorii de calitate ai surselor de apă, după cum se încuviințează a se desluși în Figura 8.5 și în ecuația (9) din fragmentul 8.3; (ii) finisarea exhaustivă a algoritmului robust care hotărăște debitul exact pe care fiecare sursă de apă trebuie să îl predea, dat fiind un debit total care este necesar a

fi receptat, totul pentru a ameliora consumul de energie, surprinsă în Figura 8.6 și Figura 8.7; (iii) încapsularea întregii tactici de optimizare în interiorul unei aplicații preexistente, din familia historian. Mulțumită tuturor acestor aporturi, s-a înlesnit acoperirea golurilor care, înainte, obstrucționau metamorfozarea strategiei de optimizare spre o unealtă automatizată.

Într-un alt registru, ținând seama și de numeroasele direcții de dezvoltare viitoare, soluția încă reține un potențial înalt de a răsfrânge și alte îmbunătățiri tangibile asupra sistemelor industriale din zilele noastre. Așadar, contribuțiile acestui capitol simbolizează doar un pas, pe o rută lungă, asociindu-se proeminentului efort orientat spre canalizarea atuurilor puterii digitale spre nenumăratele sisteme învechite, moștenite, din variate discipline industriale, aspirația fiind atingerea unor niveluri de eficacitate și performanță, nu cu multă vreme în urmă, imposibile.

Relativ la introducerea în circulație, în cercurile științifice, a ideilor și consecințelor conturate în cea de-a opta secțiune a acestui înscris, se notifică faptul că aceste pronunțări intelectuale au făcut obiectul compunerii articolului [236], publicat într-un jurnal internațional de top.

În încheierea acestui capitol, se rememorează faptul că acesta a învelit ultima etapă de cercetare din stagiul doctoral în cauză, finalizată odată cu obținerea unei soluții Historian proactive, implementată în practică, posedând capacitatea de a optimiza consumul de energie al unei STAP, la acest hotar iscându-se bifarea tuturor obiectivelor setate pentru acțiunea doctorală.

9. CONCLUZIILE TEZEI

9.1. Concluzii finale

În lumina celor discutate pe parcursul acestei lucrări, se observă faptul că apariția și rafinarea continuă a conceptelor de Industrial Internet of Things și Industry 4.0, din ultimii ani, au dat startul unei transformări majore în mediul industrial, la nivel global, de amploarea unei adevărate revoluții industriale, prin intermediul căreia se încearcă livrarea beneficiilor promise de către lumea digitală spre mediile industriale reale.

În contextul de față, sub aceste paradigme, se remarcă o creștere treptată, dar categorică a interoperabilității sistemelor tehnice industriale și, odată cu aceasta, o extindere a cantităților de date vehiculate prin decorul automatizărilor industriale. Cu certitudine, combinarea realității moderne cu prezența unor aplicații software de tip historian, care monitorizează procesele tehnologice și înregistrează parametrii de funcționare ai acestora, cauzează emergența fenomenului de acumulare a datelor.

Întrezărind spre viitorul nu foarte îndepărtat, în care problemele de conectivitate și comunicare vor fi fost rezolvate, demersul doctoral curent a investigat o serie de metode și strategii prin care se poate folosi, în mod util, multitudinea de date stocate, de o manieră înțeleaptă și inovativă, în scopul optimizării a diverse aspecte ale procedurilor tehnice supravegheate, desigur, în concordanță cu ghidarea oferită de principiile Industry 4.0. În același timp, prin raportare la zona practică, s-a urmărit atașarea unui nivel superior de inteligență unei soluții historian elementare, astfel încât aceasta să devină capabilă de a profita de datele avute la îndemână, în acest fel, evoluând într-un actor proactiv al sistemului industrial, care să efectueze ajustări neinvazive, fără a necesita asistență umană constantă.

În acest sens, teza a înfățișat, în succesiunea unei examinări minuțioase prealabile obligatorii a stadiului actual al cercetării în domeniul de interes, dezvoltarea unei aplicații de tip historian simple, primare, destinată sectorului industrial, în general. În mod specific, această elaborare fundamentală, deși similară din punct de vedere al funcționalităților furnizate cu alte soluții deja existente pe piață, sosește la pachet cu cerințe reduse, este ușor de utilizat, uzitează de un protocol standard de interfațare cu sistemul țintit, OPC UA, și pune facil la dispoziție datele înmagazinate, fără a le închide în diferite formate proprietar inaccesibile.

Clădind peste acest progres inițial, s-a tranzitat spre partea cea mai importantă a tezei, și anume studierea și adăugarea palierului proactiv deasupra acestui proiect Historian de bază, parte descompusă în capitolele 4, 5, 6, 7 și 8.

În această direcție s-au resimțit rapid atât lipsa, cât și nevoia unei arhitecturi software de referință, motiv pentru care s-a întocmit și propus, prima dată, o asemenea arhitectură, originală, care desemnează și ierarhizează componentele care trebuiesc alipite unei aplicații historian clasice pentru a o avansa într-una proactivă.

După aceea, s-a demarat implementarea, pe rând, a celor trei straturi definite de către arhitectura respectivă. Primordial, s-a cercetat și s-a materializat un algoritm adresat identificării dependențelor dintre datele depozitate, prin analizarea evoluției, în plan temporal, a valorilor măsurate ale diverse variabile ale mecanismelor industriale.

Recurgând la valorificarea rezultatelor procurate cu ajutorul acestui algoritm de rang incipient în structura de reper antesugerată, s-a mers mai departe, formulând o strategie pentru diminuarea consumului de energie electrică într-o STAP, prin prioritizarea surselor de apă, în speță, foraje, concluzionată cu obținerea unor eficientizări notabile în această privință.

În continuare, insistând și aprofundând spre eșalonul secund, de mijloc, al arhitecturii de referință, s-a concretizat un alt algoritm, de această dată, de predicție, care, considerând desfășurarea meteorologică, deține abilitatea de a prezice valorile viitoare ale etichetelor unui sistem tehnic.

În cele din urmă, la nivelul terț s-a imbricat în soluția Historian edificată pe parcurs o automatizare completă a procesului de aplicare a strategiei de reducere a consumului energetic în STAP, surmontând obstacolele inevitabile care împiedicau această escaladare și anexând o aptitudine deșteaptă uneltei Historian.

În altă ordine de idei, se constată faptul că pluritatea de activități pe care această incursiune de cunoaștere le-a presupus a fost împărțită în nu mai puțin de șapte etape, acestea delimitându-se, prin analogie cu lucrarea, în capitolele 2, 3, 4, 5, 6, 7 și 8. Din nou, toate aceste faze subscriu unui unic fir logic, fiind dirijate într-o direcție comună, fiecare dintre acestea construind peste produsele intervalelor anterioare și înfăptuind câte un pas înainte spre același țel.

Pe lângă reflecțiile de natură teoretică, se sesizează faptul că un număr de cinci dintre aceste cicluri antemenționate s-au sfârșit cu urmări directe în sfera practică, la finalul acestei teze dobândindu-se o soluție historian proactivă funcțională, complexă atât ca dimensiuni ale implementării, cât și ca interacțiuni între modulele componente.

În mod firesc, fiecare dintre secvențele cu implicații practice a fost încheiată de perioade de testare a materialelor finite generate. În legătură cu aceasta, se reaccentuează faptul că s-a reușit evaluarea ansamblurilor de factură practică decurse în umbra studiilor, pe sisteme reale, din industria apei, apelând la un parteneriat cu o companie de apă locală. Pe această cale, atât cercetările cu caracter abstract, cât și articularea informatică derivată au fost validate în realitate, pavând, astfel, drumul pentru viitoare întrebunțări de către firme care activează în această branșă.

Chiar dacă studiile au fost aplicate în domeniul apei, se reamintește faptul că cea mai mare parte a implementărilor practice au fost dezvoltate respectându-se o mentalitate generică, în așa fel încât acestea să nu ajungă condamnate și restrânse doar unei anumite industrii. În schimb, s-a păstrat o aplicabilitate generală, de spectru larg, permițându-se transpuneri maleabile și spre alte branșe mecanizate.

Contemplând o perspectivă nouă, nivelul atins de soluția Historian încheagată la finele acestor manifestări doctorale admite gradul de încredere necesar pentru a fi folosită, în mod autonom, proactiv, în circumstanțe industriale, cu dorința de a îndeplini creșterea randamentului pentru care a fost creată, însă totul dependent de o condiție. Mai exact, aceasta obligă la încă un viitor proces de testare, pe infrastructură reală, terminal, pe termen lung, de cel puțin un an, atent controlat de către operatori, care să elimine eventualitatea unor deficiențe marginale, nedetectate până la acest punct.

Bineînțeles, nu se menține, în nici un moment, pretenția insinuării de a fi elevat până la perfecțiune vreuna dintre implementările straturilor arhitecturii de referință, inițiativele întreprinse și documentate aici străduindu-se să prezinte prime variante, cizelări și îmbunătățiri fiind, cu siguranță, posibile.

La fel de marcant, pe întreaga durată a acestor studii doctorale s-a aderat unor metode științifice riguroase, lucrându-se la cele mai înalte standarde academice, iar calitatea a primat pe toate fronturile de exprimare.

Mai presus de orice, progresele și inovațiile consemnate în timpul etapelor de cercetare din această teză reprezintă roadele unei colaborări active și de succes, pe de o parte, a unei echipe de cercetare, în interiorul căreia au conlucrat, alături de autorul doctorand al tezei, două cadre didactice din Universitatea Politehnica Timișoara, un cadru didactic din Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca și, pe de altă parte, cu o participare a mediului privat, pe filiera unei companii de apă, care a pus la dispoziție echipamente și personal propriu.

Nu în ultimul rând, trebuie evitată neglijarea contribuției științifice aduse, care este confirmată de publicarea unei însumări de șapte articole de cercetare, la conferințe și în jurnale de specialitate, reputabile, toate fiind indexate Web of Science.

În deznodământ, în cazul unei plasări într-un plan macro, eforturile din anii recentți, grupate sub acest demers doctoral, pun umărul la înnoirea și avansul în contextul acestei revoluții industriale întreținute de noțiunile de Industry 4.0 și Industrial Internet of Things, cotizând cu un mic pas înainte în arealul sporirii inteligenței soluțiilor software industriale.

9.2. Contribuții personale

În această subsecțiune, luând în calcul obiectivele declarate ale curentei preocupări doctorale, se revendică, în numele autorului tezei, următoarea înșiruire de contribuții personale:

- Realizarea unui studiu amănunțit referitor la stadiul actual al cercetării în domeniul tezei, care a impus consultarea unui număr însemnat de articole științifice relevante pentru tematica vizată.
- Deosebirea și catalogarea unor direcții de dezvoltare principale în ramura de competență a lucrării, alături de selectarea și clasarea corespunzătoare a publicațiilor semnificative recente, într-o analiză de tip recenzie.
- Implementarea practică și testarea pe sisteme reale din industria apei a unei aplicații software de tip historian, elementare, cu cerințe reduse, prietenoasă cu utilizatorul și semnalând avantaje, mai ales în ceea ce privește accesibilitatea nerestricționată la datele arhivate.
- Conceptualizarea și elaborarea unei arhitecturi software de referință, divizată pe trei niveluri distincte, care să fie folosită drept model pentru comutarea unei soluții rudimentare spre un etaj de înțelegere și acționare proactivă contemporane cu percepțiile Industry 4.0 și IIoT.
- Efectuarea unei cercetări pentru recunoașterea proceselor și a problemelor tipice regăsite într-o STAP.
- Conceptualizarea, dezvoltarea, implementarea, integrarea în soluția asamblată pe parcursul etapelor și testarea practică a unui algoritm pentru identificarea dependențelor, relațiilor și conexiunilor existente între datele adunate de către o aplicație historian, într-o abordare extrapolabilă.
- Instalarea pe platforma hardware, configurarea și lansarea în exploatare, în climatul industrial, a aplicației Historian, în versiunea disponibilă în respectiva fază a evoluției sale, ale cărei rezultate au fost, ulterior, fructificate de către restul echipei în optimizarea din capitolul 6.
- Derularea unui studiu pentru descoperirea și conspectarea proceselor particulare, problemelor definitorii și a influenței meteorologice uzuale, într-o SE obișnuită.

- Conceptualizarea, dezvoltarea, implementarea, integrarea în soluția asamblată pe parcursul etapelor și testarea practică a unui algoritm de predicție, bazat pe influența caracteristicilor meteorologice asupra unui sistem tehnic industrial și care invocă informațiile emise de către algoritmul de la stratul inferior al arhitecturii.
- Dezvoltarea, implementarea și integrarea în soluția asamblată pe parcursul etapelor a unui modul software pentru inserarea și asocierea, în aplicația Historian, a câte unui înțeles specific precis fiecărei etichete a sistemului monitorizat.
- Dezvoltarea și integrarea în soluția asamblată pe parcursul etapelor a unei automatizări complete a procesului de aplicare a strategiei de optimizare a consumului de energie într-o STAP.
- Colectarea unui volum mare de date, cu aplicația în cauză, provenite de la structuri tehnice reale, din industria apei, care au servit la testarea, în diverse momente, a celor mai noi completări ale formulării Historian.
- Căutarea și inspectarea, pe de o parte, a alternativelor software care includ potențial de refolosire, cu precădere cele de tip open-source și, pe de altă parte, a uneltelor și serviciilor disponibile care ar fi putut fi utilizate pentru împlinirea scopurilor din fiecare fază de cercetare. De asemenea, s-a cumpănit fezabilitatea și oportunitatea înglobării acestora în soluția finală, apreciind chiar procedee comparative, atunci când a fost cazul.

9.3. Publicații

Denotând o subsecțiune scurtă ca întindere, dar rezervatoare a unei importanțe aparte, în decursul studiilor doctorale de față a fost publicată, pentru diseminare, sprijinindu-se pe rezultatele rămase pe post de consecințe ale cercetărilor, o suită de lucrări științifice, atât la conferințe, cât și în jurnale, aceasta fiind enumerată mai jos, în ordine cronologică a datelor publicării articolelor:

- A. Lucrări științifice susținute la conferințe și publicate în volumele manifestărilor științifice (Proceedings) conforme, indexate Web of Science
 1. Andrei Nicolae, Adrian Korodi, Ioan Silea, "Modular and model-driven configurable approach for a centralized home-security system", IEEE 12th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), 17-19 Mai 2018, Timișoara, România, pp. 467 - 472.
 2. Andrei Nicolae, Adrian Korodi, "Node-Red and OPC UA Based Lightweight and Low-Cost Historian with Application in the Water Industry", IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 18-20 Iulie 2018, Porto, Portugalia, pp. 1012 - 1017.
- B. Lucrări științifice publicate în jurnale științifice, indexate Web of Science
 3. Andrei Nicolae, Adrian Korodi, Ioan Silea, "Identifying Data Dependencies as First Step to Obtain a Proactive Historian: Test Scenario in the Water Industry 4.0", Water Journal, volum 11, issue 6, număr articol 1144, Iunie 2019.

4. Andrei Nicolae, Adrian Korodi, Ioan Silea, "An Overview of Industry 4.0 Development Directions in the Industrial Internet of Things Context", *Romanian Journal of Information Science and Technology (ROMJIST)*, volum 22, numărul 3-4, pp. 183 – 201, Noiembrie 2019.
5. Adrian Korodi, Ruben Crișan, Andrei Nicolae, Ioan Silea, "Industrial Internet of Things and Fog Computing to Reduce Energy Consumption in Drinking Water Facilities", *Processes Journal*, volum 8, issue 3, număr articol 282, Martie 2020.
6. Andrei Nicolae, Adrian Korodi, Ioan Silea, "Weather-Based Prediction Strategy inside the Proactive Historian with Application in Wastewater Treatment Plants", *Applied Sciences Journal*, volum 10, issue 9, număr articol 3015, Aprilie 2020.
7. Andrei Nicolae, Adrian Korodi, Ioan Silea, "Complete Automation of an Energy Consumption Reduction Strategy from a Water Treatment and Distribution Facility, Inside an Industrial Internet of Things-Compliant Proactive Historian Application", *Sensors Journal*, volum 21, issue 7, număr articol 2569, Aprilie 2021.

9.4. Direcții viitoare de cercetare și dezvoltare

În deschiderea subsecțiunii epilog a tezei se precizează faptul că direcțiile viitoare de cercetare, plecând de la ceea ce s-a obținut în urma prezentelor demersuri doctorale sunt multiple, în același timp, posibilitățile de aplicabilitate practică având impact direct în realitate, în zona industrială, fiind aproape nelimitate.

În continuare, se explorează evidențierea a numai unui subset dintre aceste căi, triate pe raționamente legate de probabilitatea producerii unor optimizări sau îmbunătățiri palpabile. Desigur, pentru fiecare orientare s-a dispus și sublinierea eventualelor beneficii, în cazul concretizării acelei ramificări.

În primul rând, nivelul inițial din arhitectura software de referință propusă în această lucrare merită a fi considerat și prin optica tehnologiilor de Machine Learning și inteligență artificială. În speranța că studierea și discernerea, la capătul unui proces de învățare, care să folosească date reale, strânse de la echipamente industriale, a unui model Machine Learning, care să poată identifica dependențele, relațiile și conexiunile dintre date, s-ar solda cu succes, atunci utilitatea acestuia ar fi deosebită, suportând executarea unei comparații între această metodă și soluția clasică, algoritmică, ilustrată în subsecțiunea 5.2. În acest sens, se indică faptul că se află deja la îndemână destule date pentru a conduce procesul de învățare caracteristic antrenării unui model Machine Learning. După aceea, în mod cert, ar fi interesantă alegerea unui eșantion de date care să reprezinte intrarea atât pentru modelul Machine Learning antrenat premergător, cât și pentru algoritmul din subcapitolul 5.2, ieșirile din ambele situații favorizând o confruntare directă. Astfel, dacă se dezvăluie rezultate mai bune și o acuratețe superioară prin uzitarea de tehnicile Machine Learning, atunci acestea ar putea să înlocuiască, în aplicația Historian, implementarea actuală a algoritmului de la nivelul primar. Dintr-un unghi practic, una dintre opțiunile foarte bune ar fi integrarea și utilizarea, în soluția Historian, a librăriei open-source TensorFlow [237] lansată, promovată și susținută de către Google, care este prevăzută chiar și cu o procedură detaliată de instalare și folosire pe platforma Raspberry Pi, adică același mediu în care s-a testat până acum și aplicația Historian.

În al doilea rând, dacă ne mutăm atenția spre nivelul secund al aceleiași arhitecturi, se poate persevera în cercetarea și analizarea comportamentului soluției

Historian cu ocazia unei viitoare acomodări a unor alte date de context, în afara celor meteorologice, deja însușite. În plus, sunt șanse rezonabile ca, odată cu introducerea în ecuație și a altor date de context, să iasă la suprafață o ameliorare a exactității algoritmului de predicție.

De altfel, pe o pistă mai mult ca sigur anticipată până la acest prilej, se înscriu studierea și adăugarea de noi obiective de optimizare, pe lângă reducerea costurilor în STAP prin prioritizarea surselor de apă. În mod evident, aceasta presupune cercetarea și elaborarea de noi strategii de eficientizare a variate aspecte ale operării unui sistem tehnic industrial, manevre care, mai apoi, trebuie să fie automatizate prin dezvoltarea de noi module software în aplicația Historian.

În aproximativ aceeași regiune ideologică, având acces convenabil la limitele în care sunt obligați să se încadreze, din punct de vedere legal, anumiți parametri, pe de-o parte, într-o STAP și, pe de altă parte, într-o SE, îngrădiri postate în soluția Historian prin intermediul modulului de atribuire a înțelesurilor etichetelor monitorizate, din subsecțiunea 7.3 și Figura 7.7, se pot studia tactici și metode pentru a evalua modalitățile în care apa de la ieșirile din stații să fie menținută întotdeauna în proximitatea extremității inferioare acceptate a calității, însă fără depășirea acestei granițe. În acest fel este foarte clar faptul că o apă mai puțin tratată solicită consumarea unei cantități mai mici de energie, ceea ce înseamnă că o păstrare consecventă a calității apei de ieșire în vecinătatea limitelor maxim tolerate minimizează tratamentul administrat, ceea ce, la rândul său, plafonează timpul de funcționare al infrastructurii mecanice, atenuează alimentarea cu substanțe chimice și optimizează costurile operaționale ale stației.

Axându-ne pe o nouă linie, deoarece se posedă o predicție a evoluției viitoare a valorilor unor variabile din SE, se pot investiga mijloace de avertizare, cu autodeclanșare, a personalului calificat, în legătură cu suprasarcini sau suprasolicitări care vor apărea în viitor la echipamente, acestea putând extinde costurile de mentenanță, în cazul în care nu sunt prevenite. De fapt, prognoza meteorologică ar fi folosită, în acest scenariu, pentru protejarea predictivă a aparaturii industriale, prelungindu-i, astfel, durata de viață.

Într-o ipotetică tendință diferită, care migrează focalizarea spre porțiunea de punere la dispoziție a datelor deja stocate de către aplicația Historian, implementarea unui server OPC UA în interiorul soluției Historian ar putea oferi o disponibilitate amplificată a datelor, prin protocolul standard OPC UA, chiar și către alți agenți neumani, cum ar fi mașini, calculatoare, automatizări, scripturi externe.

În oarecum același subiect, al interfațării, dar fixat, de această dată, în raport cu sistemul tehnic urmărit, proiectul Historian ar putea fi dezvoltat în asemenea stil încât să stăpânească o gamă largă de alte protocoale, pe lângă OPC UA, prin interpunerea cărora să poată decurge comunicarea. În acest mod, s-ar expanda aria de relevanță a programului, pentru că s-ar autoriza interacțiuni și cu structuri mai vechi din peisajul industrial.

Dat fiind faptul că, deocamdată, elementele proactive din aplicația Historian sunt pornite în execuție în urma săvârșirii unor acțiuni manuale, în interfața grafică cu utilizatorul, pentru a furniza o soluție complet autonomă, trebuie să fie pionierată și finisată o strategie automată de rulare periodică a algoritmilor necesari, fiind indispensabilă stabilirea intervalelor de timp ideale dintre aceste rulări și dintre intervențiile, prin noi ajustări, asupra sistemului supravegheat. Însă, aducerea la bun sfârșit a acestor experimentări ar însemna ca, după o etapă incipientă, dedicată configurării, cooperarea umană să nu mai fie imperativă.

Într-o notă divergentă, o altă posibilă direcție de cercetare este studierea unor alternative pentru substituirea utilizării Node-Red cu o alcătuire care să citească

valorile etichetelor monitorizate direct în aplicația principală Java, preferabil cu o singură livrare complexă, în calup, a tuturor valorilor cerute, în locul manierei secvențiale curente din Node-Red. În această împrejurare s-ar înlătura nevoia de a crea un nou proces în sistemul de operare și tot amalgamul însoțitor cu privire la controlul acestuia și comunicarea interproces, ceea ce ar transforma patrimoniul software într-unul cu cerințe de procesare și mai reduse pentru platforma hardware. Oricum, se pretează o comparare cu etalonul de acum, dar nu este exclus ca o perspectivă precum aceasta să se dovedească mai performantă. Fără îndoială, fundamente solide pentru punerea în mișcare a acestei analize ar putea să fie întruchipate de pachetele de dezvoltare software Prosys OPC UA SDK for Java [238] și OPC Foundation OPC UA Java Stack [239].

Altminteri, o îmbunătățire a soluției Historian ar fi binevenită în perimetrul decretării și adnotării atât a tipurilor de obiecte, cât și a caracteristicilor acestora, amândouă predefinite, care sunt folosite în modulul consacrat pentru acumularea semnificațiilor din spatele caracteristicilor supravegheate. În mod limpede, consensul în vigoare, implicând două tablouri constante în codul Java, poate fi simplificat și mai mult, de exemplu, prin implementarea unei schimbări a tablourilor cu un fișier aflat pe disc, având extensie XML, extern aplicației, care să fie citit și verificat, cu ajutorul XML DTD, de către soluția Historian, la pornire. Bineînțeles, această sugestie cuprinde, în mod real, două fișiere, și anume: primul, încapsulând declarațiile DTD, va fi obținut odată cu instalarea și nu se editează pe parcurs, acesta fiind utilizat pentru a valida dacă fișierul celălalt are un conținut în forma așteptată, iar cel de-al doilea, luând locul tablourilor, va permite definirea în afara codului sursă. Prin urmare, atuurile încorporează un tipar mai ușor de înțeles, ceea ce deblochează calea pentru caracterizarea alegerilor predefinite care sunt îngăduite de modulul software în cauză, de către orice cunoscător al industriei de interes, prin rețușarea, după bunul plac, a fișierului în discuție. Totuși, se înștiințează faptul că este nevoie a fi studiată starea aplicației atunci când se schimbă șablonul în timpul funcționării, având deja modele salvate anterior, în acord cu vechile definiții, pentru precauție, fișierul trebuind să fie alterat doar înaintea primei porniri, cel puțin până la terminarea anchetării amintite.

Atâta timp cât se ține cont și de potențialul de valorificare comercială, economică, prin distribuirea în compartimentul industrial a aplicației Historian ca și produs finit, este esențială o actualizare a interfeței grafice cu utilizatorul a acesteia, care lasă puțin de dorit, față de standardele de astăzi. Ducând ideea mai departe, nu se face aluzie la modificări legate de pozițiile sau numărul controalelor grafice din interfață, ci strict o reimaginare a părții artistice, coloristice, a înfățișării generale. În acest caz, poate că s-ar cuveni examinarea altor tehnologii, mai moderne, de constituire a unei interfețe grafice, în afară de Java Swing.

La fel de important, cea mai vastă și sofisticată cercetare ulterioară va fi îndreptată spre modurile în care funcționalitățile aplicației Historian ar putea aduce beneficii în alte industrii. În această accepțiune, studiile se vor concentra pe aprofundarea proceselor particulare din respectivele industrii și o eventuală adaptare a soluției pentru notele distinctive de rigoare, alături de urmărirea unor obiective de maximizare proprii pentru acel sector.

În concluzie, subsecțiunea în curs de a fi închisă a prezentat numai o mică fracțiune a nenumăratelor oportunități și direcții viitoare de cercetare și dezvoltare, așezate în imediata vecinătate a cadrului în care s-au atestat rezultatele contabilizate la punctul terminus al acestei teze de doctorat.

BIBLIOGRAFIE

- [1] M. Pinzone, P. Fantini, S. Perini, S. Garavaglia, M. Taisch, G. Miragliotta, "Jobs and Skills in Industry 4.0: An Exploratory Research", *IFIP Advances in Information and Communication Technology: Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing*, vol. 513, pp. 282–288, 2017.
- [2] S. Pfeiffer, "The Vision of 'Industrie 4.0' in the Making — a Case of Future Told, Tamed, and Traded", *NanoEthics*, vol. 11, pp. 107–121, 2017.
- [3] M. Gotting, F. Gosewehr, M. Muller, J. Wermann, M. Zarte, A. Colombo, A. Pechmann, E. Wings, "Methodology and Case Study for Investigating Curricula of Study Programs in Regard to Teaching Industry 4.0", *IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, Emden, Germania, pp. 533–538, 2017.
- [4] G. Li, Y. Hou, A. Wu, "Fourth Industrial Revolution: technological drivers, impacts and coping methods", *Chinese Geographical Science*, vol. 27, pp. 626–637, 2017.
- [5] L. Bassi, "Industry 4.0: Hope, hype or revolution?", *IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI)*, Modena, Italia, pp. 1 – 6, 2017.
- [6] G. J. Cheng, L. T. Liu, X. J. Qiang, Y. Liu, "Industry 4.0 Development and Application of Intelligent Manufacturing", *International Conference on Information System and Artificial Intelligence (ISAI)*, Hong Kong, China, pp. 407–410, 2016.
- [7] D. Lukac, "The fourth ICT-based industrial revolution Industry 4.0 – HMI and the case of CAE/CAD innovation with EPLAN P8", *23rd Telecommunications Forum (TELFOR)*, Belgrad, Serbia, pp. 835–838, 2015.
- [8] S. Voitko, "The Marshall Plan as the Path for a Country to Industry 4.0", *International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech)*, Sofia, Bulgaria, pp. 1 – 3, 2018.
- [9] A. Ustundag, E. Cevikcan, "Industry 4.0: Managing The Digital Transformation", Springer International Publishing, Elveția, 2018.
- [10] J. Wan, S. Tang, Z. Shu, D. Li, S. Wang, M. Imran, A. V. Vasilakos, "Software-Defined Industrial Internet of Things in the Context of Industry 4.0", *IEEE Sensors Journal*, vol. 16 (issue 20), pp. 7373–7380, 2016.
- [11] A. Gilchrist, "Industry 4.0: The Industrial Internet of Things", Apress, New York, SUA, 2016.
- [12] S. Jeschke, C. Brecher, T. Meisen, D. Ozdemir, "Industrial Internet of Things and Cyber Manufacturing Systems", Springer International Publishing, Elveția, 2016.
- [13] G. Beier, S. Niehoff, B. Xue, "More Sustainability in Industry through Industrial Internet of Things?", *Applied Sciences*, vol. 8 (issue 2), 2018.
- [14] K. Routh, T. Pal, "A survey on technological, business and societal aspects of Internet of Things by Q3, 2017", *3rd International Conference On Internet Of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)*, Bhimtal, India, pp. 1–4, 2018.

- [15] M. Miraz, M. Ali, P. Excell, R. Picking, "A review on Internet of Things (IoT), Internet of Everything (IoE), and Internet of Nano Things (IoNT)", *Internet Technologies and Applications (ITA)*, Wrexham, Marea Britanie, pp. 219–224, 2015.
- [16] V. Paul, R. Saraswathi, "The Internet of Things – A comprehensive survey", *International Conference on Computation of Power, Energy Information and Communication (ICCPEIC)*, Melmaruvathur, India, pp. 421–426, 2017.
- [17] K. Vandikas, V. Tsiatsis, "Performance evaluation of an IoT platform", *IEEE 8th International Conference on Next Generation Mobile Apps, Services and Technologies (NGMAST)*, Oxford, Marea Britanie, 2014.
- [18] W. A. Khan, L. Wisniewski, D. Lang, J. Jasperneite, "Analysis of the requirements for offering industrie 4.0 applications as a cloud service", *IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, Edinburgh, Marea Britanie, 2017.
- [19] Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0), DIN Std. DIN SPEC 91 345, Aprilie 2016.
- [20] Industrie 4.0, [Online]. Disponibil: <http://www.plattform-i40.de>
- [21] Târgul de la Hanovra: <https://www.hannovermesse.de/home>
- [22] Programul târgului de la Hanovra din anul 2011: <https://www.automationworld.com/article/technologies/safetyprocess/hannover-fair-2011-news-and-product-announcements>
- [23] S. Schriegel, T. Kobzan, J. Jasperneite, "Investigation on a distributed SDN control plane architecture for heterogeneous time sensitive networks", *14th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS)*, Imperia, Italia, 2018.
- [24] J. K. Gerrikagoitia, G. Unamuno, E. Urkia, A. Serna, "Digital Manufacturing Platforms in the Industry 4.0 from Private and Public Perspectives", *Applied Sciences*, vol. 9 (issue 14), 2019.
- [25] Á. Bányai, B. Illés, E. Glistau, N. I. C. Machado, P. Tamás, F. Manzoor, T. Bányai, "Smart Cyber-Physical Manufacturing: Extended and Real-Time Optimization of Logistics Resources in Matrix Production", *Applied Sciences*, vol. 9 (issue 7), 2019.
- [26] Y. Liao, F. Deschamps, E. Loures, L. Ramos, "Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal", *International Journal of Production Research*, pp. 1–21, 2017.
- [27] P. Prisecaru, "Challenges of the Fourth Industrial Revolution", *Knowledge Horizons - Economics*, vol. 8, pp. 57–62, 2016.
- [28] G. Karacay, "Talent Development for Industry 4.0. In: *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*", *Advanced Manufacturing*. Springer, Cham, pp. 123–136, 2018.
- [29] M. Arntz, T. Gregory, F. Lehmer, B. Matthes, U. Zierahn, "Technology and Jobs in the Fourth Industrial Revolution", *IZA Workshop: Labor Productivity and the Digital Economy*, pp. 1–6, 2017.
- [30] M. Arntz, T. Gregory, U. Zierahn, "The risk of automation for jobs in OECD countries: a comparative analysis, *OECD social, employment and migration working papers*", no. 189, OECD Publishing, Paris, Franța, 2016.
- [31] M. Zarte, A. Pechmann, "Concept for introducing the vision of industry 4.0 in a simulation game for non-IT students", *IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, Emden, Germania, pp. 512–517, 2017.

- [32] E. Tantik, R. Anderl, "Integrated Data Model and Structure for the Asset Administration Shell in Industrie 4.0", *Procedia CIRP*, vol. 60, pp. 86–91, ISSN 2212-8271, 2017.
- [33] N. Iannacci, M. Giussani, F. Vicentini, L. M. Tosatti, "Robotic cell work-flow management through an IEC 61499-ROS architecture", *IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Berlin, Germania, pp. 1–7, 2016.
- [34] J. Qin, Y. Liu, R. Grosvenor, "A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond", *Procedia CIRP*, vol. 52, pp. 173–178, 2016.
- [35] L. Monostori, "Cyber-physical production systems: Roots, expectations and r&d challenges", *Procedia CIRP*, vol. 17, pp. 9–13, 2014.
- [36] A. Cala, A. Luder, A. Cachada, F. Pires, J. Barbosa, P. Leitao, M. Gepp, "Migration from traditional towards cyber-physical production systems", *IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, Emden, Germania, pp. 1147–1152, 2017.
- [37] A. Luder, M. Schleipen, N. Achmidt, R. Henßen, "One step towards an Industry 4.0 component", *13th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, Xi'an, China, 2017.
- [38] X. Ye, S. Ho Hong, "An AutomationML/OPC UA-based Industry 4.0 Solution for a Manufacturing System", *IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Torino, Italia, pp. 543–550, 2018.
- [39] E. Petritoli, F. Leccese, G. S. Spagnolo, "In-Line Quality Control in Semiconductors Production and Availability for Industry 4.0", *IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT*, Roma, Italia, 2020.
- [40] A. Cachada, J. Barbosa, P. Leitao, C. A. S. Geraldés, L. Deusdado, J. Costa, C. Teixeira, J. Teixeira, A. H. J. Moreira, P. M. Moreirak, L. Romero, "Maintenance 4.0: Intelligent and Predictive Maintenance System Architecture", *IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Torino, Italia, pp. 139–146, 2018.
- [41] M. Karakose, O. Yaman, "Complex Fuzzy System Based Predictive Maintenance Approach in Railways", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 16 (issue 9), pp. 6023–6032, 2020.
- [42] H. Huang, S. Ding, L. Zhao, H. Huang, L. Chen, H. Gao, S. H. Ahmed, "Real-Time Fault Detection for IIoT Facilities Using GBRBM-Based DNN", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7 (issue 7), pp. 5713–5722, 2020.
- [43] P. Zhang, Y. Wu, H. Zhu, "Open ecosystem for future industrial Internet of things (IIoT): Architecture and application", *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, vol. 6 (issue 1), pp. 1–11, 2020.
- [44] C. Prakash, S. Thakur, "Smart Shut-Down and Recovery Mechanism for Industrial Machines Using Internet of Things", *8th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)*, Noida, India, 2018.
- [45] S. Yury, E. Samoylova, "The internet of things as socio-technological institution of civil society in post-informational era", *2nd International Conference on Computer and Communication Systems (ICCS)*, Cracovia, Polonia, 2017.
- [46] E. Sisinni, A. Saifullah, S. Han, U. Jennehag, M. Gidlund, "Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 14 (issue 11), pp. 4724–4734, 2018.

- [47] C. Perera, C. H. Liu, S. Jayawardena, M. Chen, "A Survey on Internet of Things From Industrial Market Perspective", *IEEE Access*, vol. 2, pp. 1660–1679, 2014.
- [48] T. I. Strasser, F. P. Andr n, P. Vrba, R.  uhada, V. Moulis, A. M. Farid, S. Rohjans, "An Overview of Trends and Developments of Internet of Things Applied to Industrial Systems", 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), Washington, SUA, 2018.
- [49] H. Xu, W. Yu, D. Griffith, N. Golmie, "A Survey on Industrial Internet of Things: A Cyber-Physical Systems Perspective", *IEEE Access*, vol. 6, pp. 78238–78259, 2018.
- [50] R. Schiekofner, A. Scholz, M. Weyrich, "REST based OPC UA for the IIoT", *IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Torino, Italia, pp. 274–281, 2018.
- [51] J. H. Huh, "PLC-based design of monitoring system for ICT-integrated vertical fish farm", *Human-centric Computing and Information Sciences*, vol. 7, 2017.
- [52] J. H. Huh, K. Seo, "An Indoor Location-Based Control System Using Bluetooth Beacons for IoT Systems", *Sensors Journal*, vol. 17 (issue 12), 2017.
- [53] A. Ozadowicz, J. Grela, L. Wisniewski, K. Smok, "Application of the Internet of Things (IoT) technology in consumer electronics – case study", *IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Torino, Italia, pp. 1037–1042, 2018.
- [54] E. Borgia, "The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues", *Computer Communications*, vol. 54, pp. 1–31, 2014.
- [55] Industrial Internet Consortium, "The industrial internet of things volume g1: reference architecture", 2017.
- [56] S. A. Al-Qaseemi, H. A. Almulhim, M. F. Almulhim, S. R. Chaudhry, "IoT architecture challenges and issues: Lack of standardization", *2016 Future Technologies Conference(FTC)*, San Francisco, SUA, pp. 731–738, 2016.
- [57] C. I. Zhong, Z. Zhu, R. G. Huang, "Study on the IOT Architecture and Access Technology", *16th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science (DCABES)*, AnYang, China, pp. 113–116, 2017.
- [58] P. Sethi, S. R. Sarangi, "Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications", *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2017, Article ID 9324035, 2017.
- [59] Z. Qin, G. Denker, C. Giannelli, P. Bellavista, N. Venkatasubramanian, "A Software Defined Networking architecture for the Internet-of-Things", *IEEE Network Operations and Management Symposium (NOMS)*, Cracovia, Polonia, pp. 1–9, 2014.
- [60] K. Sood, S. Yu, Y. Xiang, "Software-Defined Wireless Networking Opportunities and Challenges for Internet-of-Things: A Review", *IEEE Internet of Things Journal*, vol.3 (issue 4), pp. 453–463, 2016.
- [61] C. F. O. C. Neves, U. F. Moreno, A. Boava, "IoT-based Distributed Networked Control Systems Architecture", *IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Torino, Italia, pp. 991–998, 2018.
- [62] A. Espirito-Santo, B. J. F. Ribeiro, C. G. M. Lima, S. Ambrosio, J. Bonifacio, "Self-Powered Smart Sensors in the Management of Water Infrastructures", *IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, Porto, Portugal, pp. 1024–1029, 2018.

- [63] M. Carratu, M. Ferro, A. Pietrosanto, V. Paciello, "Smart Power Meter for the IoT", IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Porto, Portugal, pp. 514–519, 2018.
- [64] J. Wang, W. C. Yeh, N. N. Xiong, J. Wang, X. He, C. L. Huang, "Building an Improved Internet of Things Smart Sensor Network Based on a Three-Phase Methodology", IEEE Access, vol. 7, pp. 141728-141737, 2019.
- [65] K. Fysarakis, I. Askoxylakis, O. Soultatos, I. Papaefstathiou, C. Manifavas, V. Katos, "Which IoT protocol? Comparing Standardized Approaches over a Common M2M Application", IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Washington, SUA, 2016.
- [66] S. Jaloudi, "Communication Protocols of an Industrial Internet of Things Environment: A Comparative Study", Future Internet Journal, vol. 11 (issue 3), 2019.
- [67] J. M. Gutierrez-Guerrero, J. A. Holgado-Terriza, "Automatic Configuration of OPC UA for Industrial Internet of Things Environments", Electronics Journal, vol. 8 (issue 6), 2019.
- [68] J. Huang, L. Kong, G. Chen, M. Y. Wu, X. Liu, P. Zeng, "Towards Secure Industrial IoT: Blockchain System With Credit-Based Consensus Mechanism", IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 15 (issue 6), pp. 3680-3689, 2019.
- [69] T. M. Fernandez-Carames, P. Fraga-Lamas, "A Review on the Application of Blockchain to the Next Generation of Cybersecure Industry 4.0 Smart Factories", IEEE Access, vol. 7, pp. 45201-45218, 2019.
- [70] T. Alladi, V. Chamola, R. M. Parizi, K. K. R. Choo, "Blockchain Applications for Industry 4.0 and Industrial IoT: A Review", IEEE Access, vol. 7, pp. 176935-176951, 2019.
- [71] N. Mohamed, J. Al-Jaroodi, "Applying Blockchain in Industry 4.0 Applications", IEEE 9th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), Las Vegas, SUA, pp. 852-858, 2019.
- [72] W. Cai, K. H. Lai, C. Liu, F. Wei, M. Ma, S. Jia, Z. Jiang, L. Lv, "Promoting sustainability of manufacturing industry through the lean energy-saving and emission-reduction strategy", Science of The Total Environment, vol. 665, pp. 23-32, 2019.
- [73] Q. M. Ashraf, M. H. Habaebi, M. R. Islam, S. Khan, "Device discovery and configuration scheme for Internet of Things", International Conference on Intelligent Systems Engineering (ICISE), Islamabad, Pakistan, pp. 38–43, 2016.
- [74] M. H. Schwarz, J. Borcsok, "A survey on OPC and OPC-UA: About the standard, developments and investigations", 24th International Conference on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT), Sarajevo, Bosnia și Herțegovina, pp. 1–6, 2013.
- [75] P. Drahos, E. Kucera, O. Haffner, I. Klimo, "Trends in industrial communication and OPC UA", Cybernetics & Informatics, Lazy pod Makytou, Slovakia, pp. 1–5, 2018.
- [76] S. Lehnhoff, S. Rohjans, M. Uslar, W. Mahnke, "OPC Unified Architecture: A Service-oriented Architecture for Smart Grids", 1st International Workshop on Software Engineering Challenges for the Smart Grid (SE-SmartGrids), Zurich, Elveția, pp. 1–7, 2012.
- [77] H. Haskamp, M. Meyer, R. Mollmann, F. Orth, A. Colombo, "Benchmarking of existing OPC UA implementations for Industrie 4.0-compliant digitalization

- solutions", IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Emden, Germania, pp. 589–594, 2017.
- [78] I. Gonzalez, A. J. Calderon, J. Figueiredo, J. M. C. Sousa, "A Literature Survey on Open Platform Communications (OPC) Applied to Advanced Industrial Environments", *Electronics Journal*, vol. 8 (issue 5), 2019.
- [79] OPC Foundation: <https://opcfoundation.org/>
- [80] H. Derhamy, J. Ronnholm, J. Delsing, J. Eliasson, J. van Deventer, "Protocol interoperability of OPC UA in service oriented architectures", IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Emden, Germania, pp. 44–50, 2017.
- [81] P. F. S. de Melo, E. P. Godoy, "Controller Interface for Industry 4.0 based on RAMI 4.0 and OPC UA", 2nd Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT (MetroInd4.0&IoT), Napoli, Italia, 2019.
- [82] E. Moraes, H. Lepikson, S. Konstantinov, "Improving connectivity for runtime simulation of automation systems via OPC UA", IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Cambridge, Marea Britanie, 2015.
- [83] S. Gruner, J. Pfrommer, F. Palm, "RESTful Industrial Communication With OPC UA", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 12 (issue 5), pp. 1832–1841, 2016.
- [84] Z. Luo, S. Hong, R. Lu, "OPC UA-based smart manufacturing: system architecture, implementation, and execution", The 5th International Conference on Enterprise Systems, Beijing, China, pp. 281–286, 2017.
- [85] M. Schleipen, M. Damm, R. Henßen, "OPC UA and AutomationML—collaboration partners for one common goal: Industry 4.0", 3rd AutomationML User Conference, Blomberg, Germania, 2014.
- [86] R. Henßen, M. Schleipen, "Interoperability between OPC UA and AutomationML", *Procedia CIRP*, vol. 25, pp. 297–304, 2014.
- [87] A. Korodi, M. A. Radu, R. Crişan, "Non-Invasive Control Solution inside Higher-Level OPC UA based Wrapper for Optimizing Groups of Wastewater Systems", IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Torino, Italia, pp. 597–604, 2018.
- [88] A. Korodi, I. Silea, "Achieving Interoperability Using Low-Cost Middleware OPC UA Wrapping Structure. Case Study in the Water Industry", IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Emden, Germania, pp. 1223–1228, 2017.
- [89] S. I. Toc, A. Korodi, "Modbus-OPC UA Wrapper using Node-RED and IoT-2040 with application in the water industry", IEEE 16th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), Subotica, Serbia, 2018.
- [90] A. Gogolev, F. Mendoza, R. Braun, "TSN-Enabled OPC UA in Field Devices", IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Torino, Italia, pp. 297–303, 2018.
- [91] A. Eckhardt, S. Muller, L. Leurs, "An evaluation of the applicability of OPC UA Publish Subscribe on factory automation use cases", IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Torino, Italia, pp. 1071–1074, 2018.
- [92] J. Pfrommer, A. Ebner, S. Ravikumar, B. Karunakaran, "Open Source OPC UA PubSub over TSN for Realtime Industrial Communication", IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Torino, Italia, pp. 1087–1090, 2018.

- [93] M. Kaspar, J. Bock, Y. Kogan, P. Venet, M. Weser, U. E. Zimmermann, "Tool and technology independent function interfaces by using a generic OPC UA representation", IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Torino, Italia, pp. 1183–1186, 2018.
- [94] B. Wally, C. Huemer, A. Mazak, M. Wimmer, "A Variability Information Model for OPC UA", IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Torino, Italia, pp. 1033–1036, 2018.
- [95] K. Dorofeev, A. Zoitl, "Skill-based Engineering Approach using OPC UA Programs", IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Porto, Portugalia, pp. 1098–1103, 2018.
- [96] O. Post, J. Seppala, H. Koivisto, "The Performance of OPC-UA Security Model at Field Device Level", 6th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO), Milano, Italia, 2009.
- [97] M. Zolanvari, M. A. Teixeira, L. Gupta, K. M. Khan, R. Jain, "Machine Learning-Based Network Vulnerability Analysis of Industrial Internet of Things", IEEE Internet of Things Journal, vol. 6 (issue 4), pp. 6822–6834, 2019.
- [98] H. Qiao, J. O. Blech, H. Chen, "A Machine learning based intrusion detection approach for industrial networks", IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Buenos Aires, Argentina, pp. 265–270, 2020.
- [99] M. Ehrlich, D. Krummacker, C. Fischer, R. Guillaume, S. S. P. Olaya, A. Frimpongk, H. de Meer, M. Wollschlaeger, H. D. Schotten, J. Jasperneite, "Software-Defined Networking as an Enabler for Future Industrial Network Management", IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Torino, Italia, pp. 1109–1112, 2018.
- [100] T. Kobzan, S. Schriegel, S. Althoff, A. Boschmann, J. Otto, J. Jasperneite, "Secure and Time-sensitive Communication for Remote Process Control and Monitoring", IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Torino, Italia, pp. 1105 – 1108, 2018.
- [101] X. M. Zhang, Q. L. Han, X. Yu, "Survey on Recent Advances in Networked Control Systems", IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 12 (issue 5), pp. 1740–1752, 2016.
- [102] X. Ge, F. Yang, Q. L. Han, "Distributed networked control systems: A brief overview", Information Sciences, vol. 380, pp. 117–131, 2017.
- [103] IEEE 802.1 Working Group, "Time-Sensitive Networking Task Group", 2018. Disponibil: <http://www.ieee802.org/1/pages/tsn.html>
- [104] D. Bruckner, M. P. Stănică, R. Blair, S. Schriegel, S. Kehrer, M. Seewald, T. Sauter, "An Introduction to OPC UA TSN for Industrial Communication Systems", Proceedings of the IEEE, vol. 107 (issue 6), pp. 1121–1131, 2019.
- [105] F. Prinz, M. Schoeffler, A. Lechler, A. Verl, "Dynamic real-time orchestration of I4.0 components based on Time-Sensitive Networking", Procedia CIRP, vol. 72, pp. 910–915, 2018.
- [106] F. Prinz, M. Schoeffler, A. Lechler, A. Verl, "End-to-end Redundancy between Real-time I4.0 Components based on Time-Sensitive Networking", IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Torino, Italia, pp. 1083–1086, 2018.
- [107] I. Alvarez, M. Barranco, J. Proenza, "Towards a Fault-Tolerant Architecture based on Time Sensitive Networking", IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Torino, Italia, pp. 1113–1116, 2018.

- [108] J. Eliasson, J. Delsing, H. Derhamy, Z. Salcic, K. Wang, "Towards industrial Internet of Things: An efficient and interoperable communication framework", IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Sevilla, Spania, 2015.
- [109] S. Profanter, K. Dorofeev, A. Zoitl, A. Knoll, "Opc ua for plug produce: Automatic device discovery using lds-me", 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Limassol, Cipru, pp. 1–8, 2017.
- [110] T. J. Schoepf, "White paper: The road to plug-and-produce", Lumberg Automation, Tech. Rep., 2016.
- [111] L. Durkop, J. Jasperneite, "Plug & Produce als Anwendungsfall von Industrie 4.0", Berlin, Germania, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 1–14, 2016.
- [112] L. Durkop, J. Imtiaz, H. Trsek, L. Wisniewski, J. Jasperneite, "Using OPC-UA for the autoconfiguration of real-time Ethernet systems", IEEE 11th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Bochum, Germania, pp. 248–253, 2013.
- [113] B. Madiwalar, B. Schneider, S. Profanter, "Plug and Produce for Industry 4.0 using Software-defined Networking and OPC UA", 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Zaragoza, Spania, 2019.
- [114] S. K. Panda, T. Schroder, L. Wisniewski, C. Diedrich, "Plug&Produce Integration of Components into OPC UA based data-space", IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Torino, Italia, pp. 1095–1100, 2018.
- [115] M. Schleipen, A. Luder, O. Sauer, H. Flatt, J. Jasperneite, "Requirements and concept for plug-and-work", at-Automatisierungstechnik, vol. 63 (issue 10), pp. 801–820, 2015.
- [116] M. Riedl, R. Simon, M. Thron, "EDDL: electronic device description language", Oldenbourg Wissensch.Vlg, 2002. [Online]. Disponibil: <https://books.google.de/books?id=HKVQAAAAMAAJ>
- [117] "Opc unified architecture for devices companion specification", OPC Foundation, Tech. Rep., Iulie 2013.
- [118] D. Lang, M. Friesen, M. Ehrlich, L. Wisniewski, J. Jasperneite, "Pursuing the vision of industry 4.0: Secure plug and produce by means of the asset administration shell and blockchain technology", IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Porto, Portugalia, pp. 1092–1097, 2018.
- [119] M. Mahmoodpour, A. Lobov, M. Lanz, "Configurator module to integrate different protocols for IoT solution", IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Porto, Portugalia, pp. 67–73, 2018.
- [120] M. Zimmer, P. Ferreira, P. Danny, A. Al-Yacoub, N. Lohse, V. Gentile, "Towards a Decision-support Framework for Reducing Ramp-up Effort in Plug-and-Produce Systems", IEEE International Conference on Industrial Cyber Physical Systems (ICPS), Taipei, Taiwan, 2019.
- [121] R. Alt, K. Schmitz, "Basic requirements for Plug-and-Produce of 14.0 fluid power systems", IEEE 8th International Conference on Fluid Power and Mechatronics (FPM), Wuhan, China, 2019.
- [122] F. Pethig, S. Schriegel, D. A. Maier, "Industrie 4.0 Kommunikation mit OPC UA Leitfaden zur Einfuhrung in den Mittelstand", 2017.

- [123] A. Bunte, O. Niggemann, B. Stein, "Integrating OWL Ontologies for Smart Services into AutomationML and OPC UA", IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Torino, Italia, pp. 1383–1390, 2018.
- [124] P. Chiariotti, M. Fitti, N. Paone, P. Castellini, G. Lo Duca, C. Cristalli, E. Concettoni, E. Minnetti, "Smart measurement systems for Zero-Defect Manufacturing", IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Porto, Portugalia, pp. 834–839, 2018.
- [125] M. Hao, H. Li, X. Luo, G. Xu, H. Yang, S. Liu, "Efficient and Privacy-Enhanced Federated Learning for Industrial Artificial Intelligence", IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 16 (issue 10), pp. 6532–6542, 2020.
- [126] A. Wurger, K. H. Niemann, A. Fay, "Concept for an Energy Data Aggregation Layer for Production Sites: A combination of AutomationML and OPC UA", IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Torino, Italia, pp.1051–1055, 2018.
- [127] A. Luder, N. Schmidt, "AutomationML in a Nutshell", Noiembrie 2015. Disponibil: <https://www.automationml.org>
- [128] W. Eisenmenger, J. Meßmer, M. Wenger, A. Zoitl, "Increasing Control Application Reusability through Generic Device Configuration Model", IEEE 22nd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Limassol, Cipru, 2017.
- [129] B. Vogel-Heuser, A. Fay, I. Schaefer, M. Tichy, "Evolution of software in automated production systems: Challenges and research directions", Journal of Systems and Software, vol. 110, pp. 54–84, 2015.
- [130] V. Vyatkin, "Software engineering in industrial automation: State-of-the-art review", IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 9 (issue 3), 2013.
- [131] J. Deuse, C. Heuser, B. Konrad, D. Lenze, T. Maschek, M. Wiegand, P. Willats, "Pushing the Limits of Lean Thinking—Design and Management of Complex Production Systems", Closing the Gap Between Practice and Research in Industrial Engineering. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering, Springer, Cham., pp. 335–342, 2018.
- [132] B. Vogel-Heuser, J. Mund, M. Kowal, C. Legat, J. Folmer, S. Teufl, I. Schaefer, "Towards interdisciplinary variability modeling for automated production systems: Opportunities and challenges when applying delta modeling: A case study", IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Cambridge, Marea Britanie, pp. 322–328, 2015.
- [133] M. Wimmer, P. Novak, R. Sindelar, L. Berardinelli, T. Mayerhofer, A. Mazak, "Cardinality-based variability modeling with AutomationML", IEEE 22nd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Limassol, Cipru, 2017.
- [134] F. Pauker, S. Wolny, S. M. Fallah, M. Wimmer, "UML2OPC-UA — transforming UML class diagrams to OPC UA information models", 11th Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (ICME), Napoli, Italia, 2017.
- [135] K. Al-Gumaei, K. Schuba, A. Friesen, S. Heymann, C. Pieper, F. Pethigk, S. Schriegel, "A Survey of Internet of Things and Big Data Integrated Solutions for Industrie 4.0", IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Torino, Italia, pp. 1417–1424, 2018.
- [136] NIST Big Data PublicWorking Group, Definitions and Taxonomies Subgroup, "Nist big data interoperability framework: Volume 2, big data taxonomies",

- National Institute of Standards and Technology, vol. 2, p. 31, Septembrie 2015. [Online]. Disponibil: <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1500-2>
- [137] A. Botta, W. De Donato, V. Persico, A. Pescape, "On the integration of cloud computing and internet of things", International Conference on Future Internet of Things and Cloud (CCIOT), Barcelona, Spania, 2014.
- [138] M. Chen, S. Mao, Y. Zhang, V. C. M. Leung, "Big Data: Related Technologies, Challenges and Future Prospects", Springer, 2014.
- [139] K. Wang, C. Xu, Y. Zhang, S. Guo, A. Y. Zomaya, "Robust Big Data Analytics for Electricity Price Forecasting in the Smart Grid", IEEE Transactions on Big Data, vol. 5 (issue 1), pp. 34-45, 2019.
- [140] F. H. Tseng, H. H. Cho, H. T. Wu, "Applying Big Data for Intelligent Agriculture-Based Crop Selection Analysis", IEEE Access, vol. 7, pp. 116965-116974, 2019.
- [141] D. Geng, C. Zhang, C. Xia, X. Xia, Q. Liu, X. Fu, "Big Data-Based Improved Data Acquisition and Storage System for Designing Industrial Data Platform", IEEE Access, vol. 7, pp. 44574-44582, 2019.
- [142] A. Yousefpour, G. Ishigaki, J. P. Jue, "Fog computing: Towards minimizing delay in the internet of things", IEEE International Conference on Edge Computing (EDGE), Honolulu, SUA, pp. 17-24, 2017.
- [143] M. Aazam, S. Zeadally, K. A. Harras, "Deploying Fog Computing in Industrial Internet of Things and Industry 4.0", IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 14 (issue 10), pp. 4674-4682, 2018.
- [144] V. Gazis, A. Leonardi, K. Mathioudakis, K. Sasloglou, P. Kikiras, R. Sudhaakar, "Components of fog computing in an industrial internet of things context", 12th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking - Workshops (SECON Workshops), Seattle, SUA, 2015.
- [145] I. Zyrianoff, A. Heideker, D. Silva, C. Kamienski, "Scalability of an Internet of Things Platform for Smart Water Management for Agriculture", 23rd Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Bologna, Italia, pp. 432-439, 2018.
- [146] K. Ma, A. Bagula, C. Nyirenda, O. Ajayi, "An IoT-Based Fog Computing Model", Sensors Journal, vol. 19 (issue 12), 2019.
- [147] D. A. Chekired, L. Khoukhi, H. T. Mouftah, "Industrial IoT Data Scheduling Based on Hierarchical Fog Computing: A Key for Enabling Smart Factory", IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 14 (issue 10), pp. 4590-4602, 2018.
- [148] H. Dhiman, D. Deb, "Studies in Systems, Decision and Control, Decision and Control in Hybrid Wind Farms", Springer Nature, Londra, Marea Britanie, ISBN 978-981-15-0274-3, 2020.
- [149] H. Lee, "Effective Dynamic Control Strategy of a Key Supplier with Multiple Downstream Manufacturers Using Industrial Internet of Things and Cloud System", Processes Journal, vol. 7 (issue 3), 2019.
- [150] J. H. Huh, Y. S. Seo, "Understanding Edge Computing: Engineering Evolution With Artificial Intelligence", IEEE Access, vol. 7, pp. 164229-164245, 2019.
- [151] R. Khan, K. McLaughlin, B. Kang, D. Lavery, S. Sezer, "A Secure Cloud Migration, Monitoring and Analytics Framework for Industrial Internet of Things", IEEE 6th World Forum on Internet of Things (WF-IoT), New Orleans, SUA, 2020.
- [152] Y. Lu, K. C. Morris, S. Frechette, "Current Standards Landscape for Smart Manufacturing Systems", National Institute of Standards and Technology, 2016.

- [153] L. D. Xu, W. He, S. Li, "Internet of things in industries: A survey", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol.10 (issue 4), pp. 2233–2243, 2014.
- [154] M. Weyrich, C. Ebert, "Reference architectures for the internet of things", *IEEE Software*, vol. 33 (issue 1), pp. 112–116, 2016.
- [155] G. Bloom, B. Alsulami, E. Nwafor, I. C. Bertolotti, "Design patterns for the industrial Internet of Things", 14th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS), Imperia, Italia, 2018.
- [156] H. Kagermann, R. Anderl, J. Gausemeier, G. Schuh, W. Wahlster, "Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating with International Partners", Munchen: Utz, Herbert, 2016.
- [157] O. Meyer, G. Rauhoeft, D. Schel, D. Stock, "Industrial Internet of Things: covering standardization gaps for the next generation of reconfigurable production systems", *IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, Porto, Portugalia, pp. 1039–1044, 2018.
- [158] K. Thompson, R. Kadiyala, "Leveraging Big Data to Improve Water System Operations", *Procedia Engineering*, vol. 89, pp. 467–472, 2014.
- [159] S. Howell, Y. Rezgui, T. Beach, "Integrating building and urban semantics to empower smart water solutions", *Automation in Construction*, vol. 81, pp. 434–448, 2017.
- [160] A. Hauser, F. Roedler, "Interoperability: the key for smart water management", *Water Science and Technology-Water Supply*, vol. 15 (issue 1), pp. 207–214, 2015.
- [161] V. H. Nguyen, Q. T. Tran, Y. Besanger, "SCADA as a service approach for interoperability of micro-grid platforms", *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 8, pp. 26–36, 2016.
- [162] W. Zhao, T. Beach, Y. Rezgui, "Optimization of Potable Water Distribution and Wastewater Collection Networks: A Systematic Review and Future Research Directions", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 46 (issue 5), pp. 659–681, 2016.
- [163] S. Stang, H. Y. Wang, K. H. Gardner, W. Mo, "Influences of water quality and climate on the water-energy nexus: A spatial comparison of two water systems", *Journal of Environmental Management*, vol. 218, pp. 613–621, 2018.
- [164] A. Rosinska, L. Dabrowska, "Selection of Coagulants for the Removal of Chosen PAH from Drinking Water", *Water Journal*, vol. 10 (issue 7), 2018.
- [165] W. Shan, S. Cai, C. Liu, "A New Comprehensive Evaluation Method for Water Quality: Improved Fuzzy Support Vector Machine", *Water Journal*, vol. 10 (issue 10), 2018.
- [166] K. P. Tsagarakis, "Operating Cost Coverage vs. Water Utility Complaints", *Water Journal*, vol. 10 (issue 1), 2018.
- [167] W. Wu, A. R. Simpson, H. R. Maier, A. Marchi, "Incorporation of variable-speed pumping in multiobjective genetic algorithm optimization of the design of water transmission systems", *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 138 (issue 5), pp. 543–552, 2012.
- [168] H. Mala-Jetmarova, N. Sultanova, D. Savic, "Lost in Optimisation of Water Distribution Systems? A literature Review of System Design", *Water Journal*, vol. 10 (issue 3), 2018.
- [169] S. Ciolofan, G. Militaru, A. Drăghia, R. Drobot, M. Drăgoicea, "Optimization of Water Reservoir Operation to Minimize the Economic Losses Caused by Pollution", *IEEE Access*, vol. 6, pp. 67562–67580, 2018.

- [170] F. J. Diaz-Perez, M. R. Pino-Otin, A. G. Mouhaffel, R. D. Martín, D. Chinarro, "Energy and Water Consumption and Carbon Footprint in Tourist Pools Supplied by Desalination Plants: Case Study, the Canary Islands", *IEEE Access*, vol. 6, pp. 11727–11737, 2018.
- [171] D. S. Wang, "Raw water quality assessment for the treatment of drinking water", *Environmental Earth Sciences*, vol. 75, 2016.
- [172] S. Chowdhury, "Water quality degradation in the sources of drinking water: an assessment based on 18 years of data from 441 water supply systems", *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 190, 2018.
- [173] I. Delpla, M. Florea, M. J. Rodriguez, "Drinking Water Source Monitoring Using Early Warning Systems Based on Data Mining Techniques", *Water Resources Management*, vol. 33, pp. 129–140, 2019.
- [174] P. Huang, N. Zhu, D. Hou, J. Chen, Y. Xiao, J. Yu, G. Zhang, H. Zhang, "Real-Time Burst Detection in District Metering Areas in Water Distribution System Based on Patterns of Water Demand with Supervised Learning", *Water Journal*, vol. 10 (issue 12), 2018.
- [175] W. Cheng, H. Fang, G. Xu, M. Chen, "Using SCADA to Detect and Locate Bursts in a Long-Distance Water Pipeline", *Water Journal*, vol. 10 (issue 12), 2018.
- [176] M. S. Osman, A. M. Abu-Mahfouz, P. R. Page, "A Survey on Data Imputation Techniques: Water Distribution System as a Use Case", *IEEE Access*, vol. 6, pp. 63279–63291, 2018.
- [177] A. Bonton, C. Bouchard, B. Barbeau, S. Jedrzejak, "Comparative life cycle assessment of water treatment plants", *Desalination Journal*, vol. 284, pp. 42–54, 2012.
- [178] H. Mohammed, A. Longva, R. Seidu, "Impact of Climate Forecasts on the Microbial Quality of a Drinking Water Source in Norway Using Hydrodynamic Modeling", *Water Journal*, vol. 11 (issue 3), 2019.
- [179] R. Patel, A. Gojiya, D. Deb, "Failure Reconfiguration of Pumps in Two Reservoirs Connected to Overhead Tank", *Innovations in Infrastructure. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 757, Springer, Singapore, 2019.
- [180] J. Fischer, P. J. Freudenthaler, R. W. Lang, W. Buchberger, S. C. Mantell, "Chlorinated Water Induced Aging of Pipe Grade Polypropylene Random Copolymers", *Polymers Journal*, vol. 11 (issue 6), 2019.
- [181] D. Babunski, E. ZaeV, A. Tuneski, D. Bozovic, "Optimization methods for water supply SCADA system", *7th Mediterranean Conference on Embedded Computing*, Budva, Montenegro, 2018.
- [182] Q. Huang, Z. Du, N. Lu, X. Yu, "Application of non-linear optimization model of groundwater in well irrigation district of northern China", *International Symposium on Water Resource and Environmental Protection*, Xi'an, China, 2011.
- [183] E. Bartkiewicz, I. Zimoch, "Impact of Water Demand Pattern on Calibration Process", *Proceedings Journal*, vol. 2 (issue 5), 2018.
- [184] E. N. Ali, S. A. Muyibi, M. Z. Alam, H. M. Salleh, "Optimization of water treatment parameters using processed *Moringa oleifera* as a natural coagulant for low turbidity water", *International Conference on Statistics in Science, Business and Engineering*, Langkawi, Malaezia, 2012.
- [185] P. Whitfield, "Monitoring water quality through data collection and analysis", *GEOSS Workshop XLI, Vancouver, Canada*, pp. 1–26, 2011.

- [186] A. Kuriqi, M. Ardiclioglu, "Investigation of hydraulic regime at middle part of the Loire River in context of floods and low flow events", *Pollack Periodica*, vol. 13 (issue 1), pp. 145–156, 2018.
- [187] A. N. Angelakis, X. Y. Zheng, "Evolution of Water Supply, Sanitation, Wastewater, and Stormwater Technologies Globally", *Water Journal*, vol. 7 (issue 2), pp. 455–463, 2015.
- [188] A. Kuriqi, M. Ardiclioglu, Y. Muceku, "Investigation of seepage effect on river dike's stability under steady state and transient conditions", *Pollack Periodica*, vol. 11 (issue 2), pp. 87–104, 2016.
- [189] M. Sandu, F. Bode, P. Dancă, I. Voicu, "Water flow structure optimization between the screenings and grit removals in a wastewater plant", *International Conference on Energy and Environment (CIEM)*, București, România, 2017.
- [190] K. Black, S. Mazier, "Optimisation of stability and efficiency of wastewater treatment", *IET Water Event 2013: Process Control and Automation*, Nottingham, Marea Britanie, 2013.
- [191] R. Crișan, A. Korodi, "Noninvasive control solution for energy efficiency in wastewater treatment plants", *IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, Lyon, Franța, pp. 1604–1609, 2018.
- [192] A. S. Vieira, E. Ghisi, "Water-energy nexus in low-income houses in Brazil: the influence of integrated on-site water and sewage management strategies on the energy consumption of water and sewerage services", *Journal of Cleaner Production*, vol. 133, pp. 145–162, 2016.
- [193] S. Longo, B. M. d'Antoni, M. Bongards, A. Chaparro, A. Cronrath, F. Fatone, J. M. Lema, M.M. Iglesias, A. Soares, A. Hospido, "Monitoring and diagnosis of energy consumption in wastewater treatment plants. A state of the art and proposals for improvement", *Applied Energy*, vol. 179, pp. 1251–1268, 2016.
- [194] Y. Ding, Z. Guo, X. Hou, J. Mei, Z. Liang, Z. Li, C. Zhang, C. Jin, "Performance Analysis for the Anaerobic Membrane Bioreactor Combined with the Forward Osmosis Membrane Bioreactor: Process Conditions Optimization, Wastewater Treatment and Sludge Characteristics", *Water Journal*, vol. 12 (issue 11), 2020.
- [195] X. Du, J. Wang, V. Jegatheesan, G. Shi, "Dissolved Oxygen Control in Activated Sludge Process Using a Neural Network-Based Adaptive PID Algorithm", *Applied Sciences*, vol. 8 (issue 2), 2018.
- [196] J. Wang, C. Du, F. Qian, Y. Song, L. Xiang, "Enhanced Treatment of Pharmaceutical Wastewater by an Improved A2/O Process with Ozone Mixed Municipal Wastewater", *Water Journal*, vol. 12 (issue 10), 2020.
- [197] A. Durán-Sánchez, J. Álvarez-García, E. González-Vázquez, M. C. Del Río-Rama, "Wastewater Management: Bibliometric Analysis of Scientific Literature", *Water Journal*, vol. 12 (issue 11), 2020.
- [198] A. Kuriqi, "Assessment and quantification of meteorological data for implementation of weather radar in mountainous regions", *Mausam Journal*, vol. 67 (issue 4), pp. 789–802, 2016.
- [199] C. Shang, W. H. Chen, A. D. Stroock, F. You, "Robust Model Predictive Control of Irrigation Systems With Active Uncertainty Learning and Data Analytics", *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 28 (issue 4), pp. 1493–1504, 2020.
- [200] I. Baklouti, M. Mansouri, H. Nounou, M. Nounou, A. B. Hamida, "Fault Detection in Waste Water Treatment Plants using Improved Particle Filter-based Optimized EWMA", *5th International Conference on Advanced*

- Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP), Sousse, Tunisia, pp. 1-6, 2020.
- [201] Y. Long, Y. Zhang, J. Wang, M. Bai, "Water Supply Prediction Based on Initialized Attention Residual Network", 39th Chinese Control Conference (CCC), Shenyang, China, pp. 7367-7372, 2020.
- [202] B. Sooley, C. Little, "Reinventing the Role of the SCADA Historian", ISA Water/Wasterwater and Automatic Controls Symposium (WWAC), Orlando, SUA, 2013.
- [203] B. Chardin, J. M. Lacombe, J. M. Petit, "Data Historians in the Data Management Landscape", 4th Technology Conference on Performance Evaluation and Benchmarking (TPCTC), Istanbul, Turcia, 2012.
- [204] A. D. L. Gray, I. Pisica, G. A. Taylor, L. Whitehurst, "A Standardised Modular Approach for Site SCADA Applications Within a Water Utility", IEEE Access, vol. 5, pp. 17177-17187, 2017.
- [205] A. Dwivedi, R. P. Pant, S. Pandey, K. Kumar, "Internet of Things' (IoT's) Impact on Decision Oriented Applications of Big Data Sentiment Analysis", 3rd International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU), Bhimtal, India, 2018.
- [206] H. Kaur, A. S. Kushwaha, "A Review on Integration of Big Data and IoT", 4th International Conference on Computational Sciences (ICCS), Wuxi, China, 2018.
- [207] D. Wang, "Building Value in a World of Technological Change: Data Analytics and Industry 4.0", IEEE Engineering Management Review, vol. 46 (issue 1), pp. 32-33, 2018.
- [208] M. Savastano, C. Amendola, F. Bellini, F. D'Ascenzo, "Contextual Impacts on Industrial Processes Brought by the Digital Transformation of Manufacturing: A Systematic Review", Sustainability Journal, vol. 11 (issue 3), 2019.
- [209] R. Maskuriy, A. Selamat, K. N. Ali, P. Maresova, O. Krejcar, "Industry 4.0 for the Construction Industry—How Ready Is the Industry?", Applied Sciences, vol. 9 (issue 14), 2019.
- [210] N. Johansson, E. Roth, W. Reim, "Smart and Sustainable eMaintenance: Capabilities for Digitalization of Maintenance", Sustainability Journal, vol. 11 (issue 13), 2019.
- [211] A. Bezerra, I. Silva, L. A. Guedes, D. Silva, G. Leitão, K. Saito, "Extracting Value from Industrial Alarms and Events: A Data-Driven Approach Based on Exploratory Data Analysis", Sensors Journal, vol. 19 (issue 12), 2019.
- [212] J. R. Salvador, D. M. de la Peña, D. R. Ramirez, T. Alamo, "Historian Data Based Predictive Control of a Water Distribution Network", European Control Conference (ECC), Limassol, Cipru, 2018.
- [213] D. C. Mazur, R. A. Entzminger, J. A. Kay, "Enhancing Traditional Process SCADA and Historians for Industrial and Commercial Power Systems with Energy (Via IEC 61850)", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 52 (issue 1), pp. 76-82, 2016.
- [214] S. Cavalieri, A. Regalbuto, "Integration of IEC 61850 SCL and OPC UA to improve interoperability in Smart Grid environment", Computer Standards and Interfaces, vol. 47, pp. 77-99, 2016.
- [215] H. Eren, "Assessing the health of sensors using data historians", IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), Brescia, Italia, 2012.
- [216] A. Fras, T. Dang, "Improving industrial application's performances with an Historian", IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Hammamet, Tunisia, 2004.

- [217] P. H. Kulkarni, P. D. Kute, V. N. More, "IoT based data processing for automated industrial meter reader using Raspberry Pi", International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA), Pune, India, 2016.
- [218] T. Jankowski, G. Davis, J. Holmes, G. Kemper, "Increasing data historian efficiency", IEEE-IAS/PCA 53rd Cement Industry Technical Conference, St. Louis, SUA, 2011.
- [219] N. Kefalakis, A. Roukounaki, J. Soldatos, "A Configurable Distributed Data Analytics Infrastructure for the Industrial Internet of things", 15th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), Insula Santorini, Grecia, 2019.
- [220] V. Mateev, I. Marinova, "Distributed Internet of Things System for Wireless Monitoring of Electrical Grids", 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), Bourgas, Bulgaria, 2018.
- [221] R. J. McGreevy, D. A. Sadowski, R. J. Herbst, J. R. Hartman, "Historian Module for Use in an Industrial Automation Controller", U.S. Patent 762,738,5B2, 1 Decembrie 2009.
- [222] Q. Yan, Y. Wang, "A Kind of Efficient Data Archiving Method for Historical Sensor Data", 3rd International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE), Beijing, China, 2016.
- [223] A. Nicolae, A. Korodi, I. Silea, "An Overview of Industry 4.0 Development Directions in the Industrial Internet of Things Context", Romanian Journal of Information Science and Technology (ROMJIST), vol. 22 (issue 3-4), pp. 183-201, 2019.
- [224] M. Muller, E. Wings, L. Bergmann, "Developing Open Source Cyber-Physical Systems for Service-Oriented Architectures Using OPC UA", 15th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Emden, Germania, pp. 83-88, 2017.
- [225] I. Leszczynski, "OPC UA App development for Android", teză Master, Universitatea Aalto, Helsinki, Finlanda, 2015.
- [226] Platforma Node-Red. Disponibilă online: <https://nodered.org/>
- [227] Baze de date SQLite. Disponibil online: <https://www.sqlite.org/index.html>
- [228] A. Nicolae, A. Korodi, I. Silea, "Modular and model-driven configurable approach for a centralized home-security system", IEEE 12th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), Timișoara, România, pp. 467-472, 2018.
- [229] A. Nicolae, A. Korodi, "Node-Red and OPC UA Based Lightweight and Low-Cost Historian with Application in the Water Industry", IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Porto, Portugalia, pp. 1012-1017, 2018.
- [230] J. Lee, B. Bagheri, H. A. Kao, "A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems", Manufacturing Letters, vol. 3, pp. 18-23, 2015.
- [231] A. Nicolae, A. Korodi, I. Silea, "Identifying Data Dependencies as First Step to Obtain a Proactive Historian: Test Scenario in the Water Industry 4.0", Water Journal, vol. 11 (issue 6), 2019.
- [232] A. Korodi, R. Crișan, A. Nicolae, I. Silea, "Industrial Internet of Things and Fog Computing to Reduce Energy Consumption in Drinking Water Facilities", Processes Journal, vol. 8 (issue 3), 2020.
- [233] API serviciu meteorologic Dark Sky. Disponibil online: <https://darksky.net/dev>

-
- [234] Serviciu OpenStreetMap Nominatim, pentru convertirea unei adrese în Longitudine și Latitudine. Disponibil online: <https://nominatim.openstreetmap.org/>
 - [235] A. Nicolae, A. Korodi, I. Silea, "Weather-Based Prediction Strategy inside the Proactive Historian with Application in Wastewater Treatment Plants", *Applied Sciences Journal*, vol. 10 (issue 9), 2020.
 - [236] A. Nicolae, A. Korodi, I. Silea, "Complete Automation of an Energy Consumption Reduction Strategy from a Water Treatment and Distribution Facility, Inside an Industrial Internet of Things-Compliant Proactive Historian Application", *Sensors Journal*, vol. 21 (issue 7), 2021.
 - [237] Librărie open-source pentru Machine Learning, TensorFlow. Disponibil online: <https://www.tensorflow.org/>
 - [238] Pachet de dezvoltare software Prosys OPC UA SDK for Java. Disponibil online: <https://www.prosysopc.com/products/opc-ua-java-sdk/>
 - [239] Pachet de dezvoltare software OPC Foundation OPC UA Java Stack. Disponibil online: <http://opcfoundation.github.io/UA-Java-Legacy/>