

MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE  
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI  
ȘCOALA DOCTORALĂ  
DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI  
DOMENIUL DE DOCTORAT – INGINERIA SISTEMELOR

# REZUMAT - TEZĂ DE DOCTORAT

*CERCETĂRI PRIVIND INTEGRAREA REȚELELOR DE  
SENZORI WIRELESS CU INFRASTRUCTURI DE TIP  
CLOUD APLICABILE SISTEMELOR AUTOMATE DE  
MONITORIZARE ȘI REGLARE*

**Conducător științific,  
Prof. univ. dr. ing. Nicolae PARASCHIV**

**Autor,  
Florin Ștefan ZAMFIR**

**Ploiești  
2019**

## **Mulțumiri**

În primul rând aș dori să ofer sincere mulțumiri conducătorului științific al tezei de doctorat, domnului prof. univ. dr. ing. Nicolae Paraschiv, fără de care această teză de doctorat nu ar fi posibilă. Vreau să îmi exprim recunoștința și considerația pentru sprijinul acordat, pentru atenta coordonare și pentru răbdarea de care a dat dovadă în cadrul fiecărui pas al stagiului de cercetare doctorală. Consider că la finalizarea acestei etape din viața mea de doctorand, am câștigat lucruri pe care nu le pot cuantifica, cum ar fi experiența de a lucra sub îndrumarea unui mentor, care a avut întotdeauna răspunsuri la întrebările mele, bazându-se pe vasta sa experiență.

Mulțumesc tuturor membrilor comisiei de doctorat, prof. dr. ing. Cristian Pătrășcioiu, prof. dr. ing. Octavian Păstrăvanu, prof. dr. ing. Sergiu Caraman pentru atenta analiză a tezei de doctorat.

De asemenea, le mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare, prof. dr. ing. Otilia Cangea, prof. dr. ing. Cristian Pătrășcioiu, șef lucr. dr. ing. Emil Pricop pentru sfaturile oferite pe tot parcursul stagiului de cercetare doctorală și pentru sugestiile formulate. Mulțumesc în mod deosebit domnului șef lucr. dr. ing. Emil Pricop, un prieten pe care m-am putut baza, pentru colaborarea în cadrul activităților de cercetare.

Mulțumesc membrilor colectivului al departamentului Automatică, Calculatoare și Electronică pentru că m-au primit cu brațele deschise și m-au sfătuit în ceea ce privește activitățile mele susținute în calitate de cadru didactic asociat. Mulțumesc în mod deosebit, domnului prof. dr. ing. Gabriel Rădulescu care m-a încurajat încă de la începutul stagiului, doamnei conf. dr. ing. Alina Băieșu și domnului șef lucr. dr. ing. Marian Popescu pentru sfaturile acordate.

Mulțumesc membrilor actuali și foștilor membri ai Biroului Tehnologia Informației și Comunicații, pentru susținerea morală de care au dat dovadă.

Nu în ultimul rând, vreau să mulțumesc familiei, în special mamei mele, pentru sprijinul necondiționat și pentru încurajările oferite pe toată perioada formării mele profesionale.

## Cuprins

Mulțumiri .....	2
Cuprins .....	3
Introducere .....	5
1. Stadiul actual al dezvoltării rețelelor de senzori wireless.....	8
1.1. Repere istorice și fundamente ale rețelelor wireless .....	8
1.1.1. Topologii ale rețelelor wireless .....	8
1.1.2. Frecvențe radio specifice rețelelor wireless .....	8
1.1.3. Standarde specifice rețelelor wireless .....	9
1.2. Protocoale utilizate în rețelele de senzori wireless .....	9
1.2.1. Protocoale aferente nivelului legătură de date .....	9
1.2.2. Protocoale aferente nivelului rețea .....	10
1.2.3. Protocoale aferente nivelului transport .....	10
1.3. Caracterizarea și clasificarea senzorilor wireless.....	11
1.4. Contribuții privind creșterea performanței unei rețele de tip WiMAX prin codificare liniară aleatorie a rețelei.....	12
1.5. Concluzii parțiale.....	13
2. Investigații privind dezvoltarea și utilizarea infrastructurilor de tip Cloud .....	15
2.1. Introducere în Cloud Computing .....	15
2.2. Metode de securizare a platformelor Cloud.....	15
2.3. Facilități Cloud pentru Internet of Things .....	15
2.4. Platforma The Things Network (TTN) .....	16
2.5. Infrastructura Amazon Web Services IoT .....	16
2.6. Concluzii parțiale.....	16
3. Cercetări privind modelarea, simularea și reglarea proceselor de acumulare, transport și amestec a lichidelor .....	17
3.1. Fundamente ale modelării matematice analitice a proceselor .....	17
3.2. Procesul de acumulare a unui lichid .....	17
3.2.1. Modelarea dinamică a procesului de acumulare a unui lichid .....	18
3.2.2. Simularea procesului de acumulare a unui lichid .....	20
3.2.3. Reglarea automată a procesului de acumulare a unui lichid.....	21
3.3. Procesul de transport al unui lichid .....	23
3.3.1. Modelarea dinamică a procesului de transport a unui lichid .....	23
3.3.2. Simularea transportului unui lichid prin conducte .....	24
3.3.3. Reglarea automată a procesului de transport a unui lichid.....	25
3.4. Procesul de amestec a două sau mai multe lichide .....	25
3.4.1. Modelarea procesului de amestec a două sau mai multe lichide .....	25
3.4.2. Simularea procesului de amestec a două sau mai multe lichide .....	26
3.4.3. Reglarea automată a procesului de amestec a două fluxuri de lichide exprimate prin debite masice .....	27

3.5.	Contribuții la elaborarea unor algoritmi asociați obținerii de produse care conțin mai mulți componenți specificați prin rețete de amestec.....	29
3.5.1.	Integrarea algoritmilor într-o aplicație de analiză a stocurilor în timp real.....	31
3.6.	Concluzii parțiale.....	33
4.	Contribuții privind dezvoltarea unui sistem automat ierarhic de monitorizare bazat pe integrarea WSN cu infrastructurile de tip Cloud.....	35
4.1.	Arhitectura sistemului ierarhic dezvoltat .....	35
4.1.1.	Obiectivele sistemului automat ierarhic de monitorizare .....	35
4.1.2.	Structurarea sistemului automat ierarhic de monitorizare .....	36
4.2.	Implementarea nivelului 1 al automatizării convenționale .....	38
4.2.1.	Calibrarea și configurarea unor echipamente ale platformei <i>ASTANK</i> asociate secțiunii <i>CONTROL39</i>	
4.2.2.	Implementarea reglării automate a nivelului în vasul 2 al platformei <i>ASTANK</i> .....	41
4.3.	Implementarea nivelului 2 folosind o rețea de noduri wireless cu tehnologie <i>LoRa</i> .....	44
4.4.	Implementarea nivelului 3 folosind infrastructura <i>The Things Network (TTN)</i> .....	46
4.4.1.	Tipuri de date furnizate de componentele platformei <i>ASTANK</i> .....	47
4.4.2.	Achiziția datelor din proces.....	47
4.4.3.	Transmisia datelor achiziționate către infrastructura <i>TTN</i> .....	48
4.5.	Implementarea nivelului 4 prin intermediul Cloud-ului Amazon Web Services.....	49
4.5.1.	Achiziția datelor cu aplicația <i>AWS IoT Core</i> .....	49
4.5.2.	Prelucrarea datelor recepționate cu aplicația <i>AWS IoT Analytics</i> .....	51
4.6.	Implementarea nivelului 5 folosind serviciul <i>Amazon SageMaker</i> .....	52
4.6.1.	Crearea unei instanțe de tip “notebook” .....	53
4.6.2.	Pregătirea datelor printr-o prelucrare suplimentară.....	53
4.6.3.	Pregătirea seturilor de date pentru antrenarea algoritmului.....	55
4.6.4.	Antrenarea algoritmului pe baza seturilor de date de antrenare .....	56
4.6.5.	Evaluarea performanțelor algoritmului pe baza seturilor de date de testare.....	56
4.7.	Concluzii parțiale.....	57
5.	Concluzii generale, contribuții, diseminarea rezultatelor și direcții viitoare de cercetare.....	59
5.1.	Concluzii generale .....	59
5.2.	Contribuții .....	62
5.3.	Diseminarea rezultatelor .....	64
5.4.	Direcții viitoare de cercetare .....	65
	Bibliografie .....	66

## Introducere

Este de notorietate faptul că funcționarea unui sistem automat se bazează pe transmiterea și procesarea informației. Evoluțiile din domeniul echipamentelor de automatizare au marcat perfecționări continue în ceea ce privește natura semnalului purtător de informație, a disponibilitățile de stocare a datelor și puterea de calcul.

După anii '90 cvasitotalitatea aparaturii de automatizare a preluat treptat importante trăsături ale generației a patra de calculatoare între care: utilizarea circuitelor integrate pe scală foarte largă (*VLSI*) și conectivitatea.

Această agregare a permis realizarea unor sisteme complexe prin care se transpune în practică paradigma *calcul – control – comunicație – cunoștințe*.

În prezent evoluția tehnologică din domeniile producerii, transmierii și stocării informației au adus în prim plan următoarele tehnologii considerate ca fiind de referință pentru dezvoltări ulterioare:

- rețele de senzori wireless;
- infrastructuri de tip *Cloud*;
- internetul obiectelor.

Prezenta teză de doctorat are două obiective principale și anume:

- ***OP1*** - Investigarea disponibilităților oferite de tehnologiile de mai sus pentru a fi implicate în îndeplinirea sarcinilor sistemelor automate;
- ***OP2*** - Integrarea tehnologiilor de mai sus în vederea realizării unui sistem automat ierarhic de monitorizare a unui proces fizic.

În afara acestor obiective principale, tezei de doctorat i-au fost asociate și următoarele obiective secundare:

- ***OS1*** - Implementarea unor metode de îmbunătățire a eficienței energetice într-o rețea de senzori wireless;
- ***OS2*** - Investigarea din perspectivele modelării, simulării și reglării a unor procese fizice care vor fi utilizate ca suport pentru dezvoltarea sistemului automat ierarhic de monitorizare.
- ***OS3*** - Realizarea de operații statistice și generarea de predicții utilizând datele achiziționate.

Teza de doctorat este structurată în cinci capitole, al căror conținut va fi succint prezentat în cele ce urmează.

În primul capitol au fost detaliate fundamente ale rețelelor de senzori wireless, protocoale utilizate, clasificarea senzorilor wireless cât și o descriere succintă a platformelor utilizate pentru formarea nodurilor de senzori wireless. Capitolul se încheie cu o contribuție a autorului în ceea ce privește utilizarea codificării liniar aleatoare a rețelei pentru o creștere a performanțelor unei rețele *WiMAX*.

Capitolul al doilea este consacrat investigațiilor privind dezvoltarea și utilizarea infrastructurilor de tip *Cloud*. Sunt abordate mai multe aspecte cheie ale infrastructurilor *Cloud* cum ar: modelele de servicii, modelele de implementare, securizarea platformelor *Cloud*, prezentarea platformelor *Cloud* destinate internetului obiectelor.

Sintetic, în cadrul primelor două capitole a fost realizată o identificare a stadiului actual în ceea ce privește dezvoltarea rețelelor de senzori wireless și a infrastructurilor *Cloud*. Actualul stadiu de dezvoltare oferă premise de realizare a unor sisteme automate complexe bazate pe aceste resurse.

Al treilea capitol tratează procesele fizice asociate acumulării unui lichid într-un vas, transportului și amestecului lichidelor. Cele trei procese sunt descrise prin trei perspective distincte: *modelare dinamică*, *simulare* și *reglare*. Ultima secțiune a capitolului este reprezentată de proiectarea, dezvoltarea și integrarea unor algoritmi destinați obținerii de produse care conțin mai mulți componenți specificați prin rețete de amestec. Utilitatea algoritmilor este evidențiată prin implementarea unei aplicații de analiză a stocurilor în timp real.

Capitolul patru este dedicat integrării tehnologiilor bazate pe rețele de senzori wireless, infrastructuri *Cloud*, având ca scop dezvoltarea unui sistem automat ierarhic de monitorizare a procesului de acumulare a unui lichid. Caracterul ierarhic al sistemului de monitorizare este demonstrat de existența a șase niveluri distincte propuse de autorul tezei. Un loc aparte în cadrul acestui capitol revine implementării funcției de generare de predicții utilizând conceptul de *Machine Learning*.

Capitolul cinci conține concluziile generale pornind de la concluziile parțiale cu care se încheie fiecare capitol, contribuțiile autorului, diseminarea rezultatelor și direcțiile viitoare de cercetare.

Teza de doctorat conține și o secțiune bibliografică (133 de titluri), în cadrul căreia referințele sunt ordonate alfabetic.

Ultima secțiune a tezei de doctorat este reprezentată de cele 7 anexe utilizate pentru a clarifica aspecte după cum urmează:

- Anexa 1 conține un raport detaliat al generat de aplicația de analiză în timp real a stocurilor.
- Anexa 2 prezintă platforma de cercetare *ASTANK*.
- Anexele 3, 4 și 6 conțin specificațiile tehnice ale componentelor *ASTANK* studiate în cadrul capitolului 4.
- Anexa 5 definește funcția de decodificare implementată pentru achiziția datelor.
- Anexa 7 conține regulile utilizate pentru generarea predicțiilor pe baza datelor achiziționate.

Teza de doctorat conține de asemenea și liste ale figurilor (210 figuri) și a tabelelor (48 de tabele).

Precizări referitoare la prezentul rezumat:

1. Rezumatul conține formele integrale pentru introducere, concluzii parțiale la fiecare capitol, concluziile generale, diseminarea rezultatelor, contribuții și direcții de cercetare.
2. Cuprinsul din teza de doctorat a fost adaptat pentru rezumat.
3. Au fost păstrate numerele asociate referințelor bibliografice, figurilor, tabelelor și relațiilor din teza de doctorat.
4. Din motive de spațiu, nu au fost incluse listele figurilor și tabelelor.
5. Din aceleași motive nu au fost incluse anexele.

## 1. Stadiul actual al dezvoltării rețelelor de senzori wireless

Este cunoscut faptul că implementarea oricărei funcții a automatizării proceselor implică cunoașterea stării acestora, care se poate realiza prin măsurare sau prin calcul. Într-un sistem de măsurat la distanță se impune prezența unuia sau mai mulți senzori care se consideră incluși în structura traductoarelor. În cadrul diverselor tipuri de sisteme automate se transmite informație prin intermediul unor semnale.

Obiectul prezentului capitol îl constituie prezentarea unor aspecte care țin de obiectivele tezei de doctorat legate de senzorii și rețelele de senzori wireless.

### 1.1. Repere istorice și fundamente ale rețelelor wireless

În prezent, practic nu există calculatoare care să lucreze izolat, acestea fiind conectate în rețele. Pentru a clasifica rețelele wireless se au în vedere trei criterii esențiale și anume: *rata de transmisie a datelor*, *distanța de transmisie a acestora și frecvența de lucru*. La implementarea unei rețele wireless se au în vedere mai multe aspecte ce influențează modul de lucru și performanțele rețelei, cum ar fi: *topologia rețelei*, *spectrul radio utilizat*, *mediul de lucru și influențele generate de acesta*.

#### 1.1.1. Topologii ale rețelelor wireless

Investigațiile bibliografice realizate au condus la identificarea următoarelor tipuri de topologii pentru rețelele wireless: *topologia point to point*, *topologia star*, *topologia mesh*, *topologia hybrid* și *topologia tree* care au fost prezentate în prezenta teză de doctorat, evidențiindu-se și aspecte legate de integrarea senzorilor în respectivele topologii de rețele wireless.

#### 1.1.2. Frecvențe radio specifice rețelelor wireless

Din cele prezentate anterior a reieșit faptul că undele radio sunt utilizate în calitate de suport pentru comunicația în cadrul rețelelor wireless. În acest context, când se vorbește de soluție de comunicație wireless se au în vedere aspecte care privesc *banda de frecvențe* în care face comunicația.

Conform acestei perspective prezintă interes o serie de elemente, cum ar fi: zona de utilizare, acoperirea și costul de implementare. În funcție de locul de utilizare a rețelei (interior sau exterior), de dimensiunea rețelei și de bugetul alocat se alege o soluție de implementare.



### 1.1.3. Standarde specifice rețelelor wireless

Pe baza reglementărilor în vigoare, standardul specific pentru rețelele wireless este reprezentat de clasa *IEEE 802*. Aceasta definește la rândul său familii de standarde (care în terminologia actuală sunt identificate ca *standarde*) pentru rețele *locale*, *personale*, *metropolitane* și *regionale* între care cele mai importante, ținând cont de domeniul de utilizare, sunt [120]:

- *IEEE 802.1* (pentru implementarea rețelelor *Virtual Local Area Network - VLAN*);
- *IEEE 802.3* (pentru rețele de tip *Ethernet*);
- *IEEE 802.11* (pentru *Wireless Local Area Network - WLAN*);
- *IEEE 802.15* (pentru *Wireless Personal Area Network - WPAN*);
- *IEEE 802.16* (pentru *Broadband Wireless Metropolitan Area Networks - WMAN*);
- *IEEE 802.20* (pentru rețele mobile de tip wireless *Broadband*);
- *IEEE 802.22* (pentru *Wireless Regional Area Networks*).

## 1.2. Protocoale utilizate în rețelele de senzori wireless

Protocoalele (respectiv sistemele de reguli necesare pentru transmiterea datelor între două echipamente) diferă de la standard la standard, dar ele au o referință comună reprezentată de modelul *OSI (Open Systems Interconnect)*. Acesta este un model teoretic ce reprezintă un cadru de referință pentru standardele existente sau pentru dezvoltarea de noi standarde. Modelul *OSI* include șapte niveluri, fiecare nivel având o funcție specifică.

Protocoalele adecvate utilizării în cadrul rețelelor de senzori wireless sunt selectate având drept criteriu consumul de energie. De aceea protocoale standard, cum ar fi *IP*, *UDP*, *TCP* sau alte protocoale adaptate pentru rețele wireless nu sunt utilizabile în rețele de senzori, pentru că nu se încadrează rigorilor impuse de eficiența energetică.

Prezentul subcapitol prezintă protocoalele de nivel legătură de date, rețea și transport, care sunt implicate în rețelele de senzori wireless.

### 1.2.1. Protocoale aferente nivelului legătură de date

Nivelului legătură de date al modelului *OSI* îi sunt specifice protocoalele de tip *MAC (Media Access Control)*. Principalul obiectiv al acestor protocoale constă în evitarea producerii coliziunilor, cu alte cuvinte împiedicarea a două noduri să transmită în același timp folosind același canal. Aceste protocoale trebuie să fie eficiente din punctul de vedere al energiei consumate la nivelul nodurilor și să fie flexibile la modificări ale topologiei și dimensiunii

rețelei, precum și a densității nodurilor aferente acesteia. Tot aspecte asociate eficienței sunt cele care privesc latența și utilizarea lățimii de bandă.

Protocoalele *MAC* trebuie să garanteze accesul eficient la mediul de comunicație. Din acest punct de vedere, respectiv în funcție de modul de utilizare a canalului de comunicație mulțimea protocoalelor *MAC* se împarte în două submulțimi și anume: mulțimea protocoalelor *MAC* bazate pe metoda *CDMA*<sup>1</sup> (cu schemă de acces aleatorie) și mulțimea protocoalelor *MAC* bazate pe metoda *TDMA*<sup>2</sup> (schemă de acces bazată pe cadre). Metoda *CDMA* nu specifică o frecvență pentru fiecare dispozitiv, fiecare canal utilizând tot spectrul disponibil. Conversațiile individuale sunt codificate cu o secvență digitală pseudo aleatorie. Metoda *TDMA* presupune împărțirea canalului în cadre (intervale) de timp pentru a mări rata de transmise [132].

### 1.2.2. Protocoale aferente nivelului rețea

Nivelului rețea al modelului *OSI* îi sunt specifice protocoale de rutare. Rutarea reprezintă procesul prin care în cadrul unei rețele sau între rețele se alege drumul pachetelor care dețin, în afara informației utile, adrese logice de la sursă la destinație prin noduri sau rețele intermediare. Rutarea se realizează pe baza unor tabele de rutare, care pot fi generate static sau dinamic.

Atunci când se aleg protocoalele de rutare se au în vedere în vedere problemele enunțate în subcapitolul 1.2.1, între care aceea că protocoalele de rutare standard utilizate în rețelele cu fir nu sunt eficiente în cadrul rețelelor de senzori wireless. Rutarea în astfel de rețele constituie de cele mai multe ori o provocare în sensul că protocoalele trebuie să se adapteze la cererile aplicației și la schimbările din dinamica rețelei [46].

Protocoalele de rutare specifice rețelelor de senzori wireless se pot clasifica în *ierarhice*, *centrate pe date* sau *bazate pe locație*.

Mai nou, multe protocoale aferente nivelului rețea au la bază tehnici ale inteligenței artificiale și algoritmi inteligenți de învățare, cum ar fi: *învățare consolidată*, *optimizare cu colonii de furnici*, *algoritmi genetici* și *rețele neuronale*.

### 1.2.3. Protocoale aferente nivelului transport

Spre deosebire de rețelele cu fir, în rețele de senzori wireless nodurile nu au cunoștință de rata de transfer, respectiv de volumul datelor care trebuie transferat în unitatea de timp. În

---

<sup>1</sup> CDMA – Code Division Multiple Access - metoda de acces la mediul de comunicație în care mai mulți utilizatori pot transmite simultan pe un canal.

<sup>2</sup> TDMA – Time division multiple access – metoda de acces la mediul de comunicație care asigură fiecărui utilizator un interval de timp pentru o frecvență specificată.

acest caz pot apărea congestii atunci când sursa transmite date către destinație la o viteză care nu este agreată de rețea. Scopul controlului ratei de transmisie este de a înlătura sau evita blocajele din rețea și se realizează prin protocoale aferente nivelului transport. Controlul se realizează în două faze și anume: *detectarea* zonelor din rețea care sunt congestionate și *informarea sursei*, urmată de reducerea ratei de transfer a sursei, pentru a echilibra rețeaua.

Performanța protocoalelor de control a ratei de transmisie se măsoară în rata de utilizare a surselor din rețea. Protocoalele specifice pentru rețelele de senzori wireless trebuie să îndeplinească două criterii, după cum urmează: *să fie receptive* (să poată informa sursa despre ratele de transfer suportate cât mai repede posibil) și *să fie flexibile* (să poată funcționa pentru diferite tipuri de funcții ale ratei de utilizare). Protocoalele specifice nivelului transport sunt euristice și se bazează pe mecanisme AIMD<sup>3</sup> [132].

În cadrul tezei au fost succint caracterizate câteva protocoale de control al transportului specifice rețelelor de senzori wireless: *CODA (COngestion Detection and Avoidance)*, *ESRT (Event-to-Sink Reliable Transport)*, *RMST (Reliable Multi-Segment Transport)*, *PSFQ (Pump Slowly Fetch Quickly)*, *ATP* și *SenTCP* [132].

### 1.3. Caracterizarea și clasificarea senzorilor wireless

Un senzor wireless este un senzor care transmite într-o rețea wireless semnale aferente unor date achiziționate. Această transmisie precedată de o eventuală prelucrare a datelor trebuie să se realizeze la momentele specificate de rețea sau de utilizator. Prelucrarea inițială presupune operații cum ar fi: *conversii*, *comprimare*, *selectare interval de timp* și se realizează pe baza unor reguli interne ale senzorului, sau rețelei.

Acest subcapitol prezintă noțiuni ce țin de achiziția datelor, clasificarea senzorilor. În plus sunt prezentate platforme de dezvoltare pentru rețele de senzori wireless, precum și sisteme de operare specifice acestor rețele.

Din investigațiile realizate de autor, au rezultat că cele mai utilizate platforme de dezvoltare pentru rețelele de senzori wireless (WSN) sunt: *ADVANTICSYS Mote Modules*, *Arago WiSMote*, *Arduino*, *AVR2016 RZRAVEN*, *BeagleBone Black*, *DragonBoard*, *Egs*, *EnOcean ENWSFireFly*, *ESP8266*, *G-Node G301*, *Intel Edison*, *iSense Core Module 3*, *Iris Mote*, *Mulle*, *NodeMCU*, *Particle Electron*, *PowWow*, *Preon32*, *Pycom*, *Raspberry Pi*, *SunSPOT*, *TelosB*, *Waspnote*, *Z1*, care au fost analizate în subcapitolul 1.3 al prezentei teze de doctorat.

---

<sup>3</sup> AIMD - Additive Increase Multiplicative Decrease

În cadrul sistemului ierarhic de monitorizare descris în capitolul 4 al tezei de doctorat a fost utilizată platforma *Pycom*, respectiv placa de dezvoltare *Lopy*.

#### **1.4. Contribuții privind creșterea performanței unei rețele de tip WiMAX prin codificare liniară aleatorie a rețelei**

O rețea de senzori wireless este formată de cele mai multe ori dintr-o mulțime de elemente (noduri) dispersate pe o anumită suprafață. Un aspect important care trebuie precizat este acela că toate nodurile componente conțin surse de energie, funcționalitatea lor fiind dependentă de aceste surse. În majoritatea situațiilor, reîncărcarea surselor este dificilă și uneori chiar imposibilă. În aceste condiții, administrarea rețelei trebuie realizată astfel încât să se asigure consumuri minime de energie la transmisia datelor. O soluție [48] este reprezentată de codificarea liniară aleatorie a rețelei (*Random Linear Network Coding - RLNC*), prin care se pot soluționa două probleme și anume: *reducerea consumului de energie* și *securizarea suplimentară a comunicației* [48].

În continuare se prezintă o soluție propusă de autor pentru extinderea *RLNC* la rețele de tip *WiMAX*.

Transmiterea standard de pachete în interiorul unei rețele wireless presupune pentru un nod secvența (paradigma) *preluare-stocare-transmitere*. O nouă paradigmă este reprezentată de secvența *preluare-stocare-codificare-transmitere*. Operația de codificare presupune o transformare a pachetelor și nu trebuie confundată cu criptarea la nivelul sursei care figurează între facilitățile standard ale unei comunicații wireless.

Caracteristica esențială a codificării *RLNC* este reprezentată de faptul că pachetele nu sunt văzute ca entități atomice (în sensul că se poate interveni în structura acestora), codificarea putându-se realiza pentru fiecare nod și nu numai pentru sursă.

Codificarea *RLNC* se caracterizează prin aceea că datele asociate fluxului de ieșire a unui nod sunt combinații liniare a datelor din fluxul de intrare în nodul respectiv. Generalizând, se poate spune că *RLNC* este metodă de codificare a pachetelor care permite generarea dintr-un număr finit de pachete standard a unui număr finit de pachete codate. Specificitatea *RLNC* constă în aceea că ponderile care intervin în combinațiile liniare sunt generate în mod aleatoriu [34].

Dezvoltările care urmează au fost parțial diseminate de către autor în referința [48]. Pentru a putea testa capacitățile de transmisie în cadrul unei rețele *WiMAX* s-a realizat o simulare cu ajutorul aplicației *Network Simulator 3*, care rulează împreună cu aplicațiile de monitorizare a rețelei sub sistemul de operare *Linux*.

Au fost efectuate două simulări, care au la bază implementarea *RLNC*, simulări ale căror rezultate sunt evidențiate în figura 1.25. Scopul simulărilor a fost acela de a pune în evidență dependența existentă între numărul de pachete (generații) și dimensiunea generației în condițiile menținerii constante a duratei de transmisie.

Pentru prima simulare (*RLNC1*, recepție culoare albastră, transmisie culoare roșie) s-a ales dimensiunea generației egală cu 16 pachete. Pe orizontul de simulare (30 de secunde) au fost recepționate și transmise 39 de generații.

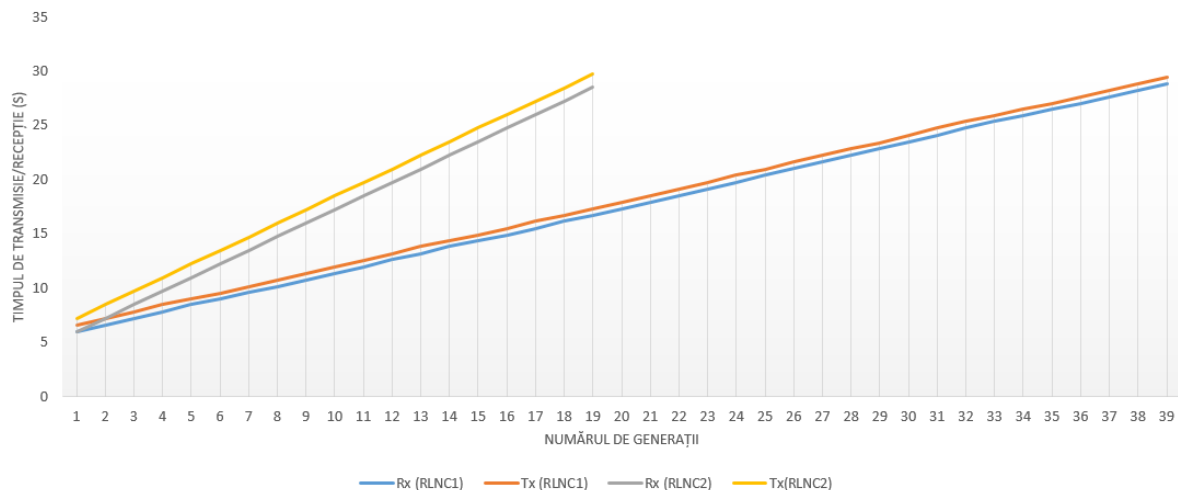


Figura 1.25 Simularea *WiMAX* cu implementare *RLNC* pentru comunicarea între stația de bază și stația client [48].

Pentru a doua simulare (*RLNC2*, recepție culoare gri, transmisie culoare galbenă) s-a folosit valoarea de 32 pachete pentru o generație. În cadrul acestei simulări, pe orizontul de simulare de 30 de secunde au fost recepționate și transmise 19 generații. Rezultatele simulărilor sunt dependente de fluxul de intrare provenit de la sursa de pachete, de aceea pentru toate simulările s-a considerat că acest flux este constant.

În ceea ce privește consumul de energie în urma simulării se desprinde concluzia că numărul de pachete de confirmare din rețea scade considerabil atunci când se folosește *RLNC* și prin urmare consumul mediu de energie este mai mic.

Acest rezultat confirmă faptul că prin aplicarea propusă de către autor a codificării liniar aleatorie a rețelei *WiMAX* se poate reduce consumul de energie pentru transmiterea mesajelor.

## 1.5. Concluzii parțiale

1. În acest capitol a fost investigată problematica specifică rețelelor de senzori wireless.
2. În subcapitolul 1.1, în contextul fundamentelor asociate rețelelor wireless sunt analizate topologiile, benzile de frecvențe radio implicate și standarde pentru definirea rețelelor wireless.

3. Standardele au fost caracterizate pentru cinci tipuri de rețele și anume: *WLAN*, *WPAN*, *WMAN*, *bandă largă* și *WRAN*.
4. În următorul subcapitol au fost analizate protocoale aferente rețelelor de senzori wireless pentru trei nivelului (legătură de date, rețea , transport) ale modelului *OSI*.
5. O atenție deosebită a fost acordată nivelului legătură de date, în acest context au fost analizate protocoalele *MAC* bazate pe *CDMA* și *TDMA*.
6. A treia secțiune a capitolului a fost consacrată investigării caracteristicilor senzorilor wireless.
7. Referitor la platformele de dezvoltare pentru aceste rețele, din investigațiile realizate a fost selectată pentru dezvoltările din capitolul patru a tezei platforma *Pycom LoPy*.
8. În ceea ce privește sistemele de operare pentru rețele de senzori wireless inteligenți au fost investigate sistemele de operare *Contiki*, *Mantis*, *NanoRK* și *LiteOS*.
9. Ultima parte a acestui capitol este consacrată prezentării detaliate a contribuțiilor privind creșterea performanței referitoare la diminuarea consumului de energie unei rețele *WiMAX* prin codificare liniară aleatorie a rețelei.
10. Se prezintă rezultatele unui studiu care confirmă superioritatea trecerii de la paradigma *preluare-stocare-transmitere* la paradigma *preluare-stocare-codificare-transmitere*.
11. A fost realizată o aplicație în limbajul *C++* care permite simularea unei rețele *WiMAX* în mediul *Network Simulator 3*.
12. Rețeaua definită este compusă din următoarele noduri: nod de bază (*base node BS*), nod client (*Subscriber Station SS*), gateway de acces la serviciile de rețea (*Router*) și generator de multicast (*Multicast Streamer*).
13. Pentru a oferi un termen de comparație, pentru început a fost testată pentru această rețea transmisia standard pentru un anumit orizont de timp.
14. Contribuția efectivă s-a materializat în adăugarea codificării *RLNC* la transmisia standard a pachetelor într-o rețea *WiMAX*.
15. Au fost efectuate două teste ale aplicației dezvoltate pentru dimensiuni 16 și 32 ale generațiilor.
16. În urma simulării a rezultat că pe un același orizont de timp , respectiv 30 de secunde, utilizând 16 pachete pe generația s-au putut transmite cel mai mare număr de pachete.
17. Investigațiile realizate în acest capitol vor servi ca suport pentru dezvoltarea și implementarea sistemului ierarhic de monitorizare prezentat pe larg în capitolul patru.

## 2. Investigații privind dezvoltarea și utilizarea infrastructurilor de tip Cloud

### 2.1. Introducere în Cloud Computing

Termenul „*Cloud Computing*” descrie un set de infrastructuri accesabile în Internet capabile să ofere servicii scalabile utilizatorilor. Aceste servicii pot fi sub formă de putere de procesare, capacitate de stocare sau servicii complexe. Cu alte cuvinte, „*Cloud Computing*” presupune partajarea la cerere a resurselor de procesare existente în *Cloud* pentru a furniza servicii de tipul celor menționate prin intermediul aplicațiilor web. Cele mai importante facilități, care se constituie în avantaje, oferite de *Cloud Computing* sunt: *oferirea de servicii la cerere, oferirea de acces la rețea, oferirea de resurse partajabile, oferirea de scalabilitate.*

Modelele de servicii determină tipul de resurse disponibile pentru utilizatori, concretizate în tipuri de servicii. În referința [126] sunt identificate trei tipuri de modele de servicii și anume: *SaaS (Software as a Service) – Software ca Serviciu, PaaS (Platform as a Service) – Platformă ca Serviciu și IaaS (Infrastructure as a Service) – Infrastructură ca Serviciu*, modele care au fost succint descrise în cadrul tezei.

În ceea ce privește modelele de implementare pentru *Cloud Computing* au fost identificate conform referinței [70] patru tipuri distincte și anume: *Cloud privat, Cloud pentru o comunitate, Cloud public și Cloud hibrid.*

### 2.2. Metode de securizare a platformelor Cloud

În subcapitolul 2.2 au fost descrise principalele probleme ce pot afecta o infrastructură Cloud [1] respectiv: *Ransomware, Encryption break, Physical theft, Vulnerability exploitation, DDoS (Designated Denial of Service), Employee data theft și Phising.*

### 2.3. Facilități Cloud pentru Internet of Things

Conceptul *Internet of Things (IoT)* respectiv *Internet al Lucrurilor* desemnează rețele la care sunt conectate dispozitive identificabile tot prin adrese *IP* dar care nu sunt direct administrate de către utilizator.

Având în vedere dezvoltarea în ultimii ani a conceptului *IoT*, corelată cu facilitățile deosebite oferite de infrastructurile de tip *Cloud*, se pune problema integrării senzorilor wireless (ca obiecte specifice *IoT*) în cadrul infrastructurilor *Cloud*. În ultimul timp furnizorii unor soluții de integrare, au elaborat și implementat foarte multe mecanisme de interfațare a nodurilor wireless *IoT* cu serviciile *Cloud* existente. Ținând cont de complexitatea și

diversitatea soluțiilor de integrare, selectarea unei platforme *Cloud* adecvate poate fi considerată o adevărată provocare, pentru care prezenta teză de doctorat se constituie într-o contribuție. Între platformele cele mai cunoscute care oferă facilități *IoT* pentru *Cloud* sunt *Microsoft IoT*, *Google Cloud IoT*, *Amazon Web Services IoT*, *Oracle IoT*, *ThingSpeak*, *The Things Network*.

## 2.4. Platforma The Things Network (TTN)

Raționamentul alegerii în cadrul tezei de doctorat a infrastructurii *TTN* ca platformă de management este justificat în primul rând de facilitățile oferite pentru comunicația *LoRa (Long Range)*, protocolul aferent *TTN* fiind *LoRaWAN*. Infrastructura *TTN* are la bază elementele *LoRaWAN*, în acest sens fiind definite în cadrul infrastructurii următoarele componente *Devices*, *Gateways*, *Network* și *Applications* [59].

## 2.5. Infrastructura Amazon Web Services IoT

Infrastructura *Amazon Web Services IoT (AWS IoT)* are la bază sistemul de operare *FreeRTOS (Real Time Operating System)* pentru dispozitive *embedded*. *AWS IoT* oferă soluții pentru gestiunea nodurilor de senzori wireless și în special pentru procesarea datelor provenite de la aceste noduri [4].

## 2.6. Concluzii parțiale

1. Acest capitol a fost consacrat investigării soluțiilor *Cloud*, inclusiv din punctul de vedere al facilităților pentru dispozitivele *IoT*.
2. Au fost puse în evidență modele de servicii și modelele de implementare specifice unei infrastructuri *Cloud*.
3. S-a realizat o prezentare succintă a metodelor de securizare a infrastructurilor *Cloud*.
4. Au fost prezentate principalele infrastructuri *Cloud* care oferă servicii pentru rețelele de senzori wireless.
5. S-a realizat o analiză comparativă din punct de vedere al serviciilor oferite, complexității și costurilor de implementare între infrastructurile *Microsoft Azure IoT*, *Google Cloud IoT* și *Amazon Web Services IoT*.
6. A fost prezentată pe larg platforma *Cloud The Things Network*, motivând în același timp alegerea acesteia ca platformă de management pentru nodurile wireless.
7. Au fost prezentate pe larg componentele *Amazon Web Services IoT*, argumentându-se alegerea acestei infrastructuri ca suport pentru dezvoltările din capitolul 4 al tezei de doctorat.



### **3. Cercetări privind modelarea, simularea și reglarea proceselor de acumulare, transport și amestec a lichidelor**

Obiectul acestui capitol este reprezentat de o expunere succintă a rezultatelor investigațiilor autorului care privesc procesele de acumulare, transport și amestec al lichidelor din perspectivele *modelării*, *simulării* și *reglării* acestor procese. Motivația prezentului capitol este dictată de faptul că pe aceste procese sunt focusate abordările din capitolul 4 al tezei de doctorat, care tratează dezvoltarea unui sistem automat ierarhic fundamentat, printre altele, pe integrarea rețelelor de senzori wireless cu infrastructuri de tip *Cloud*.

În prima secțiune a capitolului se prezintă pe baza unor investigații bibliografice, o sinteză referitoare la fundamentele ale modelării matematice a unui proces. Următoarele trei secțiuni tratează aspecte care privesc modelarea, simularea și reglarea proceselor menționate.

Ultima parte a capitolului este consacrată prezentării unor contribuții ale autorului referitoare la elaborarea unor algoritmi asociați obținerii de produse care conțin mai mulți componenți specificați prin rețete de amestec.

#### **3.1. Fundamente ale modelării matematice analitice a proceselor**

Modelarea matematică constituie o metodă eficientă utilizată pentru analiza comportării unor sisteme. Un model matematic, în calitate de rezultat al modelării, constituie un suport puternic pentru investigarea comportării unui sistem de reglare automată cu structură convențională sau avansată. Investigațiile bibliografice ale autorului au condus la ideea că o importanță deosebită prezintă modelele dinamice. În teza de doctorat vor fi utilizate modele analitice care sunt deduse pe baza legilor, principiilor, ecuațiilor care guvernează desfășurarea unui anumit proces.

#### **3.2. Procesul de acumulare a unui lichid**

Procesul de acumulare a unui lichid într-un vas este un proces conservativ, mărimea conservabilă fiind reprezentată de cantitatea de lichid care se acumulează în vas. În continuare se prezintă aspecte care vizează modelarea dinamică, simularea și reglarea procesului de acumulare a unui lichid.

### 3.2.1. Modelarea dinamică a procesului de acumulare a unui lichid

Modelele care vor fi prezentate în cele ce urmează se bazează pe referința [73]. Pentru început se consideră un vas cu o singură intrare și cu o singură ieșire (figura 3.3).

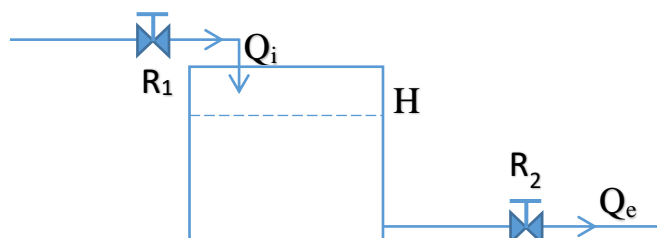


Figura 3.3 Reprezentarea principală a procesului de acumulare a unui lichid într-un vas:  $Q_i$  – debitul de lichid care intră în vas;  $Q_e$  – debitul de lichid care părăsește vasul;  $H$  – nivelul de lichid din vas;  $R_1, R_2$  - robinete pentru ajustarea debitelor de lichid  $Q_i$  respectiv  $Q_e$ .

În cazul curgerii libere (gravitaționale), debitul  $Q_e$  este funcție de nivel. În această situație, procesul de acumulare a lichidului este un proces cu autoreglare (nivelul  $H$  va fi constant în condițiile în care  $Q_i = Q_e$ ). Figura 3.4 ilustrează abordarea sistemică a PAL în care evacuarea se realizează prin curgere gravitațională.



Figura 3.4 Reprezentare sistemică de tip intrare-ieșire a procesului de acumulare a lichidului în vas (PAL) din care evacuarea se realizează gravitațional.

În subcapitolele 3.2.1.1 și 3.2.1.2 au fost determinate modelele matematice asociate PAL caracterizat în figura 3.4 pentru două cazuri specifice procesului de acumulare lichid, respectiv procesul de acumulare a unui lichid într-un vas și procesul de acumulare a unui lichid în două vase conectate în cascadă.

#### 3.2.1.1. Modelarea procesului de acumulare lichid în cazul curgerii gravitaționale

Pentru sistemul ilustrat principal în figura 3.3, ecuația de transport generalizată referitoare la parametrul masă de lichid acumulat capătă forma [72]:

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = Q_{mi} - Q_{me}, \quad (3.1)$$

unde:

$Q_{mi}$  și  $Q_{me}$  sunt debitele masice de intrare, respectiv ieșire;

$\Delta m$  – reprezintă variația masei de lichid din vas;

$\Delta t$  – intervalul de timp în care se realizează această variație.

În urma dezvoltărilor de natură matematică prezentate în cadrul tezei de doctorat (conversie în debite volumice, exprimarea debitului de ieșire în funcție de mărimile specifice procesului, liniarizarea ecuației obținute prin dezvoltare în serie Taylor) a fost exprimat modelul matematic dinamic (*MMD*) al procesului de acumulare a unui lichid într-un vas sub forma unei ecuații diferențiale de ordinul I:

$$a_1 \cdot \frac{d}{dt}(\Delta H) + \Delta H = b_1 \cdot \Delta Q_{vi}; \quad (3.2)$$

unde

$$a_1 = \frac{S_v}{\alpha \cdot A_{R2}} \cdot \sqrt{\frac{2H_0}{g}} \text{ cu } [a_1]_{SI} = s; \quad (3.3)$$

$$b_1 = \frac{1}{\alpha \cdot A_{R2}} \cdot \sqrt{\frac{2H_0}{g}} \text{ și } [b_1]_{SI} = \frac{s}{m^2}, \quad (3.4)$$

în care

$A_{R2}$  este aria secțiunii de trecere a robinetului  $R_2$ ;

$\alpha$  – coeficientul de debit asociat curgerii;

$g$  – accelerația gravitațională.

### 3.2.1.2. *MMD* asociat unui sistem de două vase conectate în cascadă

Aplicând rezultatele din paragraful 3.2.1.1, în acest subcapitol au fost deduse *MMD* și modelul matematic staționar (*MMS*) pentru un sistem de două vase conectate ca în figura 3.10.

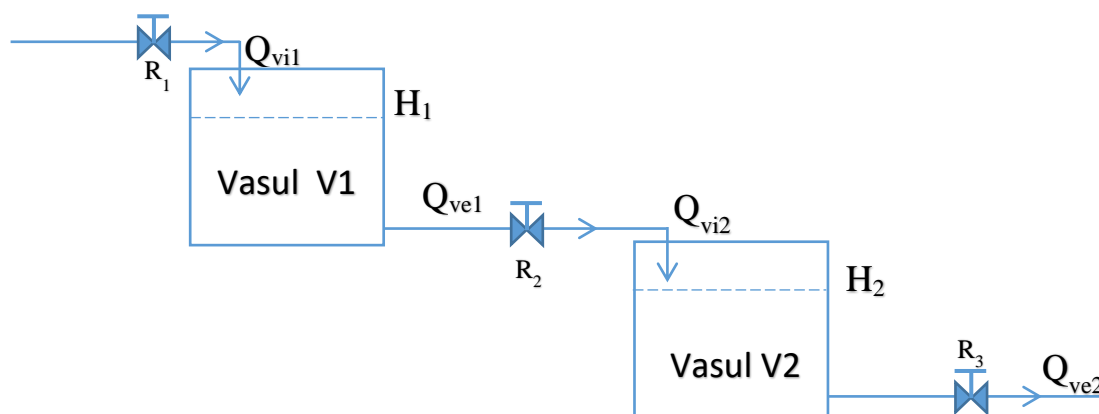


Figura 3.10 Curgerea unui lichid prin două vase în cascadă [72].

Folosind aceleași raționamente, a rezultat *MMD* aferent procesului de acumulare a unui lichid în două vase conectate în cascadă exprimat printr-o ecuație diferențială de ordinul II.

$$a''_2 \cdot \frac{d^2}{dt^2}(\Delta H_2) + a'_2 \frac{d}{dt}(\Delta H_2) + \frac{1}{b''} \Delta H_2 = b'_2 \cdot \Delta Q_{vi1}. \quad (3.5)$$

Coeficienții din relația 3.77 au următoarele semnificații:

$$a''_2 = \frac{S_{v2}}{\alpha \cdot A_{R2}} \cdot \sqrt{\frac{2H_{10}}{g}} \cdot \frac{S_{v2}}{\alpha_3 \cdot A_{R3}} \sqrt{\frac{2H_{20}}{g}} \text{ cu } [a''_2]_{SI} = s^2; \quad (3.6')$$

$$a'_2 = \frac{S_{v2}}{\alpha \cdot A_{R2}} \cdot \sqrt{\frac{2H_{10}}{g}} + \frac{S_{v2}}{\alpha_3 \cdot A_{R3}} \sqrt{\frac{2H_{20}}{g}} \text{ cu } [a'_2]_{SI} = s; \quad (3.7')$$

și

$$b'_2 = \frac{1}{\alpha \cdot A_{R2}} \cdot \sqrt{\frac{2H_{10}}{g}} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A_{R2}}{\alpha_3 \cdot A_{R3}} \cdot \sqrt{\frac{H_{20}}{H_{10}}} \text{ cu } [b'_2]_{SI} = s/m^2, \quad (3.8')$$

$$b'' = \frac{\alpha_2 \cdot A_{R2}}{\alpha_3 \cdot A_{R3}} \cdot \sqrt{\frac{H_{20}}{H_{10}}} \text{ cu } [b'']_{SI} = 1 \text{ (adimensional)}. \quad (3.9)$$

### 3.2.2. Simularea procesului de acumulare a unui lichid

#### 3.2.2.1. Simularea acumulării unui lichid într-un vas (curgere gravitațională)

Pentru simularea procesului de curgere au fost folosite ecuațiile și modelul rezultat în subcapitolul 3.2.1.1, respectiv ecuația (3.55).

În vederea implementării modelului în mediul Matlab<sup>®</sup> se consideră următoarele date numerice:

- diametrul vasului  $d = 0.5\text{m}$ ;
- nivel inițial în vasul V1 (punct de referință pentru liniarizare)  $H_0 = 0.075\text{m}$ ;
- lichid utilizat: apă cu densitatea  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ;
- debit intrare inițial (punct de referință pentru liniarizare)  $Q_{vi0} = 60 \text{ l/h} = 0.000016666667 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Figura 3.19 ilustrează răspunsuri dinamice ale PAL pentru mai multe modificări ale debitului  $Q_{vi}$  sub formă de treaptă.

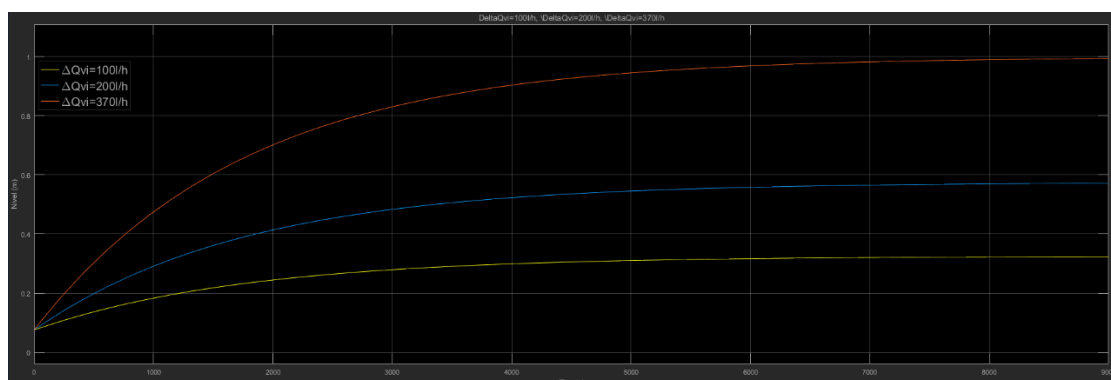


Figura 3.19 Caracteristici dinamice ale PAL într-un vas furnizate de simulatorul dezvoltat în mediul Simulink<sup>®</sup>.

### 3.2.2.2. Simularea acumulării unui lichid în două vase conectate în cascadă

Pe baza modelului matematic dinamic dezvoltat în subcapitolul 3.2.1.2, privind procesul de acumulare a unui lichid în două vase conectate în cascadă, au fost realizate două simulatoare în mediile Matlab<sup>®</sup> respectiv Simulink<sup>®</sup>. Aceste simulatoare constituie extensii ale simulatoarelor realizate pentru un singur vas și prezentate în subcapitolul anterior.

În figura 3.23 sunt prezentate rezultatele simulării PAL cu două vase în următoarele condiții:  $H_{10} = 0.075$ ,  $H_{20} = 0.085$ ,  $Q_{vi1} = 60$  l/h și variația de debit  $\Delta Q_{vi} = 10$  l/h.

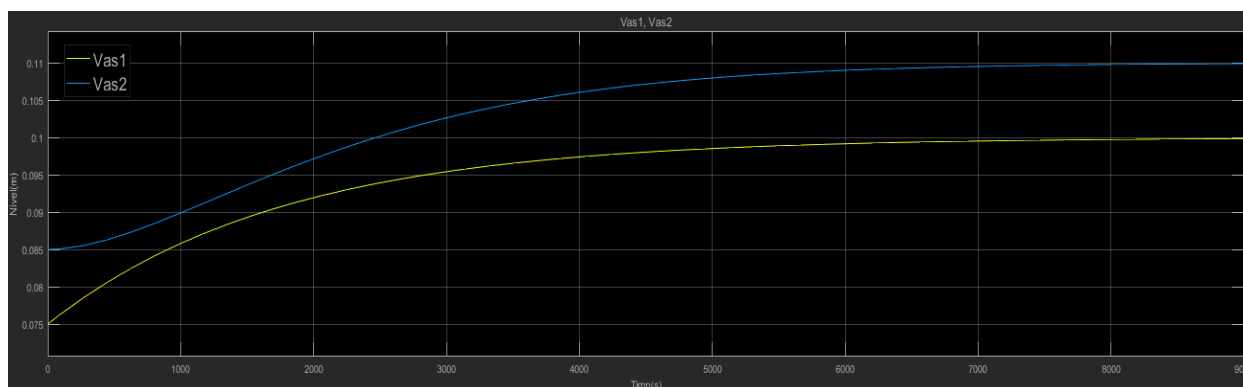


Figura 3.23 Caracteristici dinamice ale PAL în două vase conectate în cascadă furnizate de simulatorul dezvoltat în mediul Simulink<sup>®</sup>.

Graficele din figura 3.23 confirmă faptul că procesul de acumulare în vasul V1 corespunde unui element de ordinul 1, iar ansamblul vaselor V1 și V2 reprezintă un element aperiodic de ordinul 2.

### 3.2.3. Reglarea automată a procesului de acumulare a unui lichid

Reglarea unui proces se bazează pe aptitudinea aceluși proces de a fi adus și menținut la o stare de referință. Din perspectiva proprietăților interne ale unui sistem, pentru a putea fi reglat procesul trebuie să fie controlabil. Pentru un proces, numărul de parametri care pot fi reglați este indicat de numărul agenților de reglare disponibili [52][73].

În cadrul tezei au fost prezentate două structuri de SRA abatere pentru PAL într-un vas, respectiv în două vase.

#### 3.2.3.1. SRA pentru proces acumulare lichid cu un vas

Determinarea valorilor parametrilor de acordare s-a realizat prin două metode respectiv: identificare pe baza MMD și metoda experimentală. Pentru metoda experimentală s-a utilizat funcția Simulink<sup>®</sup> “Tune”. Au fost efectuate în acest sens trei simulări evidențiate în figura 3.34.

Examinând răspunsurile SRA pentru cele trei variante se constată că a treia variantă introduce un suprareglaj care se menține o perioadă mare de timp. Pentru această variantă se obține un timp tranzitoriu de aproximativ 100 de secunde. Această performanță este penalizată de existența oscilațiilor pentru debitul  $Q_{vi}$ .

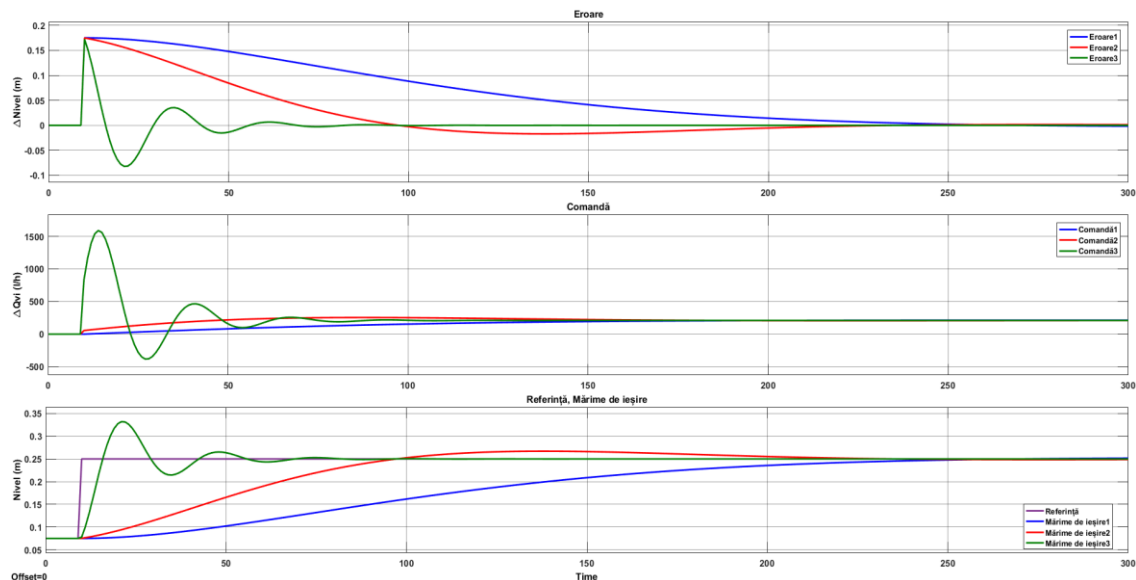


Figura 3.34 Răspunsul în timp al SRA cu regulatorul acordat: verde – varianta agresivă; roșu – varianta robustă și albastru -varianta lentă.

Pornind de la dezavantajul reglării agresive, s-a optat pentru reglarea robustă la care s-a menținut timpul tranzitoriu dar s-a optat pentru reglare robustă. În aceste condiții s-au obținut pentru parametri de acordare valorile  $k_p = 1474.04$ ,  $T_i = 31.94$  și  $T_d = 0$ . Rezultate simulării obținute pentru aceste valori sunt ilustrate în figura 3.35.

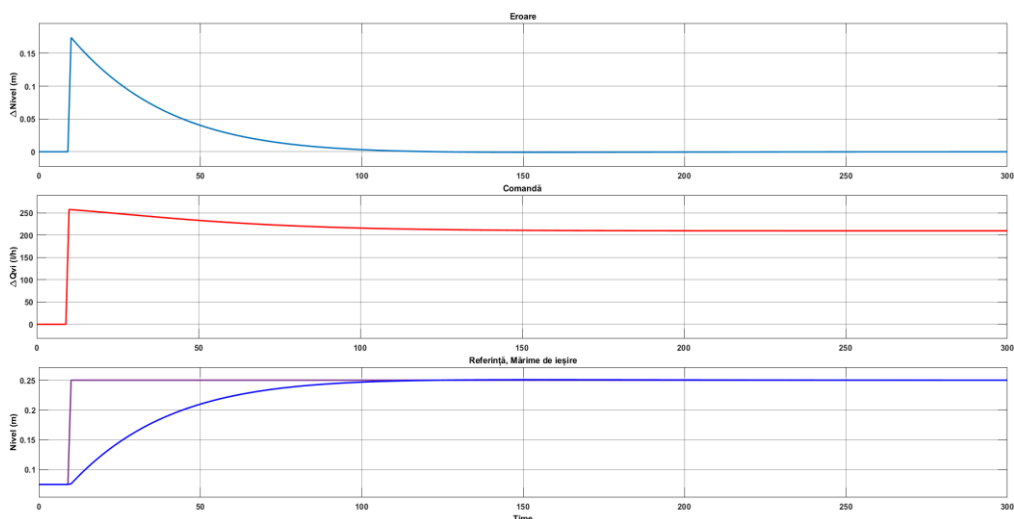


Figura 3.35 Răspunsul în timp al SRA cu regulatorul acordat – varianta robustă ( $k_p = 1474.04$ ,  $T_i = 31.94$  și  $T_d = 0$ ).

Din examinarea figurii 3.35 rezultă că în varianta robustă modificată, durata regimului tranzitoriu s-a modificat iar suprareglajul a dispărut. În aceste condiții se poate considera ca s-a realizat o acordare optimă a regulatorului, atributul optim fiind justificat de faptul că s-a realizat un compromis între timpul de răspuns și absenta suprareglajului.

### 3.2.3.2. SRA pentru proces acumulare lichid în două vase conectate în cascadă

Analog simulărilor efectuate în cadrul subcapitolului 3.2.3.1 s-au determinat răspunsul în timp al unui sistem de reglare automată a procesului de acumulare lichid cu două vase în cascadă.

## 3.3. Procesul de transport al unui lichid

### 3.3.1. Modelarea dinamică a procesului de transport a unui lichid

Transportul unui lichid printr-o conductă implică mișcarea lichidului în conductă sub acțiunea unor surse de antrenare (pompe pentru lichide sau compresoare pentru gaze). În cazul lichizelor, mișcarea mai poate fi provocată și de forța gravitațională.

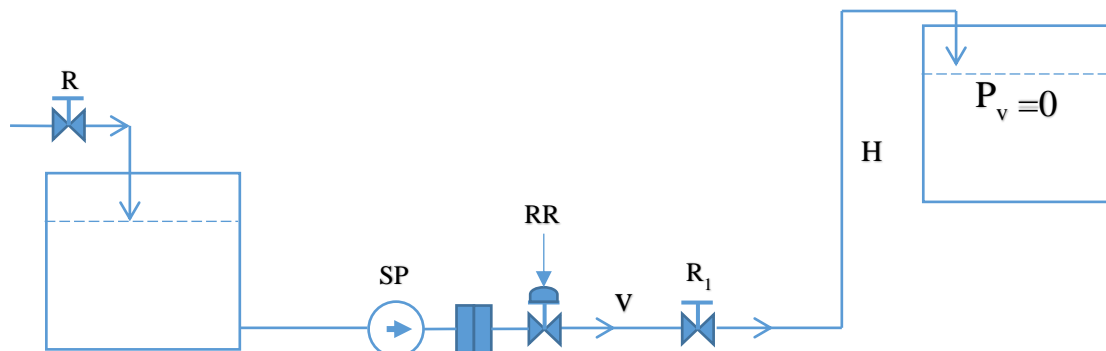


Figura 3.1 Procesul de transport a unui lichid printr-o conductă [66].

Pentru procesul de transport lichid (*PTL*) ilustrat în figura 3.40, se consideră ca variabilă dependentă debitul  $Q$  prin conductă, care este mărime de ieșire și care poate fi influențată de următorii parametri ilustrați parțial în figura 3.41:

- presiunea de refulare  $P_0$  a sursei de presiune SP;
- gradul de închidere, respectiv deschidere al robinetului RR cuantificat în parametrul  $k_v$  [73];
- coeficientul de curgere  $k_c$  prin conductă care poate fi modificat prin închiderea/deschiderea robinetului  $R_1$ ;
- înălțimea  $H$  la care se pompează.

În urma aplicării ecuației de transport sub forma legii conservării impulsului și a liniarizării bazată pe dezvoltare în serie Taylor cu reținerea termenilor liniari a rezultat modelul MMD din relația (3.140).

$$\frac{\rho Q_0}{2(\Delta P_{c0} + \Delta P_{RR0})} \frac{L}{A} \frac{d(\Delta Q)}{dt} + \Delta Q = \frac{Q_0}{2(\Delta P_{c0} + \Delta P_{RR0})} \Delta P_0 + \frac{Q_0}{k_{c0}} \frac{\Delta P_{c0}}{\Delta P_{c0} + \Delta P_{RR0}} \Delta k_c + \frac{Q_0}{k_{v0}} \frac{\Delta P_{RR0}}{\Delta P_{c0} + \Delta P_{RR0}} \Delta k_v \quad (3.10)$$

Sintetizată în :

$$\alpha \frac{L}{A} \frac{d(\Delta Q)}{dt} + \Delta Q = \beta \Delta P_0 + \gamma \Delta k_c + \delta \Delta k_v \quad (3.11')$$

unde:

$$\alpha = \frac{\rho Q_0^2}{\Delta P_{c0} + \Delta P_{RR0}} \frac{1}{2Q_0} = \frac{\rho Q_0}{2(\Delta P_{c0} + \Delta P_{RR0})}; \quad (3.12)$$

$$\beta = \frac{1}{\rho 2Q_0} \frac{\rho Q_0^2}{\Delta P_{c0} + \Delta P_{RR0}} = \frac{Q_0}{2(\Delta P_{c0} + \Delta P_{RR0})}; \quad (3.13)$$

$$\gamma = \frac{Q_0}{k_{c0}} \frac{\Delta P_{c0}}{\Delta P_{c0} + \Delta P_{RR0}}; \quad (3.14)$$

$$\delta = \frac{Q_0}{k_{v0}} \frac{\Delta P_{RR0}}{\Delta P_{c0} + \Delta P_{RR0}}. \quad (3.15)$$

Relația (3.140') reprezintă *MMD* al *PTL* în care intervin mărimile din figura 3.41 mai puțin înălțimea de pompare *H* care se consideră constantă. *MMD* este reprezentat de o ecuație diferențială liniară neomogenă de ordinul I.

Relațiile (3.140) și (3.140') indică faptul că debitul poate fi modificat la modificarea presiunii  $P_0$  de refulare a pompei sau a închiderii/deschiderii robinetelor RR sau  $R_1$ .

### 3.3.2. Simularea transportului unui lichid prin conducte

Pentru a simula procesul de transport al lichidului cu modelul din relația (3.140), autorul a dezvoltat un simulator în mediul Simulink®.

Cu ajutorul simulatorului dezvoltat au fost efectuate patru familii de teste de simulare *FTS1* ... *FTS4* descrise sintetic în tabelul 3-3.

Tabel 3-1 Familiile de teste pentru simularea *PTL*

Număr familie teste simulare	Conținut
<i>FTS1</i>	S-a urmărit variația debitului $Q_e$ la modificări treaptă ale presiunii $P_0$ .
<i>FTS2</i>	S-a urmărit variația debitului $Q_e$ la modificări treaptă ale parametrului $k_v$ .
<i>FTS3</i>	S-a urmărit variația debitului $Q_e$ la modificări treaptă ale parametrului $k_c$ .
<i>FTS4</i>	S-a urmărit variația debitului $Q_e$ la modificări treaptă a modificărilor succesive ale parametrilor $P_0$ , $k_v$ și $k_c$ .



### 3.3.3. Reglarea automată a procesului de transport a unui lichid

Sistemul de reglare automată a debitului, a cărei structură este ilustrată în figura 3.47, implică manevrarea caracteristicii interne, respectiv a caracteristicii *conductă-robinet de reglare* în sensul celor prezentate în referințele [71][73]. În acest context, dintre variabilele de intrare ale procesului de transport lichid ilustrate în figura 3.41 se alege ca mărime de execuție parametrul  $k_v$ . După cum rezultă din referința [73] acest parametru este nemijlocit legat de aria de trecere aferentă subsistemului obturator-scaun din structura robinetului de reglare influențând căderea de presiune pe acesta și implicit debitul prin conductă.

În acest context, celelalte mărimi de intrare sunt considerate perturbații. Având în vedere faptul că înălțimea de pompare este constantă, rezultă că presiunea de refulare  $P_0$  și parametrul  $k_c$  sunt perturbațiile care vor fi avute în vedere la analiza prin simulare a comportării *SRA debit*.

Pentru toate familiile de teste a fost utilizat modelul procesului testat în simulatorul prezentat în subcapitolul 3.3.2. În tabelul 3-8 sunt prezentate sintetic cele patru familii de teste realizate corespunzător celor două regimuri.

Tabel 3-2 Familiile de teste pentru simularea reglării *PTL*

Număr familie teste reglare	Conținut	Regim funcționare SRA
<i>FTR1</i>	S-a urmărit variația debitului $Q_e$ la modificări ale referinței.	urmărire
<i>FTR2</i>	S-a urmărit variația debitului $Q_e$ la modificări treaptă ale parametrului $P_0$ .	stabilizare
<i>FTR3</i>	S-a urmărit variația debitului $Q_e$ la modificări treaptă ale parametrului $k_c$ .	stabilizare
<i>FTR4</i>	S-a urmărit variația debitului $Q_e$ la modificări treaptă a modificărilor succesive ale referinței și a parametrilor $P_0$ și $k_c$ .	urmărire și stabilizare

## 3.4. Procesul de amestec a două sau mai multe lichide

### 3.4.1. Modelarea procesului de amestec a două sau mai multe lichide

Procesul de amestec este de regulă un proces ireversibil și este larg răspândit în ramuri industriale cum ar fi: industria chimică, industria alimentară, industria cosmeticelor etc. În contextul prezentei teze de doctorat, acest proces este în corelație cu procesele de depozitare și de transport lichide, care au fost tratate în subcapitolele precedente.

În cadrul tezei au fost deduse trei modele matematice asociate procesului de amestec după cum urmează:

- o proces de amestec a unui flux de intrare exprimate prin debit volumic cu zestrea de lichid existentă într-un vas;

- proces de amestec a două fluxuri de intrare exprimate prin debite volumice cu zestrea de lichid existentă într-un vas;
- proces de amestec a două fluxuri de intrare exprimate prin debite masice cu zestrea de lichid existentă într-un vas.

În toate situațiile se consideră curgerea gravitațională, cu alte cuvinte din perspectiva acumulării de lichid procesul este cu autoreglare.

### 3.4.2. Simularea procesului de amestec a două sau mai multe lichide

Pentru cele trei modele ale procesului de amestec deduse în subcapitolul 3.4.1 au fost realizate simulatoare în mediul Simulink<sup>®</sup>, rezultatele simulărilor fiind prezentate în cadrul tezei de doctorat.

#### 3.4.2.1. Simularea procesului de amestec într-un vas cu un singur flux de alimentare exprimat prin debit volumic

Pentru simularea procesului de amestecare cu un singur flux de intrare a fost dezvoltat în mediul Simulink<sup>®</sup> cu ajutorul căruia au fost realizate trei familii de simulări cu caracteristicile ilustrate în tabelul 3-13.

Tabel 3-3 Familiile de teste pentru simularea procesului de amestecare cu un flux de intrare

Număr familie teste simulare	Conținut
<i>FTA1</i>	S-a urmărit variația concentrației $C_{Ae}$ a componentului A la ieșire, la modificarea treaptă a concentrației de intrare $C_{Ai}$ , în condițiile păstrării constante a valorilor pentru debitul $Q_{vi}$ și volumul V.
<i>FTA2</i>	S-a urmărit variația duratei regimului tranzitoriu la modificări ale debitului de intrare $Q_{vi}$ .
<i>FTA3</i>	S-a urmărit variația duratei regimului tranzitoriu la modificări ale volumului V de lichid din vas.

#### 3.4.2.2. Simularea procesului de amestec într-un vas cu două fluxuri de intrare exprimate prin debite volumice

Cu suportul oferit de simulatorul dezvoltat au fost realizate familiile de simulări *FTA4*, *FTA5*, *FTA6* cu caracteristicile evidențiate în tabelul 3-17.

Tabel 3-4 Familiile de teste pentru simularea procesului de amestecare cu două fluxuri de intrare

Număr familie teste simulare	Conținut
<i>FTA4</i>	S-a urmărit variația concentrației $C_{Ae}$ la modificări treaptă pentru concentrațiile de intrare $C_{Ai1}$ și $C_{Ai2}$ , în condițiile păstrării constante a valorilor pentru debitele de intrare $Q_{vi1}$ , $Q_{vi2}$ și valorii volumului V.

<i>FTA5</i>	S-a urmărit variația duratei regimului tranzitoriu la modificări ale debitelor de intrare $Q_{vi1}$ , $Q_{vi2}$ .
<i>FTA6</i>	S-a urmărit variația duratei regimului tranzitoriu la modificări ale volumului $V$ de lichid din vas.

### 3.4.2.3. Simularea procesului de amestec într-un vas cu două fluxuri de intrare exprimate prin debite masice

Pentru simularea procesului de amestecare cu două fluxuri de intrare și exprimarea concentrațiilor în fracții masice diferite, a fost dezvoltat în mediul Simulink® utilizând și funcții Matlab®. După cum reiese și din faza de modelare, concentrațiile sunt exprimate prin fracții masice. Au fost realizate familiile de simulări *FTA7*, *FTA8*, *FTA9* cu caracteristicile evidențiate în tabelul 3-21.

Tabel 3-5 Familiile de teste pentru simularea procesului de amestecare cu două fluxuri de intrare - exprimarea concentrațiilor în fracții masice diferite

Număr familie teste simulare	Conținut
<i>FTA7</i>	S-a urmărit variația fracției masice la ieșirea din vasul de amestec la modificări treaptă a debitelor de intrare $Q_{m1}$ și $Q_{m2}$ .
<i>FTA8</i>	S-a urmărit variația duratei regimului tranzitoriu la modificări ale volumului $V$ de lichid din vas.
<i>FTA9</i>	S-a urmărit variația duratei regimului tranzitoriu la modificări ale densității lichidului.

### 3.4.3. Reglarea automată a procesului de amestec a două fluxuri de lichide exprimate prin debite masice

Pentru procesul de acumulare concentrația  $w$  a componentului  $A$  în vas poate fi influențată de debitele  $Q_{m1}$  și  $Q_{m2}$ , care după cum s-a văzut sunt în relație cu concentrațiile  $w_1$  și  $w_2$ . Cu alte cuvinte, concentrația  $w$  care constituie mărime de ieșire poate fi reglată acționând asupra unuia dintre debitele  $Q_{m1}$  sau  $Q_{m2}$ , care au calitatea (nu simultană) de mărimi de execuție.

În figura 3.71 este prezentată schema principală a unui sistem de reglare automată (*SRA*) după abatere a concentrației  $w$ , în care debitul  $Q_{m2}$  reprezintă mărime de execuție iar debitul  $Q_{m1}$  constituie perturbația. După cum se observă, debitul  $Q_{me}$  este lăsat liber în sensul că aria secțiunii de trecere a robinetului  $R_2$  este menținută constantă.

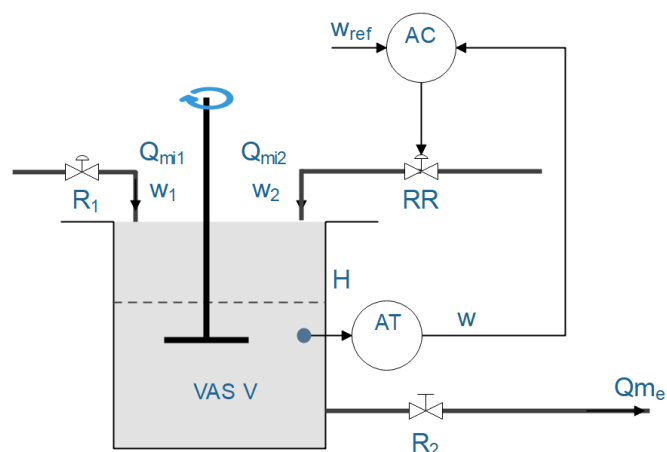


Figura 3.2 Schema principală a unui SRA abatere pentru concentrația  $w$  aferentă unui proces de amestec a două fluxuri de lichide exprimate prin debite masice: AC – regulator de concentrație; AT – traductor de concentrație; RR- robinet de reglare.

Pentru testarea funcționalității *SRA* cu structura evidențiată în figura 3.71, a fost dezvoltat în mediul Simulink® un simulator, care utilizează și funcții Matlab® a cărei structură este detaliată în figura 3.72.

Din analiza structurii acestui simulator rezultă că simularea funcționării *SRA* se poate face atât în regim de *urmărire*, cât și în regim de *stabilizare*.

Funcționarea în regim de *urmărire* presupune menținerea constantă a perturbației  $Q_{m1}$  și modificarea referinței  $w_{ref}$ , iar funcționarea în regim de *stabilizare* implică menținerea constantă a referinței  $w_{ref}$  și modificarea perturbației.

Este de menționat faptul că regulatorul de concentrație *AC* include și modulul de calcul a debitului  $Q_{m2}$  pe baza concentrației  $w$ .

Au fost realizate două familii de teste în cadrul cărora a fost utilizat modelul procesului și care a fost testat în simulatorul descris în subcapitolul 3.4.2.3. În tabelul 3-25 sunt prezentate sintetic cele două familii de teste realizate, în fiecare dintre familii urmărindu-se funcționalitatea *SRA* atât în regimul de *urmărire*, cât și în cel de *stabilizare*.

Tabel 3-6 Familiile de teste aferente simulării *SRA* abatere cu structura din figura 3.71

Număr familie teste reglare	Conținut	Regim funcționare SRA
<i>FTRA1</i>	S-a urmărit fracția masică $w$ a componentului A în lichidul din vas la ieșirea din vasul de amestec la modificări treaptă ale referinței $w_{ref}$ .	Urmărire
<i>FTRA2</i>	S-a urmărit fracția masică $w$ a componentului A în lichidul din vas la ieșirea din vasul de amestec la modificări treaptă ale perturbației reprezentate de debitului de intrare $Q_{m1}$ .	Stabilizare

Este important de subliniat faptul că *SRA* concentrație asigură stabilizarea mărimii reglate, respectiv a concentrației  $w$ , la modificarea perturbației reprezentată de  $Q_{m1}$ . Ca și în cazul funcționării în regim de urmărire, duratele regimurilor tranzitorii în regimul de stabilizare sunt în concordanță cu amplitudinile funcțiilor treaptă asociate modificării perturbației.

### 3.5. Contribuții la elaborarea unor algoritmi asociați obținerii de produse care conțin mai mulți componenți specificați prin rețete de amestec.

În practică, finalitatea unui proces de amestec în care intervin mai mulți componenți diferiți este reprezentată de obținerea unui produs care să respecte o anumită rețetă. Această rețetă este reprezentată practic de concentrațiile în care trebuie să se regăsească componenții în produsul final.

În acest subcapitol se va pune accentul pe optimizarea planificării producției într-o rafinărie.

Pentru evaluarea informațiilor (rezultatelor) se consideră o instalație de amestec cu structura din figura 3.75. Din analiza acestei figură rezultă că pe baza a  $M$  tipuri de componenți (semifabricate) pot fi realizate din punct de vedere tehnologic  $N$  tipuri de produse finite.

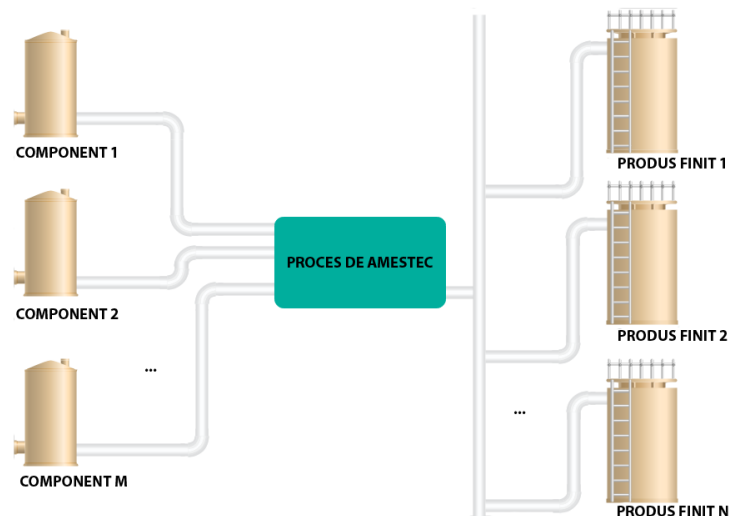


Figura 3.3 Structura principală a unei instalații de amestec dintr-o rafinărie.

Instalația cu structura ilustrată în figura 3.75 include toate categoriile de procese investigate în prezentul capitol și anume: *acumulare*, *transport*, *amestec*. Prin integrarea modelelor dinamice dezvoltate pentru aceste procese se poate obține un model matematic dinamic care să reflecte comportarea instalației.

Pentru gestiunea unui astfel de proces de amestec este necesară proiectarea unui sistem de planificare a desfășurării respectivului proces. Pentru un proces de amestec, de tipul celui ilustrat în figura 3.75, autorul a propus și realizat un număr de trei algoritmi după cum urmează:

- **Algoritmul DCC** – destinat determinării cantităților de componenți ( $CC$ ) utilizate pentru realizarea cantităților cerute de produse finite ( $CP$ );
- **Algoritmul ICP** – destinat identificării cantităților de produs finit care se pot realiza folosind cantitățile disponibile de componenți ( $CDC$ );
- **Algoritmul ECP** – destinat extinderii calculului cantităților cerute de produse finite  $CP$  ce se pot realiza cu cantitățile disponibile de componenți  $CDC$ ,

algoritmi interconectați potrivit reprezentării din figura 3.76.

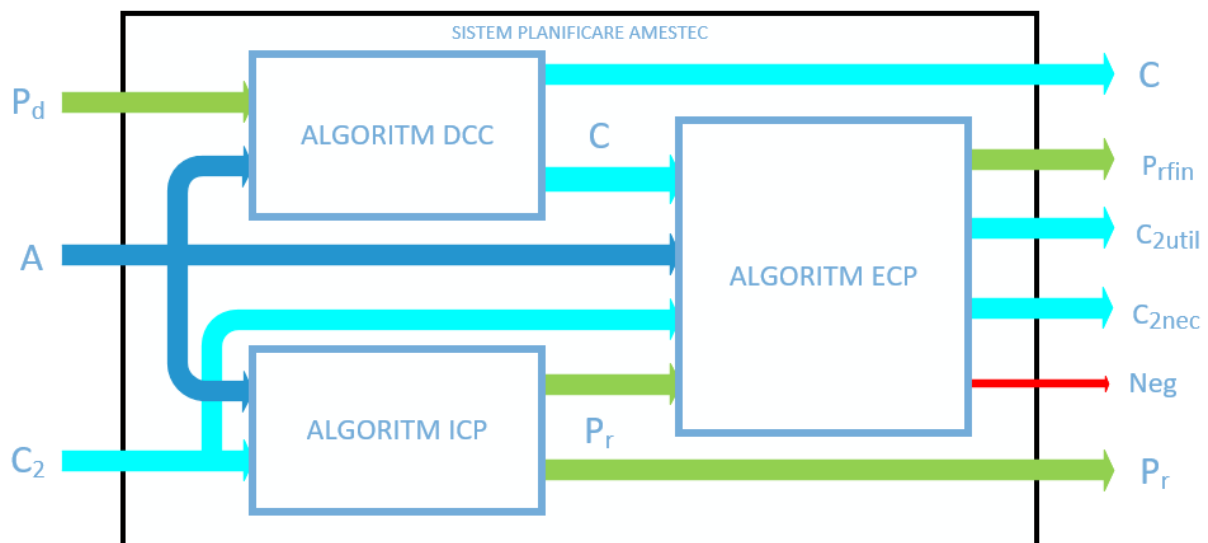


Figura 3.4 Schema de interconectare a algoritmilor propuși pentru planificarea procesului de amestec.

Semnificațiile notațiilor din figura 3.76 sunt următoarele:

- $A$  reprezintă matricea rețetei de amestec;
- $P_a$  – matricea cantităților de produse finite care se dorește a fi realizate;
- $C$  – matricea cantităților necesare de componenți pentru a realiza cantitățile impuse de produse finite;
- $C_2$  – matricea cantităților disponibile de componenți ( $CDC$ );
- $P_r$  – matricea cantităților de produse care pot fi realizate cu  $CDC$ ;
- $P_{rfin}$  – matricea cantităților de produse finite care pot fi realizate după calculul extins;
- $C_{2util}$  – matricea cantităților de componenți utilizate după calculul extins;
- $C_{2nec}$  – matricea cantităților suplimentare de componenți la o modificare în matricea  $P$ ;

- *Neg* – indicator referitor la posibilitatea realizării cantităților de produse finite specificate în matricea *P*.

În subcapitolele 3.5.1, 3.5.2 și 3.5.3 ale tezei de doctorat au fost prezentate detaliat aspecte care privesc fundamentarea celor trei algoritmi și exemplificarea implementării acestora.

### 3.5.1. Integrarea algoritmilor într-o aplicație de analiză a stocurilor în timp real

Scopul acestei integrări a constat în utilizarea algoritmilor creați în subcapitolele anterioare pentru un caz concret. În continuare se va descrie aplicația realizată în mediul de programare C# care include funcții suplimentare de încărcare a rețetelor, preluare de informații dintr-un proces fizic existent și utilizarea acestor date pentru a genera rapoartele necesare. Pentru această implementare s-a considerat un proces de amestec a produselor petroliere bazat pe rețete. Aceste rețete pot fi introduse direct de utilizator sau pot fi preluate dintr-o bază de date existentă. Informațiile privind stocurile de componenți sunt preluate în timp real prin intermediul unui sistem de monitorizare, sistem care va fi descris în capitolul 4.

În figura 3.91 se prezintă interfața dezvoltată pentru aplicația *Analiza Stocurilor în Timp Real (ASTR)*. Această interfață oferă posibilitatea selecției rețetelor care vor fi folosite pentru analiză.

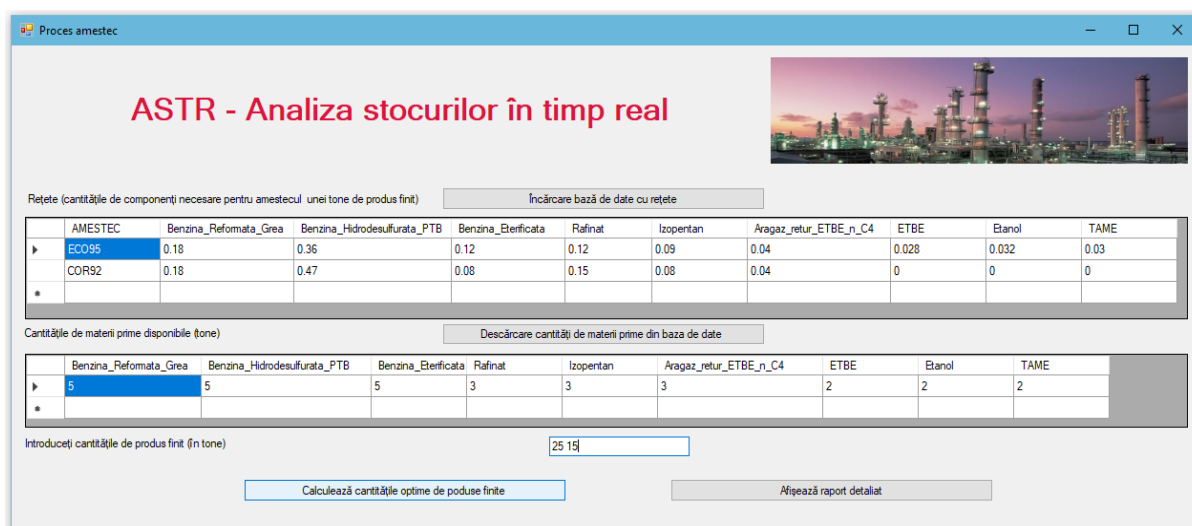


Figura 3.5 Interfața aplicației de optimizare a procesului de amestec.

O altă opțiune oferită de interfață prin intermediul unui buton specific este reprezentată de posibilitatea actualizării stocurilor existente de componenți. Atunci când toate datele sunt preluate de aplicație, operatorul poate introduce cantitățile de produse finite impuse.

Interfața conține două butoane utilizate pentru generarea rezultatelor ale căror funcții vor fi detaliate în continuare.

La acționarea butonului “*Calculează cantitățile extinse de produse finite*” se apelează algoritmi prezentați în subcapitolele anterioare respectiv *DCC*, *ICP* și *ECP* și se oferă operatorului posibilitatea unei alegeri corespunzător criteriilor sale.

La acționarea butonului, “*Afișează raport detaliat*” se generează un fișier *PDF* cu raportul complet pentru toate iterațiile și toate cazurile posibile, raport care este prezentat în *Anexa 1* la prezenta teză de doctorat.

După introducerea tuturor datelor se validează cerințele operatorului, referitoare la cantitățile de produse finite dorite. Dacă aceste solicitări nu pot fi puse în practică se transmite un mesaj de eroare și se așteaptă introducerea unor noi cantități. În figura 3.92 este prezentat un mesaj de eroare corespunzător situației în care operatorul solicită realizarea a 25 de tone de benzină *ECO95* și 15 tone de benzină *COR92*. După cum reiese din această figură, mesajul conține și cantitățile de componenți necesare pentru realizarea sarcinilor (cantităților) impuse de operator.

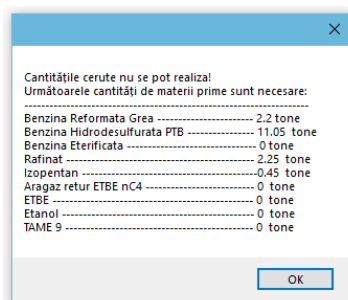


Figura 3.6 Mesajul de eroare afișat la depășirea stocurilor existente.

În schimb, dacă operatorul alege 5 tone de benzină *ECO95* și 3 tone de benzină *COR92*, la apăsarea primului buton se va deschide o fereastră cu rezultate, prezentate în figura 3.93.

Această fereastră afișează cantitățile de componenți necesare pentru realizarea cantităților de produse finite cerute de operator, oferind în același timp și informații referitoare la stocurile de componenți disponibile după realizarea produselor finite în cantitățile dorite.

După prezentarea acestor rezultate, operatorului i se oferă posibilitatea alegerii între mai multe variante, care presupun utilizarea stocurilor de componenți rămase după prima etapă. În figura 3.93 este posibilitatea de a alege între două variante, respectiv *Varianta1* și *Varianta2*.

În *Varianta1*, ilustrată în figura 3.93, operatorul este informat că mai pot fi realizate încă 4 tone de benzină *ECO95*. Ca urmare, după calculul extins, în final, în varianta 1 se pot realiza 9 tone de benzină *ECO95* și 3 tone de benzină *COR92*.



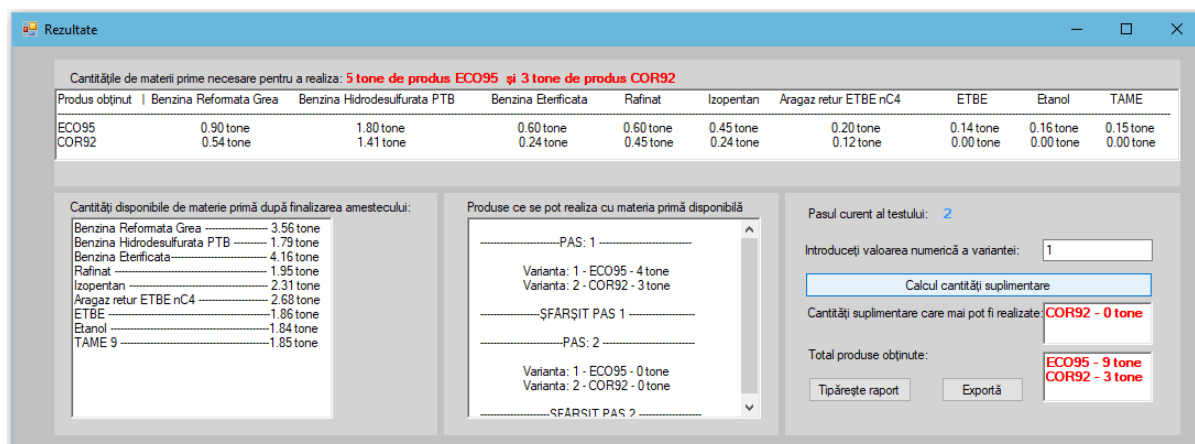


Figura 3.7 Fereastra cu rezultatele obținute ca urmare a alegerii Variantei 1.

În *Varianta 2* (detaliată în figura 3.94) operatorul este informat că mai pot fi realizate încă 3 tone de benzină *COR92* și o tonă de benzină *ECO95*. Ca urmare, după calculul extins, în final, în varianta 2 se pot realiza 6 tone de benzină *ECO95* și 6 tone de benzină *COR92*.

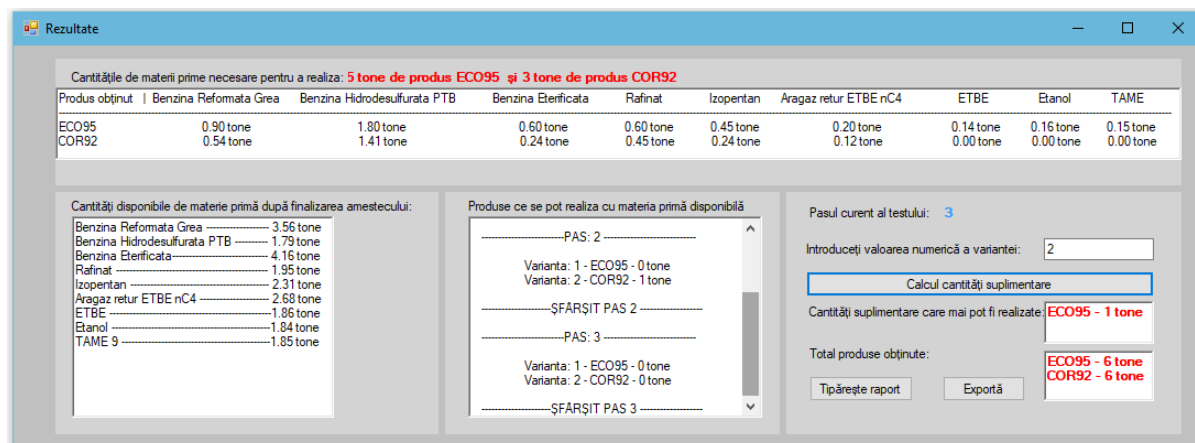


Figura 3.8 Fereastra cu rezultatele obținute ca urmare a alegerii Variantei 2.

Aplicația dezvoltată oferă operatorului de proces posibilitatea adoptării în timp real a variantelor pe care le consideră optime, pornind de la necesarul de produse finite și disponibilitatea de semifabricate (compenți).

### 3.6. Concluzii parțiale

1. În acest capitol au fost investigate trei procese tehnologice, respectiv procesele de acumulare lichid, transport lichid și amestecare lichide.
2. Cele trei procese au fost abordate din perspectivele modelării, simulării și controlului (reglării acestora).
3. În prima secțiune au fost prezentate fundamente ale modelării, insistându-se pe ecuațiile de transport, de stare și de echilibru.

4. Au fost deduse modele matematice dinamice (*MMD*) pentru cele trei procese.
5. Pentru procesul de acumulare lichide s-a considerat cazul evacuării libere (curgere gravitațională).
6. Pentru procesul de transport lichide s-a abordat curgerea turbulentă.
7. Pentru procesul de amestec s-a considerat amestecarea perfectă.
8. Pentru procesele modelate au fost elaborate în mediul Simulink® simulatoare care au permis studiul comportamentului respectivelor procese la modificarea diverselor mărimi de intrare.
9. Pentru cele trei procese au fost stabilite obiectivele reglării și mărimile de execuție asociate realizării acestor obiective.
10. Pentru procesele investigate au fost propuse sisteme de reglare automată (*SRA*) cu acțiune după abatere.
11. Pentru investigarea capabilităților *SRA* au fost realizate simulatoare în mediul Simulink®.
12. Rezultatele simulărilor efectuate au demonstrat funcționalitatea și performanțele *SRA* propuse.
13. Au fost propuși pentru procesul de amestec cu exprimarea fluxurilor prin debite masice trei algoritmi, *DCC*, *ICP* și *ECP* destinați relaționării cantităților de componenți cu cele de produse finite.
14. Algoritmul *DCC* este destinat calculului necesarului de componenți pentru realizarea unor cantități impuse de produse finite.
15. Algoritmul *ICP* permite calculul cantităților maxime de produse finite care pot fi realizate cu cantitățile de componenți disponibile.
16. Algoritmul *ECP* care extinde calculul cantităților de produse finite realizate cu toate cantitățile de componenți disponibile.
17. Capitolul se încheie cu prezentarea aplicației *ASTR* pentru gestionarea stocurilor, aplicație dezvoltată în mediul C# și care integrează cei trei algoritmi.
18. Aplicația *ASTR* a fost validată pe un studiu de caz care se referă la două rețete (amestecuri) destinate obținerii a două categorii de benzine.

## **4. Contribuții privind dezvoltarea unui sistem automat ierarhic de monitorizare bazat pe integrarea WSN cu infrastructurile de tip Cloud.**

Sistemul automat de monitorizare dezvoltat de către autor are în vedere urmărirea parametrilor procesului și transmiterea la distanță a valorilor acestora utilizând o rețea de senzori wireless (*WSN*<sup>4</sup>) cu tehnologie *LoRa*<sup>5</sup>. Caracterul ierarhic este evidențiat prin existența a 5 niveluri distincte, fiecare din aceste niveluri având funcții bine definite în cadrul sistemului ierarhic.

### **4.1. Arhitectura sistemului ierarhic dezvoltat**

#### **4.1.1. Obiectivele sistemului automat ierarhic de monitorizare**

La definirea obiectivelor sistemului automat ierarhic de monitorizare (*SAIM*) s-au avut în vedere aspecte ce țin de *achiziția, transmisia, stocarea și prelucrarea datelor* în scopul utilizării lor pentru a obține cât mai multe informații referitoare la proces.

Aceste obiective care s-au transpus în următoarele specificații pentru dezvoltarea *SAIM*:

- preluarea datelor din proces prin intermediul unei rețele bazate pe tehnologie wireless având capabilități de transmisie pe distanțe mari;
- utilizarea unui mediu securizat de transmisie a datelor;
- utilizarea unei platforme de management a rețelei de senzori wireless;
- stocarea organizată a datelor din proces;
- extragerea de informații din datele achiziționate, cu ajutorul rapoartelor și a modulelor de statistică;
- generarea de predicții pentru mărimile reglate pe baza datelor achiziționate din proces.

Obiectivele de mai sus au fost avute cu prioritate în vedere în fazele structurare, proiectare și implementare a *SAIM*.

---

<sup>4</sup> WSN - abreviere pentru Wireless Sensors Network – rețea de senzori wireless

<sup>5</sup> LoRa – abreviere pentru LongRange (tehnologie wireless pentru transmisiile la distanțe mari)

#### 4.1.2. Structurarea sistemului automat ierarhic de monitorizare

Sistemul ierarhic de monitorizare propus, dezvoltat și implementat de către autor este organizat pe 5 (cinci) niveluri ierarhice la care se adaugă un nivel 0 (reprezentat de proces) potrivit reprezentării din figura 4.1.

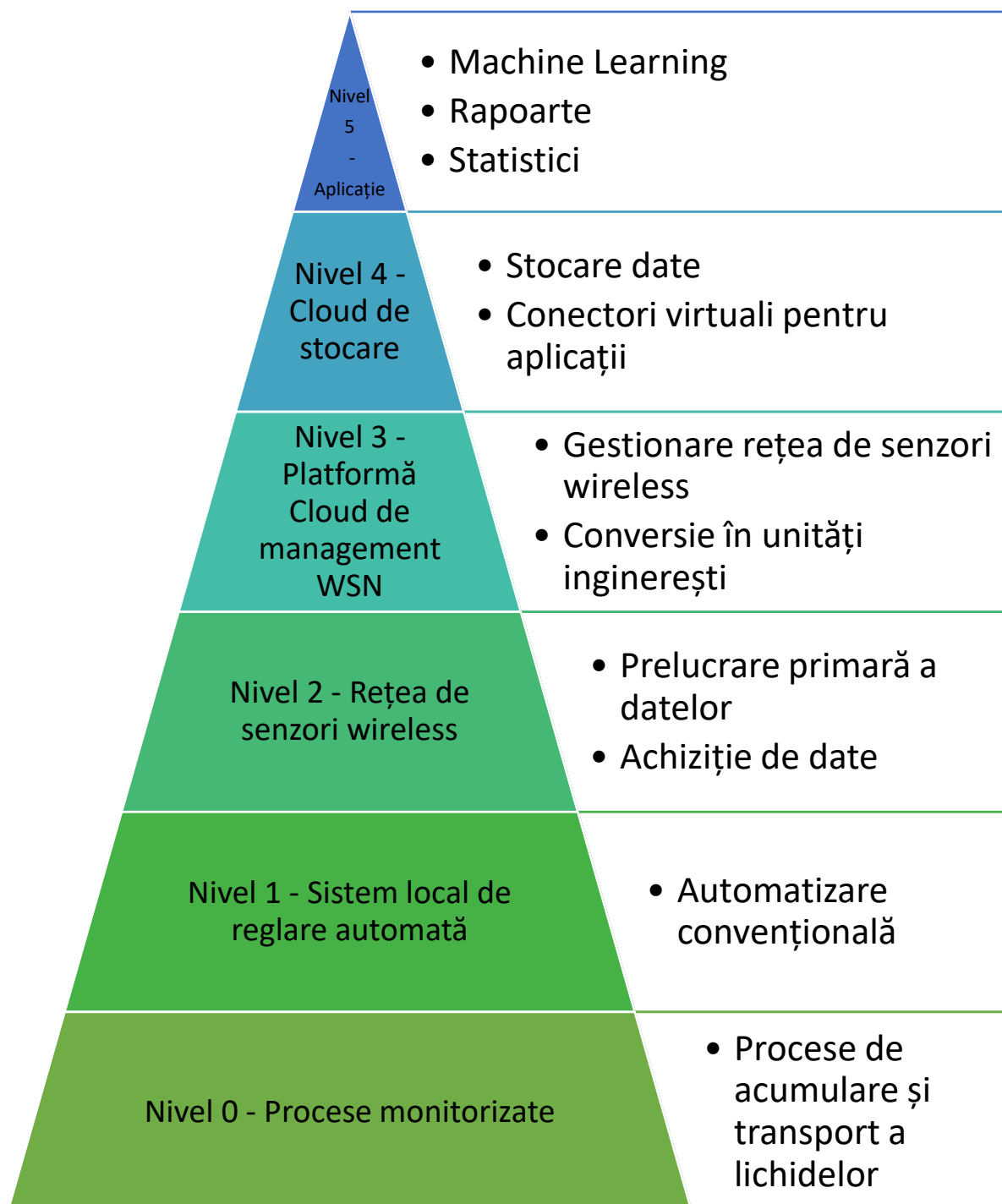


Figura 4.1 Structura ierarhică a sistemului automat ierarhic de monitorizare.

În această figură sunt evidențiate atât denumirile fiecărui nivel, cât și funcțiile sintetice care sunt realizate în cadrul acestuia. Principial există conexiuni informaționale (nu neapărat fizice) între un nivel și nivelurile adiacente. Practic, de la baza ierarhiei către vârful acesteia circulă mărimi de informare. Structura dezvoltată este o structură deschisă oferind posibilitatea de a transfera și mărimi de coordonare de la un anumit nivel către nivelul inferior.

La baza *SAIM*, respectiv la **nivelul 0**, se găsește procesul monitorizat. În contextul prezentei teze de doctorat, la acest nivel sunt considerate procesele fizice de acumulare și transport lichide care au fost tratate în capitolul 3.

**Nivelul 1**, cel al automatizării convenționale a fost implementat prin platforma de cercetare *ASTANK*. Sfera automatizării convenționale aferentă acestui nivel include, pe lângă funcția de monitorizare și pe cea de reglare. Acest nivel transmite către nivelul superior semnale care conțin date referitoare la parametri tehnologici (nivel, debite, presiuni, informații de stare). De asemeni, aici a fost implementată și reglarea automată a procesului de acumulare lichid, comenzile fiind implementate în proces de către robinete de reglare acționate electric.

**Nivelul 2** este destinat achiziției datelor, furnizate de nivelul 1, aferente procesului de acumulare și transmiterii acestora într-o rețea fără fir (*wireless*). Această rețea este formată din microcontrolere ( $\mu C$ ) *LoPy* care comunică între ele prin tehnologie *LoRa (LongRange)*. Datele achiziționate de nodurile wireless sunt transmise către un concentrator de date sub formă de cadre. Atât  $\mu C$  *LoPy* cât și tehnologia *LoRa* au fost pe larg prezentate în capitolul 1 al tezei de doctorat.

**Nivelul 3** este asociat infrastructurii de management a rețelei wireless (o infrastructură de tip *Cloud*). Această infrastructură are ca obiectiv identificarea clienților, realizarea legăturilor logice între aceștia, implementarea mecanismelor de securitate, monitorizarea nodurilor și a comunicațiilor și conversia datelor. În cadrul acestui nivel datele provenite de la senzori exprimate în unități fizice (inginerești) pot fi afișate și stocate temporar. Tot în cadrul acestui nivel există o secțiune de integrare a datelor, cu ajutorul cărei se pot realiza conexiuni către alte aplicații. În cadrul capitolului 2 au fost prezentate elemente relevante în ceea ce privește infrastructurile *Cloud*.

**Nivelul 4** este destinat implementării funcționalităților de comunicare și memorare *Cloud*. Comunicarea se referă la secțiunile *Cloud* asociate nivelurilor 3 și 4, iar stocarea se referă la memorarea datelor furnizate de nivelul 3. Legăturile între nivelurile inferioare și cele superioare se pot realiza prin intermediul conectorilor virtuali. Pentru a realiza aceste legături

au fost utilizate module specifice *Internet of Things (IoT)*. În capitolul 1 al tezei de doctorat au fost detaliate aspecte care privesc facilitățile oferite de *IoT*.

**Nivelul 5** constituie practic *nivelul aplicație* al ierarhiei, în cadrul acestuia fiind implementate următoarele aplicații dezvoltate de autor: *filtrarea, vizualizare, raportare statistică și predicții cu algoritmi de tip Machine Learning*.

Având în vedere caracterul modular al sistemului ierarhic, orice modificare de tehnologii pe un nivel inferior, respectând condiția de păstrare a arhitecturii rețelei, nu va afecta nivelurile superioare. De exemplu, în cadrul nivelului 3 se poate schimba infrastructura *TTN (The Things Network)* cu infrastructura *ThingsSpeak*. Dacă se păstrează tipul de comunicație dintre cele două infrastructuri sunt necesare modificări minore în ceea ce privește autentificarea noilor noduri. Nivelul aplicație nu necesită modificări suplimentare, dacă nu au fost utilizate meta date specifice infrastructurii *TTN*.

În continuare sunt detaliate aspecte care privesc proiectarea și implementarea fiecărui nivel.

## 4.2. Implementarea nivelului 1 al automatizării convenționale

Acest nivel a fost implementat fizic cu ajutorul platformei de cercetare *ASTANK* [43], platformă ale cărei facilități au fost descrise în teza de doctorat. Platforma integrează patru secțiuni și anume:

- **Secțiunea PROCES** include elementele evidențiate mai jos.

Două vase pentru procesele de acumulare lichid (*V1* și *V2*), un vas de alimentare lichid (*V*), o pompă centrifugală cu cuplaj magnetic (*P*), două pompe centrifugale suplimentare (*P1* și *P2*), robinete acționate manual.

- **Secțiunea COMANDĂ** include elementele enumerate în continuare.

Doi senzori de nivel (*LT1, LT2*), doi senzori de presiune (*PT1, PT2*), doi senzori volumici de debit (*FT1, FT2*), doi senzori de depășire nivel maxim (*LS1, LS2*), un senzor de nivel minim (*LS*), *Regulator Logic Programabil (PLC)*, modul de expansiune, două robinete de reglare (*FC1, FC2*), două controlere digitale pentru cele două robinete de reglare *FC1* și *FC2*, convertizor de frecvență pentru controlul pompei centrifugale, panou frontal cu porturi de intrare/ieșire analogice și digitale, switch Industrial Ethernet.

- **Secțiunea INTERFAȚĂ** include panoul *Touch Screen Simatic Touch KTP 600 HMI*.

- **Secțiunea *CONNECTIVITATE***, descrisă pe larg în subcapitolul 4.4.1, include facilitățile de furnizare a informațiilor din proces oferite de *PLC*-ul platformei *ASTANK*.

În figura 4.2 este prezentată o imagine a platformei de cercetare *ASTANK*, platformă pe care autorul a desfășurat o parte importantă a cercetărilor sale de natură experimentală.

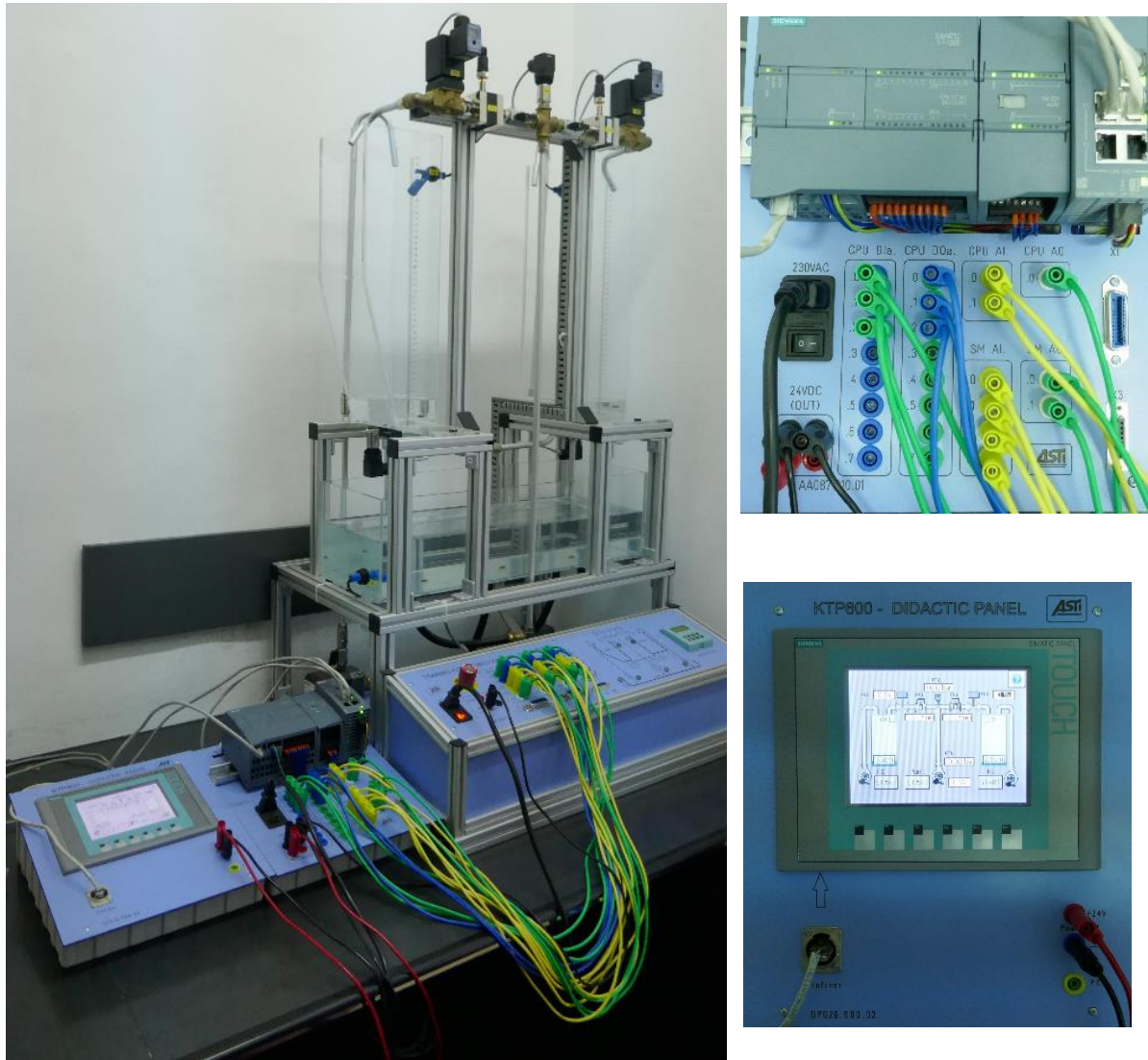


Figura 4.2 Platforma de cercetare *ASTANK* – stânga: aspect general al platformei; dreapta sus: *PLC* și panou de conexiuni; dreapta jos: panou de operare.

#### 4.2.1. Calibrarea și configurarea unor echipamente ale platformei *ASTANK* asociate secțiunii *CONTROL*

Practic, marea majoritate a elementelor secțiunii *CONTROL* trebuie să fie calibrate sau după caz configurate adecvat astfel încât să se asigure o funcționare corectă a sistemelor de monitorizare și reglare pentru procesul de acumulare lichid, care vor fi implementate. În cele

ce urmează vor fi abordate în acest context robinetul de reglare *FC2* și traductorul de nivel *LT2*.

#### 4.2.1.1. Calibrarea robinetului de reglare *FC2*

Obiectivul acestei calibrări a fost reprezentat de punerea de acord a caracteristicii statice intrinseci oferite de furnizorul platformei *ASTANK* cu rezultatele experimentale.

Pentru robinetele de reglare, o caracteristică statică ideală se identifică printr-o legătură unu la unu între valoare procentuală a debitului de trecere prin robinet și gradul de deschidere (procentual) al acestuia. Robinetul de reglare *FC2* cu servomotor electric are în componență o valvă proporțională de tip *Burkert 6024* pentru căderi de presiune mici și un controler digital de tip *Burkert 8605*.

Ca urmare a calibrării obținută în urma efectuării a 5 familii de teste experimentale a fost obținută caracteristica reală cu histerezis ilustră în figura 4.6 (deschidere culoare verde, închidere culoare albastră).

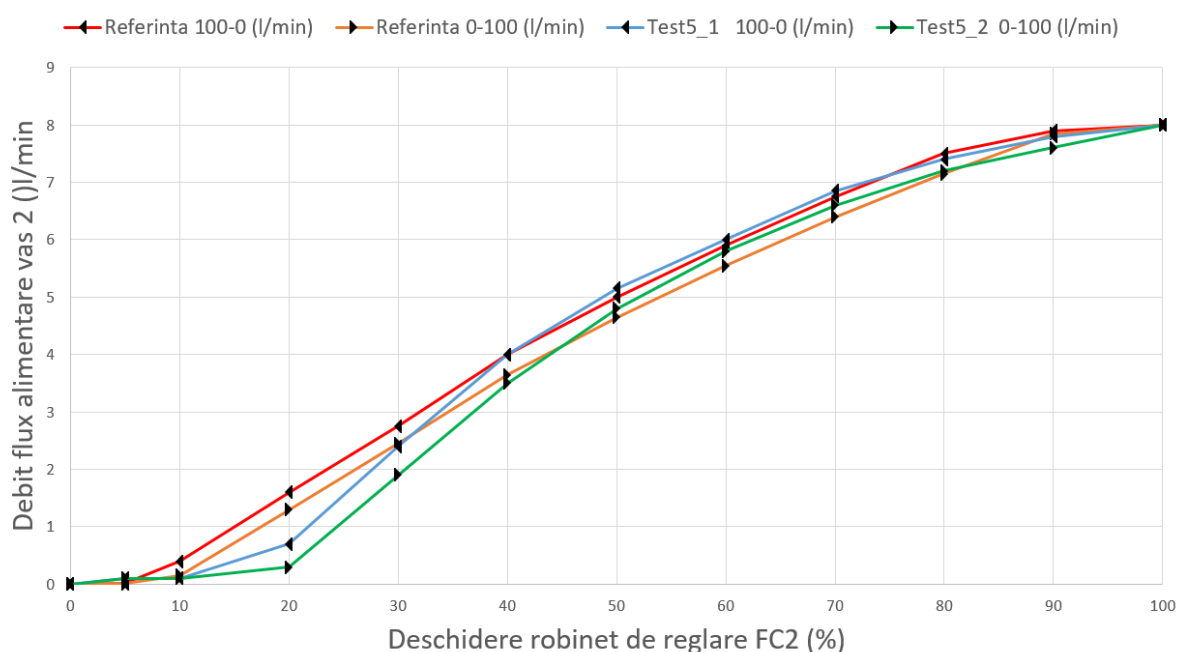


Figura 4.3 Caracteristicile statice ale robinetului de reglare *FC2* obținute din setul de *Teste 5*.

#### 4.2.1.2. Calibrarea traductorului de nivel *LT2*

Traductorul de nivel *LT2*, din cadrul aceleiași platforme, funcționează pe baza presiunii hidrostatice a unei coloane de lichid. Conform documentației *ASTANK* [43], expresia liniară care corespunde dependenței valorii nivelului din vas ( $H_{LT2}$ ) de datele numerice afișate de traductor ( $N_{LT2}$ ) este următoarea:

$$H_{LT2} = a * N_{LT2} + b \quad (4.1)$$



în care  $H_{LT2}$  reprezintă nivelul în cm iar  $N_{LT2}$  numărul de unități *CAN* asociat acestui nivel.

Determinarea coeficienților  $a$  și  $b$  s-a realizat prin regresie liniară, care a presupus definirea funcției Matlab® *calcul\_coeficienti()* bazată pe metoda celor mai mici pătrate [88],

#### 4.2.1.3. Configurarea automatului programabil

Pentru a putea asigura reglarea procesului de acumulare a fost necesară configurarea automatului programabil (*PLC Siemens Simatic ST1200*) în aplicația *TIA Portal*<sup>6</sup>.

### 4.2.2. Implementarea reglării automate a nivelului în vasul 2 al platformei *ASTANK*

Acest subcapitol este consacrat prezentării implementării sistemului de reglare automată a nivelului în vasul *V2* al platformei *ASTANK*. După detalierea configurării acestui *SRA*, o secțiune importantă este dedicată acordării regulatorului de nivel. S-a optat pentru criteriul experimental *Chien – Freuhauf* [28]. Pornind de la identificarea procesului acesta oferă valori pentru parametrii de acordare a regulatorului *Proportional Integrator (PI)*. Ultima secțiune a subcapitolului prezintă o metodă propusă de autor pentru determinarea valorilor optime ale parametrilor de acordare aferenți regulatorului *PI* care minimizează durata regimului tranzitoriu al *SRA*. Capitolul se încheie cu prezentarea rezultatelor unui test al funcționării *SRA* în regim de urmărire.

#### 4.2.2.1. Configurarea sistemului de reglare automată

Sistemul de reglare automată a nivelului, care va fi analizat în cele ce urmează a fost integrat cu elementele prezentate în subcapitolele anterioare.

După cum rezultă din figura 4.15 în care este prezentată schema de principiu a *SRA Nivel*, acesta asigură reglarea după abatere a nivelului  $H_{LT2}$  în vasul *V2*, utilizând ca mărime de execuție debitul  $Q_{i1}$  de refulare a pompei *P*. În ceea ce privește perturbațiile, acestea sunt constituite din debitul de evacuare prin curgere gravitațională  $Q_e$  și din debitul de refulare  $Q_{i2}$  al pompei  $P_1$ . În capitolul 3 a fost pe larg analizat procesul de acumulare a unui lichid într-un vas din care evacuarea are loc prin curgere gravitațională.

---

<sup>6</sup> *TIA Portal* (Totally Integrated Automation Portal) - aplicație ce oferă facilități de programare și integrare a echipamentelor Siemens

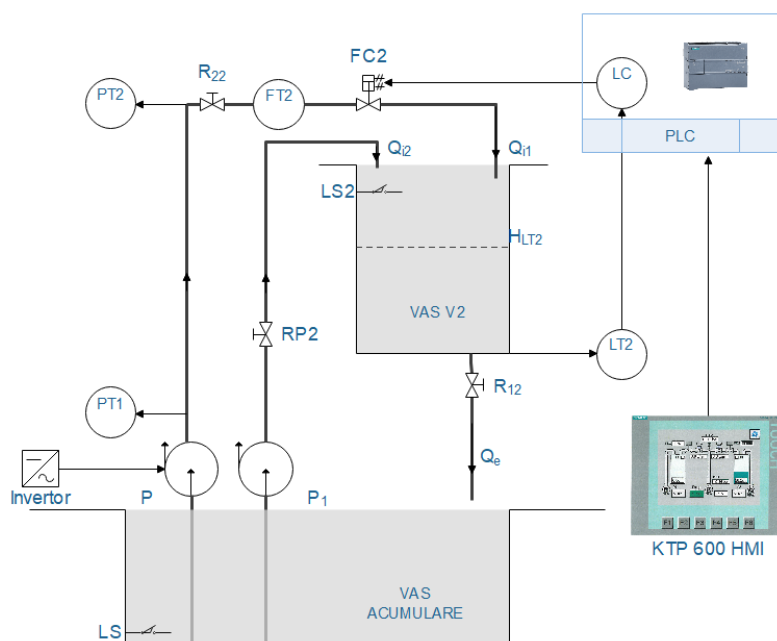


Figura 4.4 Structura sistemului de reglare automată a nivelului implementat pe platforma *ASTANK*.

În cele ce urmează se prezintă acordarea regulatorului de nivel și testarea *SRA* nivel în regim de urmărire.

#### 4.2.2.2. Acordarea experimentală a regulatorului

În teza de doctorat s-a realizat acordarea regulatorului *PI* aferent *SRA* nivel apelând la criteriul *Chien și Fruehauf* [43][28][106].

O primă etapă în realizarea acordării a constat în determinarea prin identificare a modelului matematic pentru procesul de acumulare a lichidului din vasul *V2* al platformei *ASTANK*.

Factorul de amplificare al procesului *K* s-a determinat în baza variațiilor de nivel  $\Delta H_{LT2}$ , respectiv de debit  $\Delta Q_{FC2}$ .

$$K = \frac{\Delta H_{LT2}[\%]}{\Delta Q_{FC2}[\%]} = \frac{15.75}{10} = 1.575. \quad (4.2)$$

Durata regimului tranzitoriu al procesului se determină pornind de la constanta de timp  $\tau$ , identificată prin aplicarea unei comenzi de tip treaptă debitului de intrare, cu relația de mai jos recomandată în referința [66]:

$$T_{tr} = 4\tau = 4 \cdot 113 = 452s. \quad (4.3)$$

Cu valorile rezultate prin identificare pentru parametrii de acordare ai regulatorului *PI* implementat în *PLC*, se obțin valorile:

$$K_p = \frac{\tau + \frac{\theta}{2}}{K(\tau_c + \frac{\theta}{2})} = \frac{113 + \frac{2}{2}}{1.575(\tau_c + \frac{2}{2})} = \frac{114}{1.575(\tau_c + 1)}; \quad (4.4)$$

$$T_i = \tau = 113s. \quad (4.5)$$

unde  $\tau_c$  este parametru de proiectare conform referinței [106].

#### 4.2.2.3. Testarea performanțelor sistemului de reglare automată a nivelului

După cum rezultă din relația (4.14), constanta de proporționalitate  $K_p$  depinde de parametrul de proiectare  $\tau_c$  care la rândul său influențează durata regimului tranzitoriu aferent SRA [106].

În teză s-a propus o extindere a metodei *Chien și Freuhaus* prin determinarea optimă a parametrilor de acordare prin încercări, criteriul de performanță fiind reprezentat de minimizarea duratei regimului tranzitoriu al SRA în buclă închisă.

Pentru început s-au determinat valori ale constantei de proporționalitate  $K_p$  pentru mai multe valori ale parametrului  $\tau_c$ .

Inițial, s-a ales o valoare mică pentru parametrul  $\tau_c$  a sistemului cu buclă închisă, respectiv  $\tau_c = 1$ , crescându-se treptat și înregistrând rezultatele testelor.

Pentru valoare  $\tau_c = 18$  a parametrului  $\tau_c$  se obține pentru SRA răspunsul în timp evidențiat în figura 4.19. Din această figură rezultă că în afară de scăderea duratei regimului tranzitoriu, a fost diminuat și comportamentul agresiv al regulatorului.

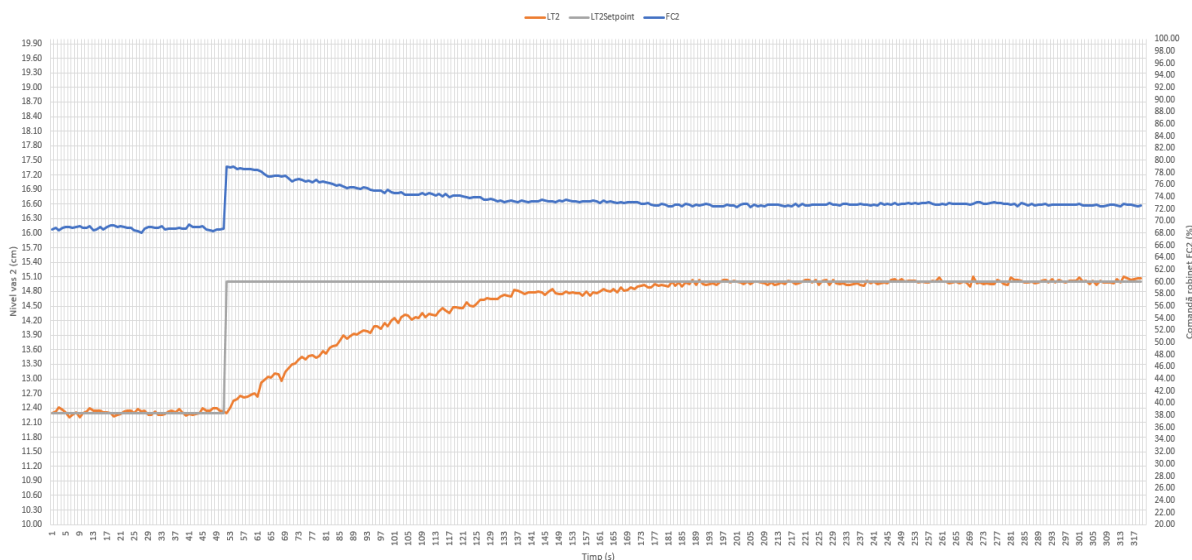


Figura 4.5 Răspunsul procesului la modificarea referinței pentru un regulator cu  $\tau_c=18$ .

Al doilea pas în ceea ce privește acordarea optimă este reprezentat de alegerea constantei de integrare  $T_i$ , care de asemenea asigură o durată a regimului tranzitoriu minimă în condițiile păstrării pentru  $K_p$  a valorii determinată în pasul anterior, respectiv  $k_p = 3.8$ .

În acest sens a fost utilizat metoda de eliminare unidimensională, așa cum este descrisă în referința [89]. Principial, această metodă presupune la început alegerea apriorică a intervalului ce conține optimul, respectiv  $T_i \in [x, 113]$ . Valoarea superioară a intervalului este corespunzătoare coeficientului de integrare calculat, pentru care este determinat timpul tranzitoriu. Valoarea numerică inferioară a intervalului, respectiv  $x$  corespunde situației la care mărimea reglată nu mai prezintă oscilații.

Procesul de căutare a valorii  $T_i$  care minimizează durata regimului tranzitoriu este iterativ, la fiecare iterație înjumătățindu-se intervalul de căutare.

La finalizarea testelor a rezultat că intervalul  $[88.28, 91.81]$  secunde conține valoarea optimă a constantei de integrare  $T_i$ , întrucât în următorul interval durata regimului tranzitoriu începe să crească. A fost aleasă valoarea  $T_i = 90$  secunde care corespunde jumătății acestui interval.

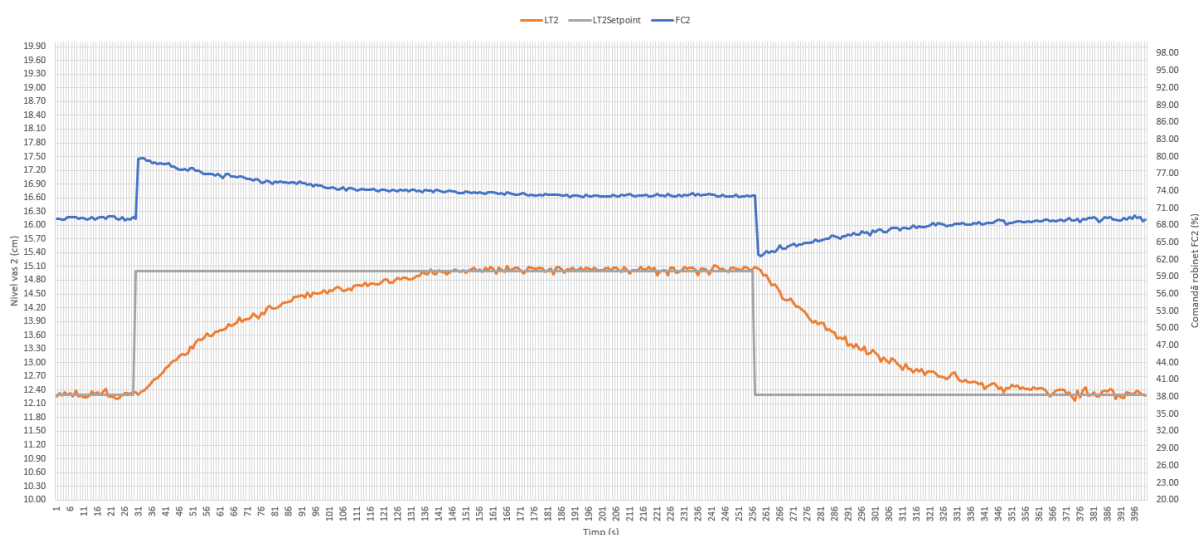


Figura 4.6 Variația mărimii reglate și a comenzii pentru regulatorul acordat optimal cu  $K_p = 3.8$  și  $T_i = 90$  secunde.

Cu parametrii de acordare astfel determinați, respectiv  $K_p = 3.8$  și  $T_i = 90$  secunde a fost testată comportarea sistemului de reglare automată a nivelului în regim de urmărire, referința modificându-se succesiv sub formă de treaptă de la 12.3 cm la 15 cm și apoi de la 15 cm la 12.3 cm. Din examinarea figurii 4.24 rezultă răspunsul aperiodic al SRA, fără a fi pus în evidență un suprareglaj a mărimii reglate.

### 4.3. Implementarea nivelului 2 folosind o rețea de noduri wireless cu tehnologie *LoRa*

Având în vedere capacitatea limitată a memoriei *PLC*-ului din platforma *ASTANK* pentru a memora volume mari de date achiziționate în timp real se impune necesitatea stocării acestora

în baze de date care pot fi de exemplu locați în *Cloud*<sup>7</sup>. Figura 4.25 prezintă structura principală propusă de autor pentru realizarea acestui deziderat.

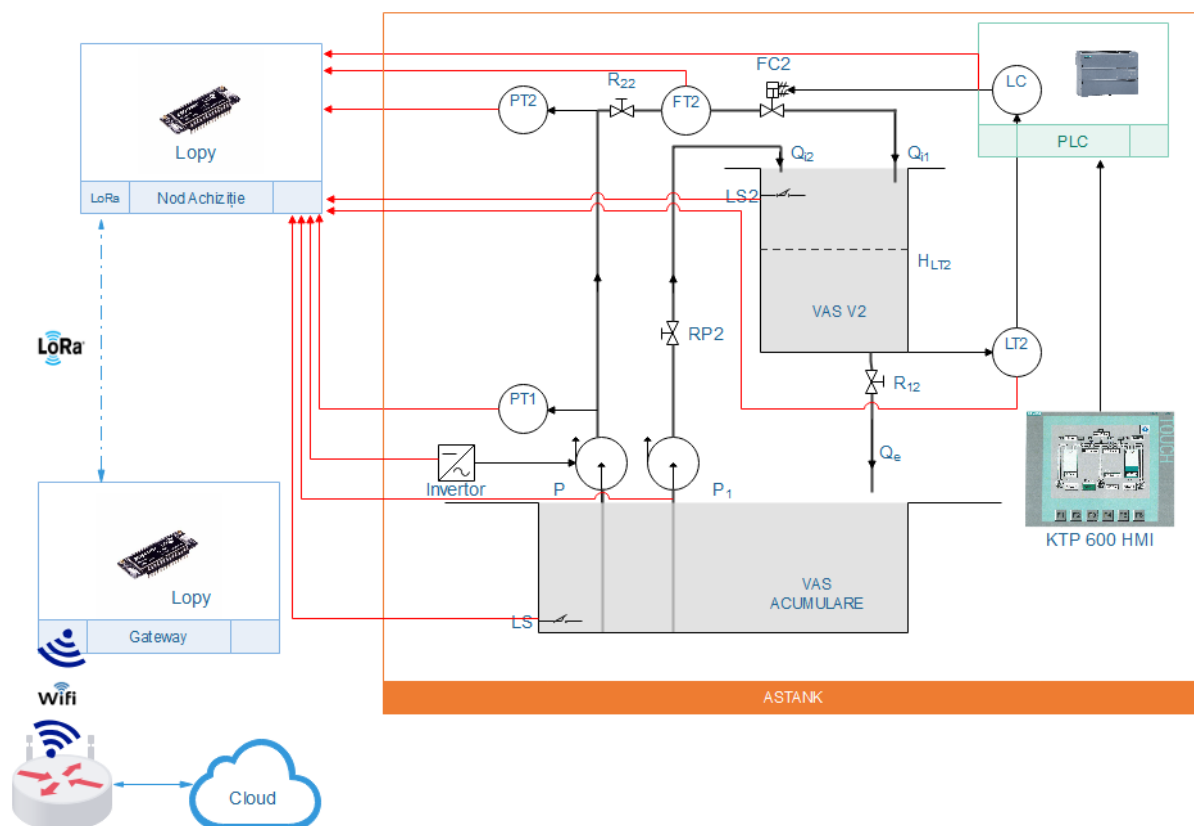


Figura 4.7 Structura principală a sistemului de transmitere în *Cloud* a datelor achiziționate.

După cum reiese din această figură, traductoarele pentru parametrii din proces transmit semnale la un microcontroler *LoPy* [44] (ale căror caracteristici au fost prezentate în capitolul 1 al prezentei teze de doctorat).

Practic acest microcontroler la care sunt conectați senzorii implementează un nod wireless iar mai multe noduri formează o rețea *LoRa* (care va fi prezentată în următorul paragraf). Este de menționat faptul că mai multe noduri sunt conectate la un concentrator (*Gateway*) implementat tot cu microcontrolerul *LoPy*.

În subcapitolul 4.3.1 s-a realizat configurarea microcontrolerului *LoPy* pentru o conexiune WiFi, iar în subcapitolul 4.3.2 configurarea microcontrolerului *LoPy* pentru o conexiune *LoRa*

<sup>7</sup> În capitolul 2 noțiunea *Cloud* a fost definită ca fiind posibilitatea de procesare în cadrul unor resurse care nu se află acolo unde este utilizatorul, dar care pot fi accesate prin Internet.

#### 4.4. Implementarea nivelului 3 folosind infrastructura *The Things Network* (TTN)

După cum rezultă din figura 4.1 în care este prezentată structura sistemului automat ierarhic de monitorizare (*SAIM*) dezvoltat și implementat de către autor, nivelul 3 este asociat Platformei *Cloud* de management *WSN* (*Wireless Sensor Network*), acest nivel asigurând pe lângă managementul rețelei de senzori wireless și conversia în unități ingineresti a datelor achiziționate de la acești senzori.

Pentru implementarea managementului *WSN* s-a apelat la facilitățile oferite de platforma *Cloud The Things Network* [59].

Figura 4.30 conține arhitectura standard implementată de autor în cadrul *SAIM* pentru transmiterea datelor de la nodurile de senzori la serverul de aplicație.

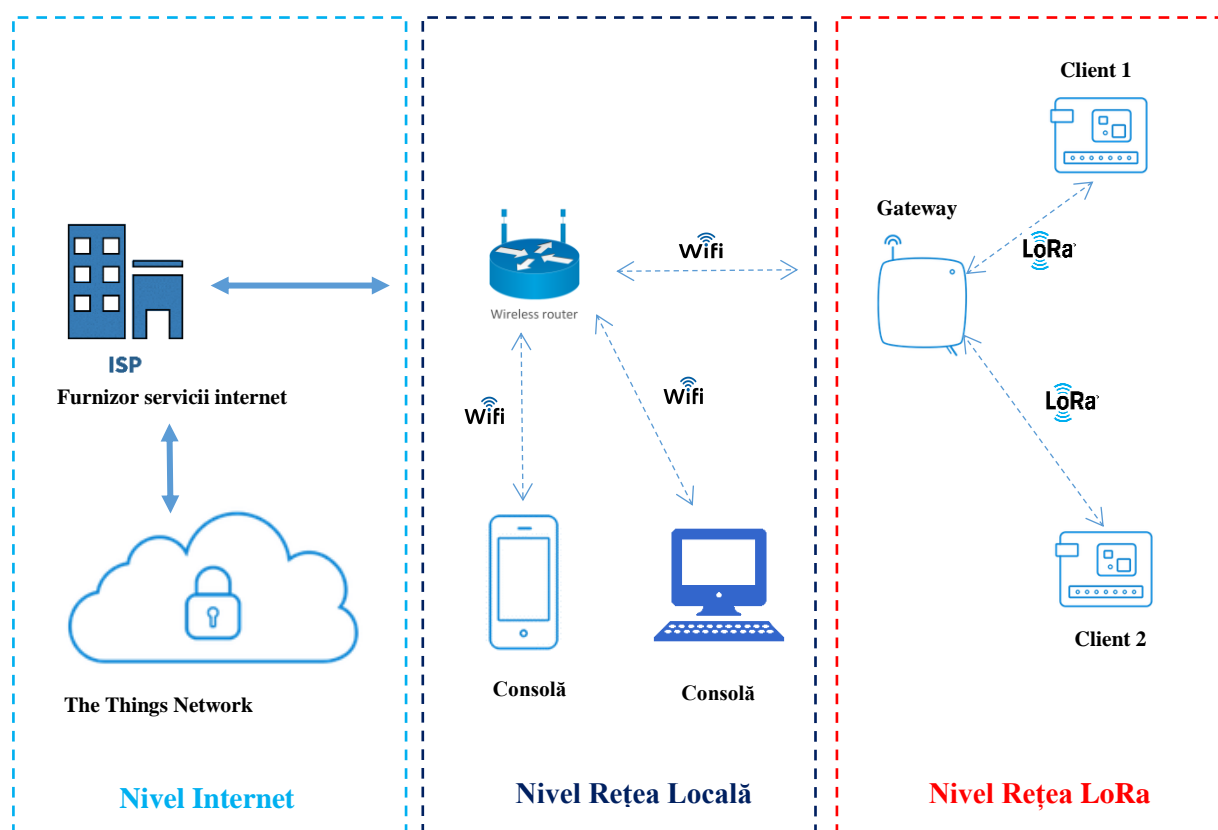


Figura 4.8 Arhitectura implementată în cadrul *SAIM* a rețelei pentru conexiunea la infrastructura *TTN*.

După cum s-a menționat anterior, nivelul Rețea *LoRa* conține clienți și concentratoare (*Gateway*) implementate cu  $\mu C$  *LoPy* configurate adecvat.

În ceea ce privește nivelul *Rețea locală*, acesta un nivel de tranziție care include echipamente standard (respectiv router și diapositive client).

Referitor la nivelul *Internet* acesta realizează conexiunea între rețeaua locală și infrastructura *TTN*. Pentru conectarea la *Serverul de aplicație* (din cadrul *TTN*), aferent nivelului *Internet*, a fost configurată în cadrul interfeței ilustrate în figura 4.31 o aplicație care permite gestiunea nodurilor wireless.

Alte facilități oferite de acest nivel, respectiv nivelul 3, sunt reprezentate de: posibilitatea adăugării de noduri (clienți) noi, reconfigurarea nodurilor existente, definirea cheilor de acces, formatarea datelor transferate, integrarea cu alte platforme *Cloud*, vizualizarea datelor transferate.

#### 4.4.1. Tipuri de date furnizate de componentele platformei *ASTANK*

Deoarece în cadrul nivelului 3 se realizează și procesarea datelor achiziționate de senzori (traductoare), în cele ce urmează sunt descrise tipurile de date furnizate de componentele platformei *ASTANK*.

Principalele structuri de date utilizate de *PLC*-ul configurat în cadrul platformei *ASTANK*, pe care s-a desfășurat o parte semnificativă a cercetărilor descrise în prezenta teză de doctorat, sunt următoarele [43]: intrări ale procesului (*Process Input*) – notație: *I*; ieșiri ale procesului (*Process Output*) – notație: *Q*; biți de memorie (*Memory Bit*) – notație: *M*; blocuri de date (*Data Block*) – notație: *DB*; date locale (*Local Data*) – notație: *L*.

#### 4.4.2. Achiziția datelor din proces

Semnalele purtătoare de date furnizate de traductoarele sunt aplicate  $\mu C$  *LoPy* care dispune de facilități de conectare descrise în referința [44]. Așa cum s-a indicat,  $\mu C$  *LoPy* împreună cu senzorii (traductoarele) care se conectează formează un nod wireless.

##### Observație:

În continuare, când se va vorbi de achiziția datelor analogice, respectiv numerice se va avea în vedere semnale care transferă date de această natură.

Pentru achiziția *datelor digitale* se pot utiliza intrările digitale ale  $\mu C$  *LoPy*, iar pentru *datele analogice* intrările care sunt conectate la convertorul analogic numeric (*CAN*) al  $\mu C$  *LoPy* după cum se poate observa în figura 4.36. În ambele cazuri se pune problema prelucrării primare a datelor achiziționate. Având în vedere că semnalele generate de traductoarele din proces pot fi însoțite de zgomote și sunt caracterizate de tensiuni mari (10V sau 24V) față de nivelul acceptat de microcontroler (respectiv 3.3V), sunt necesare operații de prelucrare primară a datelor cum ar fi cele de *filtrare* și *atenuare* [83].

Pentru a putea prelua datele aferente procesului de acumulare a unui lichid în vasul V2 (tabelul 4-11) a fost realizată o placă de achiziție a cărei imagine se prezintă în figura 4.40, care

include următoarele componente: microcontroler *LoPy* (1) cu antenă *LoRa* (2), modul de alimentare (3), circuite de filtrare (4) și circuite de atenuare (5).

După cum s-a menționat în prima secțiune a prezentului capitol, această placă de achiziție implementează practic nodul wireless din figura 4.25. Intrările în acest nod sunt reprezentate de semnalele de la traductoare iar ieșirea de un semnal radio care se transmite prin antenă la un mod *Gateway* implementat tot cu  $\mu C$  *LoPy*.

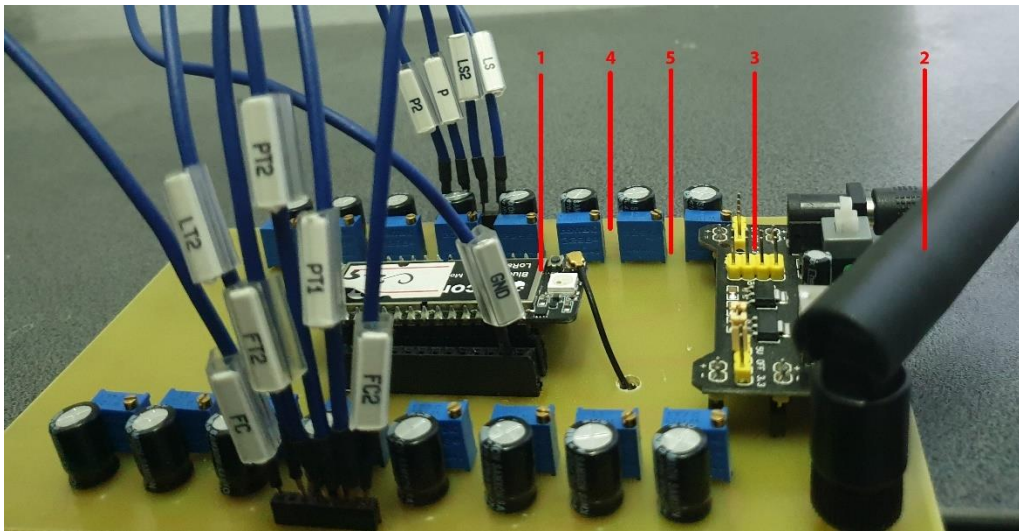


Figura 4.9 Placa de achiziție a datelor din proces.

#### 4.4.3. Transmisia datelor achiziționate către infrastructura TTN

Prin procesul de achiziție, în cadrul unui nod wireless se obțin valori numerice corespunzătoare unui parametru exprimate în unități *CAN* ( $U_{CAN}$ ). Pentru putea a fi transmise către infrastructura *The Things Network* (TTN) a fost necesară conversia acestor date în șiruri de octeți.

Următoarea etapă aferentă transmiterii datelor achiziționate către infrastructura TTN a constat în integrarea datelor primite de la nodurile wireless în această infrastructură. Această integrare se poate face prin:

- memorarea temporară a datelor procesate într-o bază de date ilustrată în figura 4.47;
- trimiterea acestora către un server *HTTP*<sup>8</sup> în vederea unei procesări suplimentară a acestora prin intermediul unui serviciu *IoT* specializat cum ar fi: *Cayenne*, *OpenSensors*, *Ubidots*, *Microsoft Azure*, *Amazon Web Services*.

---

<sup>8</sup> Server HTTP - Hyper Text Transfer Protocol – serviciu destinat prezentării informațiilor într-o formă structurată



## 4.5. Implementarea nivelului 4 prin intermediul Cloud-ului Amazon Web Services

După cum s-a arătat în subcapitolul 4.1, nivelul 4 al sistemului ierarhic de monitorizare dezvoltat este destinat implementării funcționalităților *Cloud* în ceea ce privește comunicarea și memorarea. Pentru implementarea acestui nivel s-a optat pentru facilitățile oferite de Cloud-ul *Amazon Web Services (AWS)* [32].

Pentru integrarea cu *Amazon Web Services* au fost rezolvate problemele de comunicație între diversele niveluri ale sistemului ierarhic de monitorizare. Este de menționat faptul că este necesar să se păstreze conexiunea cu infrastructura *TTN* deoarece aceasta asigură un management al resurselor mai bun și furnizează securitate suplimentară rețelei *LoRa*.

### 4.5.1. Achiziția datelor cu aplicația *AWS IoT Core*

Prima etapă a implementării nivelului 4 al *SAIM* a avut în vedere replicarea nodurilor wireless în *Cloud*-ul *AWS*. Replicarea presupus generarea unui nod virtual care emulează nodurile reale din rețeaua *LoRa* (nivel 2 al *SAIM*). Această replicare a presupus parcurgerea următorilor pași:

- *P1* - crearea unor stive dedicate;
- *P2* - configurarea unui serviciu *Internet of Things*;
- *P3* - stocarea datelor.

În ceea ce privește comunicarea prin mesaje între infrastructurile *TTN* și *AWS*, aceasta se poate realiza prin mesaje de tip *UPLINK* (comunicația de la rețeaua *TTN* la *AWS*), respectiv mesaje de tip *DOWNLINK* (comunicația de la *AWS* la *TTN*). Comunicația se realizează prin intermediul protocolului *MQTT (MQ Telemetry Transport - un protocol de comunicație mașină la mașină pentru IoT)*.

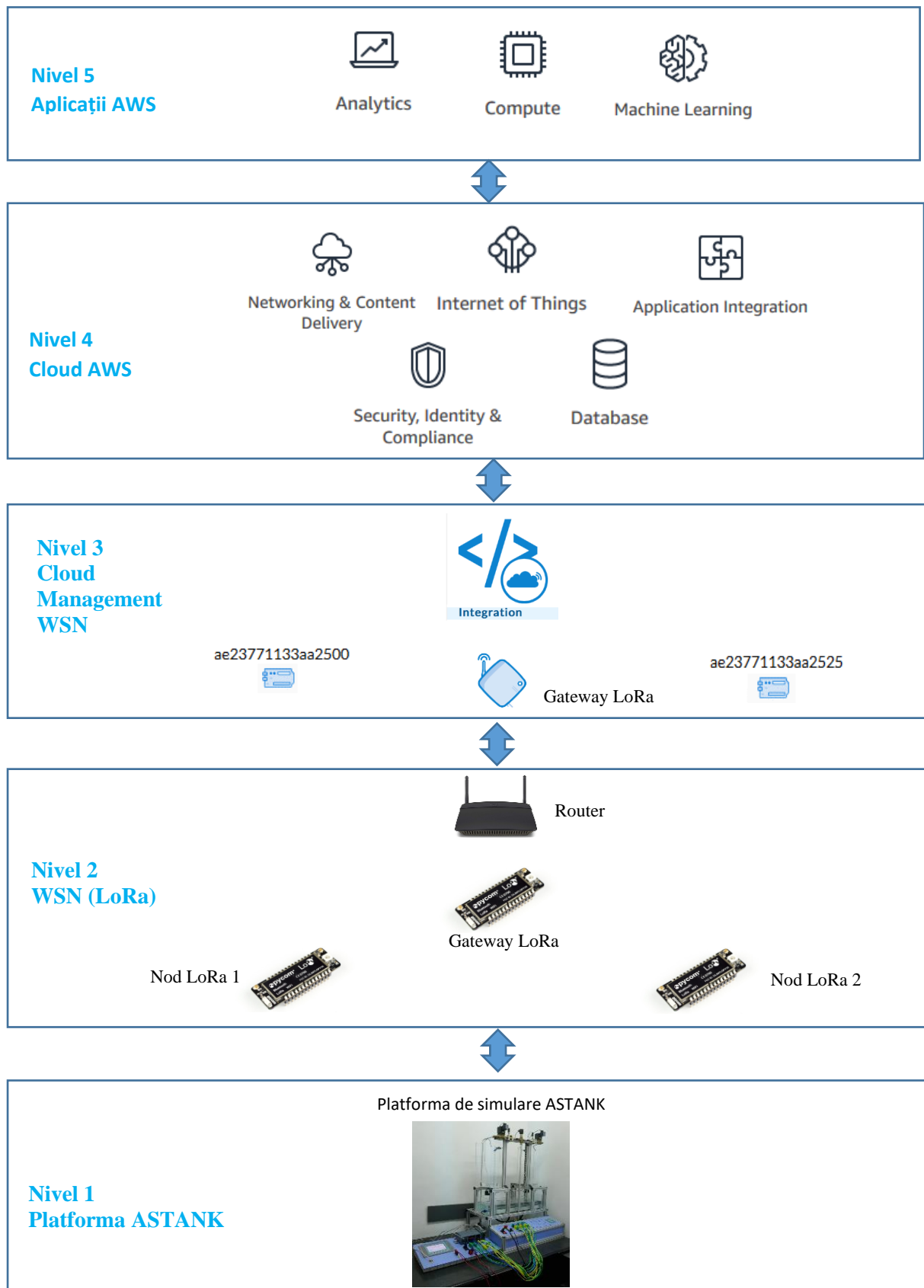


Figura 4.10 Fluxul de comunicație bidirecțională de la proces la servere *Cloud*.

#### 4.5.2. Prelucrarea datelor recepționate cu aplicația *AWS IoT Analytics*

A doua etapă aferentă implementării nivelului 4 al sistemului automat ierarhic de monitorizare (*SAIM*) a presupus prelucrarea datelor provenite de la *IoT Core* din *Cloud-ul Amazon Web Services (AWS)*, simultan cu înscrierea în baza de date *DynamoDB* prezentată anterior.

În cadrul serviciului *AWS IoT Analytics* pot fi realizate operații de *procesare, filtrare, îmbunătățire, transformare, stocare și analiză a datelor*. Aceste operații au fost implementate prin intermediul modulelor *pal\_channel*, *pal\_pipeline*, *pal\_datastore* și *pal\_dataset*, ilustrate în figura 4.58.

Toate datele provenite de la nodurile *IoT* replicate în *AWS IOT* sunt preluate de *AWS IoT Core* și redirecționate către canale (*Channels*) de distribuție, respectiv *pal\_channel*. Aceste canale au rolul de a colecta datele din mai multe surse (topics-uri *MQTT* sau baze de date) și de a le transmite mai departe către un set de linii de procesare *pal\_pipeline* (*Pipelines* conform referinței [8]).

Între prelucrările (numite activități) efectuate de *Pipelines* pot fi enumerate *filtrarea mesajelor, transformarea mesajelor, îmbogățirea mesajelor și preprocesarea personalizată* [8].

Informațiile aflate într-un *DataSet* pot fi utilizate, de exemplu, pentru analize suplimentare cu algoritmi de tip *Machine Learning* sau pot fi afișate cu ajutorul unor module de vizualizare. În următorul subcapitol se prezintă utilizarea datelor din setul de date *pal\_dataset* în cadrul unui algoritm de tip *Machine Learning*.

Pentru vizualizarea datelor dintr-un *DataSet* se utilizează facilitatea *QuickSight* a *AWS*. Cu titlu de exemplu, pentru procesul de acumulare lichid din vasul *V2* al platformei *ASTANK*, în figura 4.61 este prezentat răspunsul *SRA Nivel* descris în subcapitolul 4.2, la modificări ale referinței (*regim urmărire*) și a perturbației reprezentate de debitul  $Q_{i2}$  (*regim stabilizare*).

Din figura 4.61 reiese funcționarea corectă a *SRA Nivel* la modificarea referinței, aspect pus în evidență și la analiza acestui *SRA* efectuată în cadrul nivelului 1 a sistemului automat ierarhic de monitorizare (*SAIM*).

Zona marcată cu dreptunghi albastru corespunde duratei de funcționare a pompei *P2* din figura 4.25. La pornirea acestei pompe există o treaptă pozitivă a debitului  $Q_{i2}$  iar la oprirea pompei, o treaptă negativă a acestui debit. Graficul mărimii reglate din figura 4.61 (culoare verde) ilustrează apariția unor erori la modificarea debitului  $Q_{i2}$ , erori care sunt eliminate, nivelul revenind la valoarea de referință (culoare portocalie din figura 4.61).

Este de menționat faptul că obținerea prelucrărilor ilustrate în figura 4.61 a necesitat și achiziția și a mărimii de comandă transmisă de regulatorul de nivel *LC*, implementat în *PLC* către elementul de execuție *FC2*. În figura 4.61 variația comenzii este reprezentată prin culoarea albastră, în partea superioară a acestei figuri.

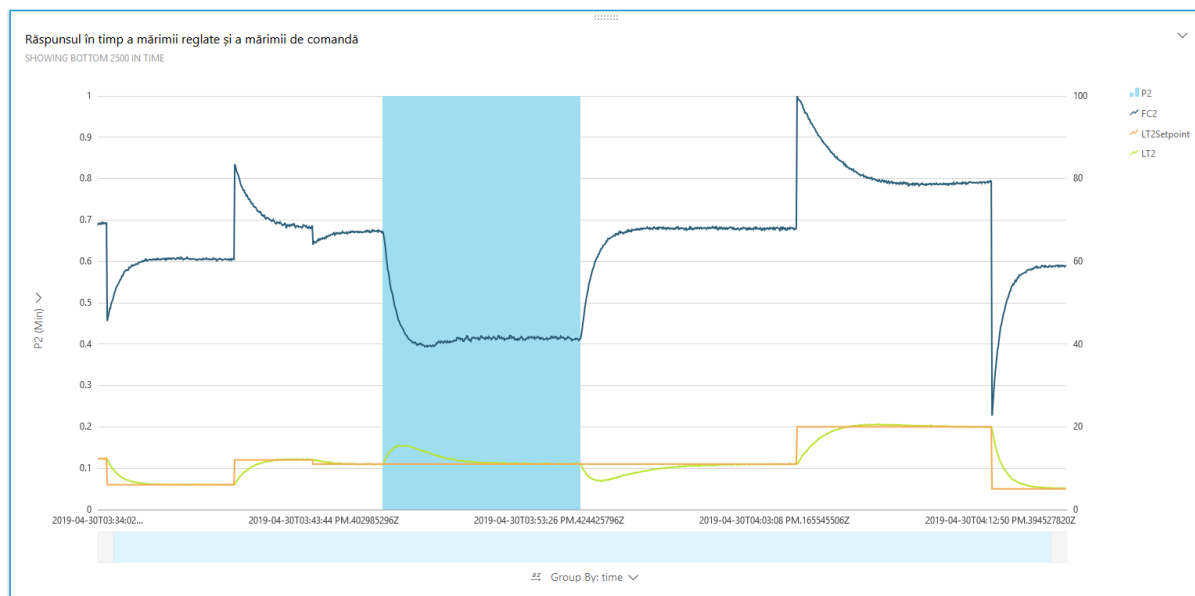


Figura 4.11 Vizualizarea în *AWS QuickSight* a variației în timp a mărimilor aferente *SRA Nivel* de pe platforma *ASTANK*: culoare albastră – variația comenzii; culoare verde – variația nivelului; culoare portocalie – variația referinței; dreptunghi albastru – pompa *P2* în funcțiune.

#### 4.6. Implementarea nivelului 5 folosind serviciul *Amazon SageMaker*

După cum s-a indicat în subcapitolul 4.1, nivelul 5 al sistemului automat ierarhic de monitorizare *SAIM* dezvoltat este destinat în primul rând implementării pe baza unei aplicații dezvoltate de autor care privește predicția evoluției unor mărimi din proces. Această predicție este realizată folosind algoritmi de *Machine Learning* implementați prin serviciul *AWS SageMaker* [17].

Această aplicație de predicție este în conexiune cu aplicațiile dezvoltate referitoare la: *filtrare, vizualizare, raportare statistică*.

Cazul concret tratat se referă la predicția valorilor pentru nivelul reglat în vasul *V2* al platformei *ASTANK* pe un orizont de timp de aproximativ 20 de minute.

În afară de predicții, algoritmi de *Machine Learning* mai pot fi implicați în realizarea unor funcții cum ar fi: *adăugare de date suplimentare de tip context pentru echipamente industriale, identificarea și predicția eventualelor defecțiuni ale echipamentelor pe baza*

*modului de funcționare curentă și a altor date de stare, identificarea funcționării anormale a unor echipamente.*

Pentru a utiliza modulul *AWS SageMaker* trebuie parcurse următoarele etape [17]:

- *E1* - crearea unei instanțe de tip “*notebook*”;
- *E2* - pregătirea datelor printr-o prelucrare suplimentară;
- *E3* - pregătirea seturilor de date pentru antrenare algoritmului;
- *E4* - antrenarea algoritmului pe baza seturilor de date de antrenare;
- *E5* - evaluarea performanțelor algoritmului pe baza seturilor de date de testare,

etape care vor fi tratate în continuare.

#### **4.6.1. Crearea unei instanțe de tip “notebook”**

**Prima etapă – E1** a presupus inițializarea unei instanțe de tip *notebook Jupyter* în cadrul serviciului *Amazon SageMaker*.

Toate informațiile necesare generării predicției sunt salvate în notebook-ul *ML-PAL*. Acest notebook permite crearea și gestionarea de documente care pot conține cod sursă, ecuații și alte forme de reprezentare a datelor. Pentru implementarea aplicațiilor referitoare la: *raportări statistice, prelucrarea datelor și predicții* a fost utilizat limbajul de programare *Python*.

#### **4.6.2. Pregătirea datelor printr-o prelucrare suplimentară**

**A doua etapă - E2** a presupus prelucrarea suplimentară datelor existente în setul de date, respectiv generarea unui fișier *CSV*<sup>9</sup> din setul de date *pal\_dataset*. Pentru a păstra o structură simplă a datelor s-au utilizat din setul *pal\_dataset* câmpurile *app\_id*, *payload\_fields* și câmpul *time* din secțiunea *metadata*.

După prelucrarea datelor, a fost creată în *AWS SageMaker*, utilizând codul *Python* prezentat în figura 4.64, o zonă de memorare de tip *Amazon bucket*<sup>10</sup>.

Pentru a ilustra utilizarea datele prelucrate au fost implementate funcții care se referă la *analize statistice și predicții*.

În figura 4.66 sunt prezentate o serie de funcții statistice realizate asupra datelor. Aceste funcții pot încadra: *determinarea de valori medii, minime sau maxime sau gruparea datelor după anumite criterii*.

---

<sup>9</sup> CSV (Comma separated values) – texte delimitate printr-un separator

<sup>10</sup> Amazon Bucket este o resursă de stocare online care memorează datele asemănător unei structuri ierarhice de directoare și fișiere

	P	P2	FC	FC2	LT2	FT2	PT1	PT2	LT2Setpoint	Auto
count	17046.0	17046.0	17046.0	17046.000000	17046.000000	17046.000000	17046.000000	17046.000000	17046.000000	17046.0
mean	1.0	0.0	80.0	71.622486	13.360267	6.519025	0.534498	0.402345	13.390948	1.0
std	0.0	0.0	0.0	7.410497	3.845613	0.581758	0.031723	0.036914	3.979536	0.0
min	1.0	0.0	80.0	43.410000	4.940000	4.020000	0.450000	0.300000	5.000000	1.0
25%	1.0	0.0	80.0	66.120000	10.100000	6.120000	0.510000	0.380000	10.000000	1.0
50%	1.0	0.0	80.0	71.600000	13.000000	6.530000	0.540000	0.400000	13.000000	1.0
75%	1.0	0.0	80.0	76.600000	15.230000	6.960000	0.560000	0.430000	15.000000	1.0
max	1.0	0.0	80.0	100.000000	20.400000	8.010000	0.650000	0.530000	20.000000	1.0

 Figura 4.12 Aplicarea unor funcții statistice de descriere a datelor din fișierul *CSV*.

Utilizarea modelelor de predicție presupune un studiu efectuat asupra datele preluate. Studiul se poate realiza prin intermediul unor analize exploratorii a datelor, în figura 4.67 fiind prezentată matricea de corelație între mărimile asociate *PAL*, matrice utilă la identificarea eventualelor legături dintre date.

	FC2	LT2	FT2	PT1	PT2	LT2Setpoint
FC2	1.0	0.789	0.982	-0.989	-0.989	0.933
LT2	0.789	1.0	0.82	-0.826	-0.822	0.952
FT2	0.982	0.82	1.0	-0.989	-0.988	0.942
PT1	-0.989	-0.826	-0.989	1.0	0.991	-0.95
PT2	-0.989	-0.822	-0.988	0.991	1.0	-0.947
LT2Setpoint	0.933	0.952	0.942	-0.95	-0.947	1.0

Figura 4.13 Matricea de corelație pentru mărimile variabile în timp.

În matricea de corelație, o corelare *foarte bună* există între datele care au indici mai mari de 0.9, respectiv cele situate în locații colorate verde închis. Dintre acești indici se exclud cei situați pe diagonala principală, întrucât sunt asociați corelării unor variabile identice (de exemplu: *FC2-FC2*, *LT2-LT2*, *FT2-FT2* etc.), care au indice de corelație unitar.

În acest sens datele situate în locații colorate cu verde deschis (indici de corelație pozitivi, dar mai mici de 0.9) pot fi considerate ca date cu corelație *bună*.

Datele cu indici de corelație negativi sunt date *necorelate*, necorelarea fiind justificată și de argumente de natură fizică.

În cadrul aplicațiilor implementate au fost utilizate date cu corelație foarte bună și bună.

Referitor la reprezentarea datelor achiziționate, a fost generat graficul din figura 4.69, asociat variațiilor în timp pentru mărimea de comandă și mărimea reglată, pentru *SRA Nivel* din vasul *V2*. Pentru generarea graficelor a fost dezvoltat în limbaj Python, este de menționat

faptul că aceste grafice au fost generate pe baza celor peste 17000 de înregistrări stocate în setul de date *pal\_dataset*.

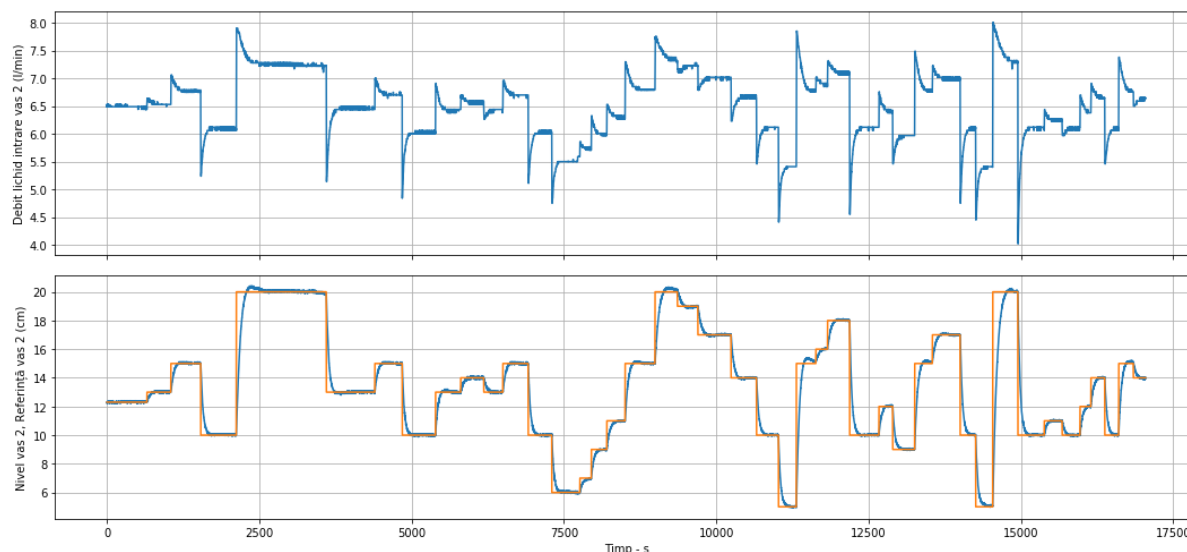


Figura 4.14 Ilustrarea graficelor pentru variația în timp a mărimii reglate (jos - culoare albastră), referință (jos - culoare portocalie) și comandă (sus - culoare albastră).

Următorul pas în cadrul etapei de procesare suplimentară a datelor a fost cel consacrat studiului distribuțiilor valorilor *mărimii de comandă* și respectiv a valorilor *mărimii reglate* funcție de valorile *referinței*.

Acest studiu a fost realizat prin intermediul diagramelor de tip *Box Plot*. În general, o astfel de diagramă descrie caracteristicile unei mulțimi de date referitoare la: *simetrie*, *împrăștiere* și *centru*. În plus, o asemenea diagramă oferă și posibilitatea identificării unor valori aberante (respectiv a celor situate în afara valorilor obișnuite pentru o anumită mărime).

#### 4.6.3. Pregătirea seturilor de date pentru antrenarea algoritmului

**Etapa a treia – E3** a fost reprezentată de antrenarea algoritmului de *Machine Learning* – *Linear Learner*. În acest scop a fost utilizat un set de 17000 de date preluate de la platforma *ASTANK*, date asociate nivelului în vasul *V2*. Pentru început s-a efectuat separarea datelor preluate în două structuri de date și anume: *structura datelor de învățare* și *structura datelor de test*.

Din investigațiile bibliografice [3] a rezultat că Algoritmul *Linear Learner* realizează o estimare în cadrul unor taskuri de *clasificare* (binară sau multiplă) sau în cadrul unor taskuri de *regresie*. Aplicația dezvoltată s-a bazat pe taskuri de *regresie*.

După separarea datelor și alegerea algoritmului *Linear Learner* a fost necesară configurarea estimatorului bazat pe taskuri de *regresie*.

#### 4.6.4. Antrenarea algoritmului pe baza seturilor de date de antrenare

**Etapa a patra – E4** a constat în antrenarea algoritmului *Linear Learner* pe baza datelor de antrenare selectate după cum s-a descris anterior.

Procesul de antrenare s-a finalizat cu generarea regulilor de predicție. Pe baza acestor reguli s-a creat un model și o aplicație *Endpoint*, utilizată în etapa de evaluare.

#### 4.6.5. Evaluarea performanțelor algoritmului pe baza seturilor de date de testare

În cadrul **etapei a cincea – E5** a fost evaluat algoritmul *Linear Learner* pe baza modelului și a aplicației *Endpoint* generate după antrenare. Având serviciul (aplicația) *Endpoint* activ se pot transmite datele de test (mai puțin parametrul pentru care se fac estimările) în vederea generării predicțiilor.

Figura 4.80 ilustrează principal etapele *Antrenare-Testare-Validare* aferente algoritmului *Linear Learner* pentru estimarea nivelului  $H_{LT2}$  în vasul V2 al platformei ASTANK.

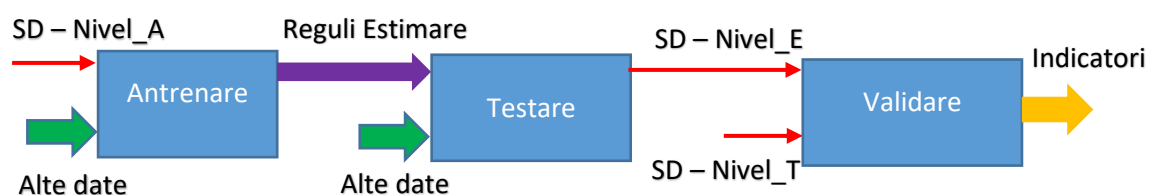


Figura 4.15 Schema de conectare informațională a etapelor aferente aplicării algoritmului *Linear Learner*: *SD-Nivel\_A*, *SD-Nivel\_T*, *SD-Nivel\_E* – seturi de date nivel pentru antrenare, testare și estimare.

În figura 4.81 este reprezentată o predicție (culoare portocalie) pentru nivelul  $H_{LT2}$  din vasul V2 al platformei ASTANK pe un orizont de timp de 7 minute (etapa testare din figura 4.80).

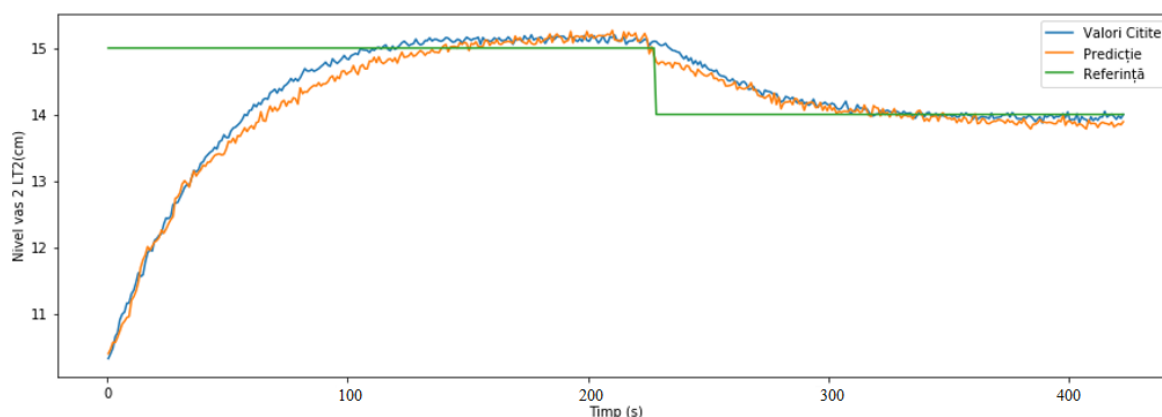


Figura 4.16 Predicția răspunsului în timp al nivelului  $H_{LT2}$  la modificarea referinței pentru un set nou de date de test.



Pentru comparație, pe același orizont de timp este reprezentat și un grafic a datelor de test (culoare albastră)

În viziunea autorului, între performanțele notabile ale unui algoritm de predicție (care pot fi testate în etapa *Validare* corespunzător reprezentării din figura 4.80) sunt cele legate de *precizia predicției, mărimea eșantionului de antrenare și durata de antrenare*.

Este de menționat faptul că precizia este cu atât mai bună cu cât se dispune de mai multe date pentru setul de antrenare.

O variantă de utilizare a acestor predicții poate fi reprezentată de validarea evoluției unui proces de acumulare. În cazul în care valorile nivelului sunt mult diferite față de predicție, se poate concluziona faptul că procesul de acumulare lichid nu se desfășoară în parametri normali. Acest mod anormal de funcționare poate fi explicat prin apariția unor perturbații generate de exemplu de defectarea unui echipament (sursă de presiune sau traductor).

#### **4.7. Concluzii parțiale**

1. Obiectul acestui capitol l-a constituit prezentarea sistemului automat ierarhic de monitorizare (*SAIM*) bazat pe integrarea mai multor *echipamente, tehnologii și infrastructuri*.
2. În prima parte a capitolului a fost prezentată structura *SAIM* propusă și dezvoltată de autor în care sunt prezente următoarele niveluri: *proces monitorizat, automatizare locală, rețea de senzori wireless (WSN), platformă Cloud de management a WSN, platformă Cloud de stocare, aplicație*.
3. Următoarea secțiune a fost consacrată implementării nivelului 1 realizat cu platforma *ASTANK*.
4. În cadrul acestei secțiuni, au fost propuse soluții pentru calibrarea robinetului de reglare *FC2* și a traductorului de nivel *LT2* și pentru configurarea automatului programabil din cadrul platformei.
5. S-a demonstrat, tot în cadrul secțiunii aferente implementării nivelului 1, funcționalitatea *Sistemului de Reglare Automată a Nivelului (SRA-N)*, integrat de autor pe platforma *ASTANK*.
6. Legat de funcționalitatea *SRA-N* s-a efectuat acordarea regulatorului de nivel cu criteriul *Chien Freuhauf* și s-a propus o extindere a acordării prin optimizare unidimensională, variabila de optimizare fiind parametrul de proiectare  $\tau_c$  iar criteriul fiind reprezentat de minimizarea duratei regimului tranzitoriu pentru mărimea reglată.

7. În cadrul nivelului 2 s-au realizat configurări ale microcontrolerelor *Lopy* ( $\mu C$  *Lopy*) pentru conexiuni *WiFi* și *LoRa*. Pentru aceasta din urmă au fost abordate trei tipuri de conexiuni și anume *LoRa MAC*, *LoRa OTAA* și *LoRa ABP*, optându-se din motive de securitate pentru varianta *LoRa OTAA*.
8. Nivelul 3 al *SIAM* a fost implementat prin infrastructura *The Things Network (TTN)*. Acest nivel are ca destinație principală transferul date preluate de la platforma *ASTANK* către *TTN*.
9. Pentru a fi posibilă achiziția de la platforma *ASTANK* a fost realizată o placă de achiziție bazată pe  $\mu C$  *Lopy* care primește date de la platformă și le transferă wireless la *Gateway* implementat tot cu  $\mu C$  *Lopy*.
10. În cadrul *TTN* s-a efectuat procesarea datelor, între care semnificativă este conversia din unități *CAN* în unități ingineresti.
11. Nivelul 4 a fost implementat prin facilitățile oferite de *Cloud-ul Amazon Web Services (AWS)* prin modulele *AWS IoT Core* pentru achiziția datelor și *AWS IoT Analytics* pentru *filtrarea, îmbunătățirea, transformarea, stocarea și analiza datelor*.
12. Nivelul 5 a fost implementat apelând la serviciul *AWS SageMaker* și a presupus dezvoltarea și implementarea funcționalităților corespunzătoare unor etape aferente aplicației de tip *Machine Learning* având ca suport algoritmul *Linear Learner*.
13. Datele transferate de la nivelul 4 au fost pregătite la început, printr-o prelucrare suplimentară care a presupus printre generarea matricei de corelație și diagramelor de dispersie pentru parametrii achiziționați.
14. Următoarea etapă aferentă nivelului 5 a fost reprezentată de antrenarea algoritmului *Linear Learner*, pe baza seturilor de date de antrenare, această etapă fiind concretizată în generarea regulilor de predicție.
15. A fost realizată testarea și validarea estimărilor pe baza analizei erorilor de predicție.
16. Rezultatele validării au demonstrat viabilitatea algoritmului *Linear Learner*.
17. Rezultatele globale obținute în urma implementării au demonstrat premisele corecte de la care s-a plecat pentru definirea nivelurilor ierarhice.
18. Integrarea între echipamente, tehnologii și infrastructuri a impus compatibilizări care au fost soluționate prin dezvoltarea unor module fizice sau logice de interfațare.
19. Sistemul automat ierarhic de monitorizare.

## 5. Concluzii generale, contribuții, diseminarea rezultatelor și direcții viitoare de cercetare

### 5.1. Concluzii generale

După cum rezultă din dezvoltările prezentate pentru cele patru capitole ale tezei de doctorat, fiecare dintre acestea se încheie cu câte un subcapitol în care sunt prezentate pe larg concluziile parțiale aferente respectivului capitol.

În continuare se va prezenta o sinteză a concluziilor parțiale în corelație cu obiectivele tezei de doctorat, așa cum au fost definite în secțiunea rezervată introducerii.

O primă concluzie generală este că au fost îndeplinite obiectivele propuse și evidențiate în introducerea la prezente teză de doctorat.

În continuare vor fi prezentate concluzii cu caracter general grupate pentru fiecare obiectiv (principal sau secundar).

- În ceea ce privește îndeplinirea primului obiectiv principal (*OPI - Investigarea disponibilităților oferite de tehnologiile specifice rețelelor de senzori wireless și infrastructuri Cloud pentru a fi implicate în îndeplinirea sarcinilor sistemelor automate*) se desprind concluziile evidențiate în continuare.
  - *OPI\_1* – Au fost investigate și prezentate în subcapitolele 1.1 și 1.2 fundamentele rețelelor de senzori wireless cu referire concretă la: *topologii, frecvențe radio, standarde și protocoale utilizate*.
  - *OPI\_2* – A fost efectuată o analiză comparativă a platformelor de dezvoltare actuale utilizate în implementarea nodurilor de senzori wireless (subcapitolul 1.3). Din această analiză a reieșit că se poate utiliza platforma Lopy pentru implementarea senzorilor wireless, având în vedere tipul de proces fizic monitorizat (proces acumulare lichid) și caracteristicile oferite de această platformă în ceea ce privește transmisia securizată la distanțe foarte mari.
  - *OPI\_3* – A fost realizată o analiză a infrastructurilor *Cloud* cu facilități specifice rețelelor de senzori wireless (subcapitolele 2.3, 2.4 și 2.5). Rezultatele analizei au condus la alegerea pentru managementul nodurilor wireless a infrastructurii *The Things Network* și a infrastructurii *Cloud Amazon Web Services* pentru facilitățile *IoT* oferite.

- Referitor la realizarea celui de-al doilea obiectiv principal (**OP2 - Integrarea tehnologiilor specifice rețelelor de senzori wireless și infrastructuri Cloud în vederea realizării unui sistem automat ierarhic de monitorizare a unui proces fizic**) pot fi formulate concluziile generale de mai jos.
- **OP2\_1** – A fost investigat procesul monitorizat, respectiv procesul de acumulare a unui lichid într-un vas. Studiul a presupus modelarea matematică în regim dinamic a acestui proces și dezvoltarea de simulatoare în mediul *Simulink*<sup>®</sup> – subcapitolul 3.2.
  - **OP2\_2** – Asigurarea unor date de *calitate* a impus calibrarea echipamentelor (traductor de nivel și element de execuție) aferente automatizării procesului de acumulare a unui lichid într-un vas (implementată în cadrul platformei de cercetare *ASTANK* – subcapitolul 4.2);
  - **OP2\_3** – A fost realizată o rețea de senzori wireless cu tehnologie *LoRa* destinată achiziției datelor din proces. Infrastructura dezvoltată a presupus utilizarea de microcontrolere *LoPy* – subcapitolul 4.3.
  - **OP2\_4** – O etapă a dezvoltării *Sistemului Automat Integrat de Monitorizare (SAIM)* a fost reprezentată de configurarea platformei de management a nodurilor de rețea (respectiv a platformei *The Things Network* – subcapitolul 4.4). Configurarea a impus soluționarea mai multor probleme, între care: configurarea nodurilor de tip client și router în cadrul platformei *TTN*; identificarea semnalelor care vor fi achiziționate și transmisia datelor achiziționate către platforma *TTN*.
  - **OP2\_5** – Integrarea în *SAIM* a infrastructurii *Cloud* a necesitat replicarea nodurilor de rețea la nivelul acestei infrastructuri și configurarea serviciilor specifice prelucrării și stocării datelor (în acest scop s-a utilizat infrastructura *Amazon Web Services AWS IoT* – subcapitolul 4.5);
  - **OP2\_6** – Pentru a demonstra valorificarea datelor din *Cloud* a fost realizată implementarea aplicațiilor de *analiză statistică* și *generare de predicții* pentru seturile de date achiziționate (pentru demonstrație a fost configurat și utilizat serviciul *Amazon SageMaker* – subcapitolul 4.6).

- Primul obiectiv secundar (*OS1 - Implementarea unor metode de îmbunătățire a eficienței energetice într-o rețea de senzori wireless*) a presupus implementarea unei rețele *WiMAX* într-un mediu simulat (*NS3*) cu scopul de a prelua cu maximă precizie informațiile transmise între noduri. Acest audit al rețelei a fost necesar pentru a studia modul de funcționare al acesteia atât pentru o comunicație standard cât și pentru o comunicație în care pachetele au fost alterate prin intermediul metodei de codificare liniară aleatorie a rețelei (subcapitolul 1.4). A fost demonstrată diminuarea consumului energetic prin reducerea numărului de mesaje de confirmare în rețea.
- Al doilea obiectiv secundar (*OS2 - Investigarea din perspectivele modelării, simulării și reglării a unor procese fizice care vor fi utilizate ca suport pentru dezvoltarea sistemului automat ierarhic de monitorizare*) a necesitat descrierea a trei procese (acumularea unui lichid într-un vas, transportul și amestecul lichidelor) din trei perspective distincte și anume: modelare dinamică, simulare și reglare. Pentru fiecare proces investigat au fost realizate simulatoare în mediul *Simulink*<sup>®</sup>, având la bază modele matematice dinamice generate. Atât simulările răspunsului în timp al proceselor de cumulare, transport și amestec, cât și cele corespunzătoare reglării acestor procese au presupus realizarea unor serii de teste care să evidențieze evoluția dinamică a mărimilor reglate a procesului la modificări treaptă a comenzii sau la apariția perturbațiilor (subcapitolele 3.2, 3.3 și 3.4).
- Al treilea obiectiv secundar (*OS3 - Realizarea de operații statistice și generarea de predicții utilizând datele achiziționate*) a presupus utilizarea datelor achiziționate de la platforma *ASTANK* prin intermediul rețelei *LoRa*. În acest scop au fost utilizate componentele serviciului *Amazon SageMaker* (notebook *Jupyter* cu biblioteci *Python*, modele și aplicații *Endpoint*) pentru selecția seturilor de date utilizate de algoritmul *Linear Learner* și generarea predicțiilor (subcapitolul 4.5).

Pentru a realiza obiectivele asumate, dezvoltările din prezenta teză de doctorat s-au bazat pe:

- Investigații bibliografice;
- Modelarea matematică analitică a proceselor de acumulare, transport și amestec a lichidelor;

- Simularea proceselor modelate pe baza unor simulatoare elaborate în mediul Simulink;
- Validarea prin simulare pe baza unor simulatoare elaborate în mediul *Simulink* a unor structuri de reglare automată asociate proceselor de acumulare, transport și amestec;
- Elaborarea și testarea de algoritmi asociați obținerii de produse care conțin mai mulți componenți specificați prin rețete de amestec;
- Investigații experimentale în cadrul platformei de cercetare *ASTANK* cu precădere referitoare la procesului de acumulare lichid;
- Configurări, implementări și teste ale rețelelor de senzori wireless și a comunicațiilor cu infrastructurile de tip *Cloud*;
- Cercetări privind integrarea în cadrul unor sisteme ierarhice a rețelelor de senzori wireless, platforma *ASTANK* și infrastructuri *Cloud*;
- Analize ale datelor achiziționate din sistemul ierarhic;
- Investigarea posibilității de generare de predicții utilizând conceptul de *Machine Learning* având ca suport datele achiziționate și transferate în *Cloud*.

## 5.2. Contribuții

În prezenta teză de doctorat, autorul a realizat o integrare de tehnologii și standarde care cuprinde:

- *nivelul fizic* (aparatura de proces, rețea de senzori wireless, achiziția de date din proces)
- *nivelul logic* (virtualizarea rețelei wireless, definirea nodurilor de achiziție a datelor în Cloud, prelucrarea datelor, utilizare metode de *Machine Learning* pentru a genera predicții pe baza datelor prelucrate).

Contribuțiile originale se regăsesc în capitolele 1, 3, 4 și au fost relevate în cadrul acestora. În continuare sunt prezentate succint contribuțiile cu o semnificație aparte.

1. A fost realizat un studiu bibliografic referitor la starea actuală a rețelelor de senzori wireless. În cadrul acestui studiu au fost identificate și prezentate principalele platforme de dezvoltare (microcontrolere) care pot fi utilizate ca noduri pentru senzori wireless.

2. Au fost implementate rețele wireless într-un simulator (*Network Simulator 3*) pentru evidențierea creșterii performanței unei rețele *WiMAX* cu ajutorul codificării liniare aleatorie a rețelei, propuse de autor.
3. A fost realizat un studiu de caz în urma căruia autorul a putut alege infrastructurile de tip *Cloud* utilizate în lucrare.
4. S-a realizat o abordare unitară în trei perspective: *modelare matematică, simulare și reglare automată* pentru procesele de acumulare, transport și amestec a lichidelor.
5. A fost propus, proiectat și implementat algoritmul *DCC*, algoritmul utilizat pentru calculul necesarului de componente în vederea realizării unor cantități impuse de produs finit.
6. A fost propus, proiectat și implementat algoritmul *ICP* pentru calculul cantităților maxime de produse finite realizate cu toate cantitățile disponibile de componente.
7. A fost propus, proiectat și implementat algoritmul *ECP* pentru calculul cantității optime de produs finit realizat cu toate cantitățile de componente disponibile.
8. A fost dezvoltată în mediul *C#* aplicația *ASTR* de analiză a stocurilor în timp real, aplicație ce integrează cei trei algoritmi.
9. S-a studiat și configurat platforma de cercetare *ASTANK* pentru procesul de acumulare a unui lichid într-un vas.
10. A fost propusă extinderea criteriului Chien Freuhauf pentru acordarea parametrilor regulatorului *PI* aferent sistemului de reglare automată a nivelului într-un vas din cadrul platformei *ASTANK*.
11. Au fost instalate, configurate și integrate într-o rețea *LoRa* noduri de senzori wireless *LoPy*.
12. S-a realizat conectarea rețelei locale *LoRa* la infrastructura *The Things Network (TTN)* pentru managementul centralizat al nodurilor și pentru prelucrarea primară a datelor.
13. A fost realizată integrarea datelor din procesul de acumulare din cadrul platformei *ASTANK* cu rețeaua *LoRa* și infrastructura *TTN* (prelucrarea semnalelor fizice din proces, achiziție de date).
14. Au fost definite și configurate în infrastructura *AWS*, nodurile de senzori wireless din *TTN* (comunicare bidirecțională, stocare a datelor în baze de date permanente, prelucrare avansată a datelor).

15. A fost configurat modulul de generare a predicțiilor folosind algoritmul *Linear Learner* din cadrul serviciului *AWS SageMaker*.
16. S-a demonstrat caracterul integrator al lucrării prin testarea algoritmului de tip *Machine Learning* pentru un set de aproximativ 17000 de date (antrenare și test) provenite din procesul de acumulare a unui lichid din platforma de cercetare *ASTANK*.

### 5.3. Diseminarea rezultatelor

Rezultatele obținute în prezenta teză de doctorat au fost diseminate în lucrări științifice, cele cu o semnificație aparte fiind evidențiate în continuare.

➤ Lucrări indexate Clarivate Analytics Web of Science (ISI)

1. **Zamfir F.**, Paraschiv N., Pricop E., *Performance analysis in WiMAX networks using random linear network coding*, Proceedings of the 4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies, CoDIT 2017, Barcelona, Spania, Aprilie 2017, pag. 679-683, ISBN: 978-1-5090-6465-6, DOI: 10.1109/CoDIT.2017.8102658.
2. Pricop E., Fattahi J., Paraschiv N., **Zamfir F.**, Ghayoula E. , *Method for authentication of sensors connected on Modbus TCP*, Proceedings of the 4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies, CoDIT 2017, Barcelona, Spania, Aprilie 2017, pag. 679-683, ISBN: 978-1-5090-6465-6, DOI: 10.1109/CoDIT.2017.8102673.
3. Pricop E., Mihalache S.F., Paraschiv N., Fattahi J., **Zamfir F.**, *Considerations regarding security issues impact on systems availability*, Proceedings of the 8th International Conference on Electronics, Computers & Artificial Intelligence, ECAI 2016, Iunie 2016, Ploiești, România, pag. 1-6, ISBN: ISBN: 978-1-5090-2047-8 doi:10.1109/ECAI.2016.7861110
4. Pricop E., **Zamfir F.**, Paraschiv N., *Feedback control system based on a remote operated PID controller implemented using mbed NXP LPC1768 development board*, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 659, Proceedings of the 12th Advanced Control and Diagnosis Workshop, Pilsen, Cehia, 2015, Article number: 012028, IOP Publishing, 2015, doi:10.1088/1742-6596/659/1/012028

➤ Lucrări acceptate pentru susținere și publicare



1. **Zamfir F.**, Paraschiv N., Pricop E., *Real-time stock analysis for blending recipes in industrial plants*, 23rd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC) October 9 - 11, 2019, Sinaia, Romania
2. Paraschiv N., Pricop E., Fattahi J., **Zamfir F.**, *Towards a reliable approach on scaling in data acquisition*, 23rd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC) October 9 - 11, 2019, Sinaia, Romania

#### **5.4. Direcții viitoare de cercetare**

Unul din obiectivele principale ale acestei teze a constat în integrarea procesului de acumulare din cadrul platformei de cercetare ASTANK cu infrastructuri de tip *Cloud* prin intermediul rețelelor de senzori *wireless*. Însă integrarea constituie primul pas, după cum s-a demonstrat în cadrul lucrării, întrucât comunicația între rețeaua de senzori și infrastructurile de tip *Cloud* s-a realizat unidirecțional.

Pe baza experienței acumulate pe parcursul cercetărilor ale căror rezultate au fost prezentate în teza de doctorat, au fost identificate direcțiile de continuare a cercetărilor evidențiate în continuare.

1. Implementarea unui algoritm de calcul al costului aferent producției unei cantități de produs finit pentru aplicația de analiză a stocurilor .
2. Includerea perturbațiilor în algoritmul de predicție implementat prin Machine Learning în vederea veridicității datelor referitoare la mărimea reglată pentru procesul de acumulare a unui lichid într-un vas.
3. Identificarea posibilității de determinare automată a valorilor optime pentru parametrii de acordare pe baza datelor istorice achiziționate în *Cloud*, în funcție de modificările referinței și actualizarea acestora valori în cadrul *PLC*-ului.
4. Realizarea de predicții pentru mărimea de comandă asociată reglării automate a procesului de acumulare a unui lichid într-un vas și generarea de comenzi în timp real din *Cloud*, în felul acesta, dezvoltarea transmiției bidirecționale a datelor.

## Bibliografie

1. Abdullah S., Munro M., Budgen D., "Systematic Literature Review (SLR) of Resource Scheduling and Security in Cloud Computing." International Journal of Advanced Computer Science and Applications 10.4, 2019.
2. Acordarea regulatorului PID, [online], [http://home.hit.no/~hansha/training/labview/controlandsimulation/documents/tuning\\_pid\\_controller.pdf](http://home.hit.no/~hansha/training/labview/controlandsimulation/documents/tuning_pid_controller.pdf)
3. Algoritmul Linear Learner, [online], <https://docs.aws.amazon.com/sagemaker/latest/dg/linear-learner.html>
4. Amazon Web Services IoT, [online], <https://aws.amazon.com/iot/>
5. Andrei T., STATISTICĂ. Teorie și aplicații, <http://inf.ucv.ro/documents/danciulescu/curs4-curs-5-curs6.pdf>
6. AWS - Consola de lucru, [online], <https://eu-west-1.console.aws.amazon.com/console/home?region=eu-west-1#>
7. AWS Analytics user guide, [online], <https://docs.aws.amazon.com/iotanalytics/latest/userguide/welcome.html>
8. AWS Analytics whitepaper, [online], <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/aws-overview/analytics.html>
9. AWS EC2, [online], <https://aws.amazon.com/ec2/>
10. AWS EC2 tipuri de servicii, [online], <https://aws.amazon.com/ec2/instance-types/>
11. AWS Elastic Beanstalk, [online], <https://docs.aws.amazon.com/elasticbeanstalk/latest/dg/Welcome.html>
12. AWS IoT Analytics, [online], <https://aws.amazon.com/iot-analytics/?n=sn&p=dm>
13. AWS IoT Core, [online], <https://aws.amazon.com/iot-core/>
14. AWS IoT Defender, [online], <https://aws.amazon.com/iot-device-defender/?nc=sn&loc=2&dn=4>
15. AWS IoT Events, [online], <https://aws.amazon.com/iot-events/?nc=sn&loc=2&dn=9>
16. AWS IoT Management, [online], <https://aws.amazon.com/iot-device-management/?n=sn&p=dd>
17. AWS Linear Learner, [online], <https://docs.aws.amazon.com/sagemaker/latest/dg/linear-learner.html>
18. AWS SageMaker, [online], <https://aws.amazon.com/sagemaker/>
19. Baiesu A., Tehnica reglării automate, Editura Matrix Rom, 2012
20. Barry J., Process Dynamics, Operations, and Control. Spring 2006. Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare, <https://ocw.mit.edu>. License: Creative Commons BY-NC-SA.
21. Berder O., Sentieys O., Powwow: Power optimized hardware/software framework for wireless motes. In Architecture of Computing Systems (ARCS), 2010 23rd International Conference, pag. 1-5, 2010
22. Biblioteca Pandas, [online], <https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/reference/api/pandas.DataFrame.plot.box.html>
23. Biblioteca Standard Python, [online], <https://docs.python.org/3/library/>
24. Bolton W., Xiao Y., Guizani M., IEEE 802.20: mobile broadband wireless access, Wireless Communications, IEEE, 14(1), pag. 84-95, 2007

25. Bucur G., Senzori, traductoare, măsurări, Editura Universitatii Petrol-Gaze din Ploiesti, Ploiesti, 2016
26. Cangea O. , Identificarea sistemelor, Editura MATRIXROM Bucuresti, 2008.
27. Chaari L., Kamoun L., Wireless sensors networks MAC protocols analysis, arXiv preprint arXiv:1004.4600, 2010
28. Chien I. L. , Freuhauf P.S., consider IMC tuning to improve Controller Performance, Chemical Engineerering Progress, 86,33,1990.
29. Cirtoaje V. , Teoria sistemelor automate: Analiza in domeniul complex, Ploiesti, 2013
30. Cisco Aironet 1500 Series Wireless Mesh AP Version 5.0 Design Guide, [Online], <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/technology/mesh/design/guide/MeshAP.html>
31. Cisco Aironet Antennas and Accessories Reference Guide, [Online], [http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-antennas-accessories/product\\_data\\_sheet09186a008008883b.html](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-antennas-accessories/product_data_sheet09186a008008883b.html)
32. Cloud Amazon Web Services, [online], <https://docs.aws.amazon.com/>
33. Computer Simulations in Science, [online], <https://leibniz.stanford.edu/friends/preview/simulations-science/>
34. D. E. Lucani, M. Stojanovic, and M. Médard, Random linear network coding for time division duplexing: When to stop talking and start listening, INFOCOM 2009.
35. Descriere Arduino, [Online], <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
36. Descriere BeagleBoard Black, [Online], <https://beagleboard.org/black>
37. Descriere ESP8266, [Online], <https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp8266x/overview>
38. Descriere Particle Electron, [Online], <https://docs.particle.io/datasheets/cellular/electron-datasheet/>
39. Descrierea DragonBoard, <https://www.96boards.org/product/dragonboard410c/>
40. Descrierea modelelor Cloud, [online], <https://aws.amazon.com/types-of-cloud-computing/>
41. Diferența între modelele de servicii Cloud, [online], <https://www.bigcommerce.com/blog/wp-content/uploads/2018/10/saas-vs-paas-vs-iaas-breakdown.jpg>
42. Document de referință Arago Systems, [Online], [http://www.aragosystems.com/images/stories/WiSMote/Doc/as1006-usg01-100-wismote\\_user\\_guide\\_hardware.pdf](http://www.aragosystems.com/images/stories/WiSMote/Doc/as1006-usg01-100-wismote_user_guide_hardware.pdf)
43. Documentație ASTANK2, ASTI AUTOMATION, 2016
44. Documentație LoPy ,[online], <https://docs.pycom.io/datasheets/development/LoPy/>
45. Documentație Micropython, [online], <http://docs.micropython.org/en/latest/>
46. Elhadidy H., Rizk R., Dorrah, H. T., Routing in Wireless Sensor Networks based on Generalized Data Stack Programming Model, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 5, No. 11, 2014
47. Eswaran A., Rowe A., Rajkumar R., Nano-rk: an energy-aware resource-centric rtos for sensor networks. In Real-Time Systems Symposium, 2005. RTSS 2005. 26th IEEE International, Decembrie 2005
48. F. Zamfir, N. Paraschiv and E. Pricop, "Performance analysis in WiMAX networks using random linear network coding," 2017 4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), Barcelona, 2017, pp. 0590-0594, 2017
49. Farooq M.,Kunz T., Operating systems for wireless sensor networks: A survey, Sensors, 11(6), pag. 5900-5930, 2011

50. Flow Handbook A practical guide: measurement technologies–applications–solutions, Endress+ Hauser Flowtec AG, Reinach, 2006
51. Fraden J., Handbook of modern sensors Physics, Designs, and Applications, Springer, California, SUA, 2010
52. Franklin G. , Powell J. , Emanmi-Naeini A. , Feedback Control of Dynamic Systems (7th Edition), Prentice Hall, 2015
53. G. Angelopoulos, M. Médard, și A. P. Chandrakasan, “Energy-aware hardware implementation of network coding”. International Conference on Research in Networking, Editura Springer Berlin Heidelberg, May 2011.
54. Ghid Tehnic Waspote, [Online],  
[http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspote\\_technical\\_guide.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspote_technical_guide.pdf)
55. Guo W., Zhang W., A survey on intelligent routing protocols in wireless sensor networks. Journal of Network and Computer Applications, 38, pag. 185-201, 2014
56. H. Cinar, M. Cibuk, și H. H. BALIK, “History and Evaluation of Mobile WiMax”, Applied Mathematical and Computational Sciences, 4, 187, 2013
57. Hongshan Yu, Jinzhu Peng, and Yandong Tang, “Identification of Nonlinear Dynamic Systems Using Hammerstein-Type Neural Network,” Mathematical Problems in Engineering, vol. 2014, Article ID 959507, 9 pages, 2014. doi:10.1155/2014/959507
58. Howes S., Le Pore J., Mohler i., Bolf N., Fuels and lubricants : journal for tribology, lubrication, application of liquid and gaseous fuels and combustion engineering, goriva i maziva, 53, 2 : 97-119, 2014
59. Infrastructura The Things Network, [online], <https://www.thethingsnetwork.org/>
60. Ionescu G. , Ionescu V. , Automatica de la A la Z, Editura Stiintifica si Enciclopedica, Bucuresti, 1987.
61. Jun-Zhao Sun, "OS-based reprogramming techniques in wireless sensor networks: A survey," 2010 3rd IEEE International Conference on Ubi-Media Computing, Jinhua, 2010, pp. 17-23.
62. Kitul de dezvoltare NodeMCU, [Online], [https://www.nodemcu.com/index\\_en.html](https://www.nodemcu.com/index_en.html)
63. Klatt K., Marquardt W. , Perspectives for process systems engineering—Personal views from academia and industry, Computers and Chemical Engineering 33 (2009) 536–550
64. Ko J., Wang Q., Schmid T., Hofer W., Dutta P., Terzis A., Egs: A cortex m3-based mote platform. In Sensor Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), 2010 7th Annual IEEE Communications Society Conference, pag. 1-3, Iunie 2013
65. Kozak J., Decision Tree and Ensemble Learning Based on Ant Colony Optimization, Volumul 781 din Studies in Computational Intelligence, Springer, 2018
66. L. Fang, Exact Decoding Probability of Random Linear Network Coding for Combinatorial Networks, Editura Wuhan University Journal of Natural Sciences, Vol 20, pag. 391-396, 2015
67. LoRa Alliance, [online], <https://lora-alliance.org/>
68. LoRa Chirp , [online], <https://www.sghosly.com/p/lora-is-chirp-spread-spectrum.html>
69. Maharmi B., Performance of OFDM-Based WiMAX System Using Cyclic Prefix, ICoSE Conference Proceedings, KnE Engineering. 1. 10.18502/keg.v1i1.487, 2016
70. Marinescu D., Cloud Computing: Theory and Practice, Morgan Kaufmann, 2017
71. Marinoiu V., Elemente de executie - Robinete de reglare, Editura Tehnica, Bucuresti, 1999

72. Marinoiu V., Paraschiv N., Automatizarea Proceselor Chimice – Îndrumar de laborator și culegere de probleme, Ploiești, 1988
73. Marinoiu V., Paraschiv N., Automatizarea Proceselor Chimice Volumul I și II, Editura Tehnică, București, 1992
74. Martin G., Wireless sensor solutions for home & building automation-the successful standard uses energy harvesting, EnOcean, 2007
75. Mazar H., Radio Spectrum Management: Policies, Regulations and Techniques, Editura Wiley, 2016
76. Melo C. , Dantas J., Oliveira A., Fe I., Araujo J., Matos R., Marciel P., "Availability models for hyper-converged cloud computing infrastructures," 2018 Annual IEEE International Systems Conference (SysCon), Vancouver, pp. 1-7, 2018.
77. Metode de acordare, [online], [http://pages.mtu.edu/~tbco/cm416/tuning\\_methods.pdf](http://pages.mtu.edu/~tbco/cm416/tuning_methods.pdf)
78. Millan-Almaraz J. R., Torres-Pacheco I., Duarte-Galvan C., Guevara-Gonzalez R. G., Contreras-Medina L. M., Jesus Romero-Troncoso R., Rivera-Guillen J. R., FPGA-based wireless smart sensor for real-time photosynthesis monitoring, Computers and Electronics in Agriculture, 95,pag. 58-69, 2013
79. Moise A., Retele neuronale pentru recunoasterea formelor, Editura Matrixrom, București
80. Moise A., Sisteme de conducere a robotilor , Editura UPG, 2006
81. Oracle IoT, [online], <https://www.oracle.com/ro/internet-of-things/>
82. Pal P., Chatterjee P., A survey on TDMA-based MAC protocols for wireless sensor network. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 4(6), pag. 219-230, 2014
83. Paraschiv N. , Achiziția și prelucrarea Datorilor, Editura Universității Petrol-Gaze din Ploiești,2013
84. Paraschiv N. , Introducere în automată și calculatoare, Editura Universității Petrol-Gaze din Ploiești, 2017
85. Paraschiv N., Programarea aplicațiilor de timp real - Sinteze, Editura Universității Petrol-Gaze din Ploiești, 2018
86. Paraschiv N., Popescu M., Sisteme distribuite de supervizare și control, Editura UPG, 2014
87. Patrascioiu C. , Popescu M. , Dinamica sistemelor chimice, Matrix Rom, 2015
88. Pătrascioiu C., Popescu C., Calcul și metode numerice, Editura Universitatii Petrol-Gaze din Ploiesti, Ploiesti, 2017
89. Pătrășcioiu C., Tehnici numerice de optimizare, Editura Matrix Rom, București, 2005
90. Peng Y., Building a more sustainable sensor network via protocol innovation, Digital Repository Iowa State University, 2014
91. Plăcile de dezvoltare Pycom, [Online], <https://pycom.io/solutions/hardware/>
92. Platforma Intel Edison, [Online], <https://software.intel.com/en-us/get-started-edison-windows>
93. Polderman J. W., Willems J. , Introduction to the Mathematical Theory of Systems and Control, Springer New York, 1998
94. Prezentare soluții Google IoT, [online], <https://cloud.google.com/solutions/iot/>
95. Prezentare soluții Microsoft IoT, [online], <https://azure.microsoft.com/en-in/product-categories/iot/>
96. Prezentare Sunspot, [Online], <http://academic.fuseyism.com/ambassador/slides/sunspot.pdf>
97. Pricop E., Fattahi J., Paraschiv N., Zamfir F., Ghayoula E. , Method for authentication of sensors connected on Modbus TCP, Proceedings of the 4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies, CoDIT 2017, Barcelona, Spania, Aprilie 2017



119. Spectrul radio conform Departamentului de Comerț al Statelor Unite, [Online],  
<http://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/2003-allochrt.pdf>
120. Standardul IEEE 802, [Online], <http://www.ieee802.org/>
121. Standardul IEEE 802.11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi Technical White Paper, Cisco Systems Inc.,  
 Martie 2014
122. Standardul IEEE 802.15, [Online], <https://standards.ieee.org/about/get/802/802.15.html>
123. Standardul wireless LAN , [Online]: <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html>
124. Stefanoiu D. , Identificarea Sistemelor–note de curs, Universitatea Politehnica, Bucuresti, 2005.
125. Stephanopoulos G. , Chemical Process Control – An Introduction to Theory and Practice, Prentice Hall,  
 New Jersey, 1984
126. Stergiou C., Psannis K., Kim B., Gupta B., Secure integration of IoT and Cloud Computing, Future  
 Generation Computer Systems, Volume 78, Part 3, pp. 964-975, 2018
127. Steve R., Wireless Networking Technology : From Principles to Successful Implementation, Elsevier,  
 Oxford, 2011
128. The Things Network - Consola de lucru, [online], <https://console.thethingsnetwork.org/>
129. ThingSpeak, [online], [https://thingspeak.com/pages/how\\_to](https://thingspeak.com/pages/how_to)
130. Yadav R., Varma S., Malaviya N., A survey of MAC protocols for wireless sensor networks. UbiCC  
 journal, 4(3), pag. 827-833., 2009
131. Zhang T. and Xianfeng L., Evaluating and analyzing the performance of RPL in contiki. In Proceedings of  
 the first international workshop on Mobile sensing, computing and communication (MSCC '14). ACM,  
 New York, NY, USA, 19-24, 2014
132. Zhang X., Eng M., Reconfigurable Medium Access Control Protocols for Wireless Networks, Teză de  
 disertație, Biblioteca online Verfügar, Iulie 2014
133. Zhang Z., Zhao H., Zhu J., Dazhou L., Research on Wireless Sensor Networks Topology Models, Journal  
 of Software Engineering and Applications ediția 3, pag. 1167-1171, 2010