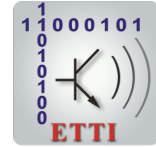




UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI



Școala Doctorală de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației

Decizie nr. 962 din 16-11-2022

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Ing. Ciprian Mihai COMAN

CONTRIBUȚII PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA PRACTICILOR ÎN
INDUSTRIA 4.0

CONTRIBUTIONS ON IMPROVING PRACTICES IN INDUSTRY
4.0

COMISIA DE DOCTORAT

Prof. Dr. Ing. MARGHESCU Ion Univ. Politehnica din București	Președinte
Prof. Dr. Ing. FLORESCU Adriana Univ. Politehnica din București	Conducător de doctorat
Prof. Dr. Ing. STOICHESCU Dan Alexandru Univ. Politehnica din București	Referent
Prof. Dr. Ing. LIȚĂ Ioan Univ. din Pitești	Referent
Prof. Dr. Ing. BOZOMITU Radu Gabriel Univ. Tehnică Gheorghe Asachi din Iași	Referent

BUCUREȘTI 2022

Cuprins

1	Introducere	1
1.1	Prezentarea domeniului tezei de doctorat	1
1.2	Scopul tezei de doctorat	1
1.3	Conținutul tezei de doctorat	2
2	Stadiul actual al cercetărilor în domeniul industriei 4.0	3
2.1	Analiza stadiului actual în industria 4.0	3
2.2	Concluziile capitolului 2	4
3	Monitorizarea surselor de materie primă	5
3.1	Considerente teoretice privind monitorizarea surselor de materie primă .	5
3.2	Modelul experimental pentru monitorizarea surselor de materie primă .	5
3.3	Testare experimentală a sistemului de monitorizare a pădurii și rezultate	6
3.4	Concluziile capitolului 3	6
4	Rețeaua electrică în sisteme de tip industrie 4.0	8
4.1	Considerente teoretice privind rețeaua electrică inteligentă	8
4.2	Sistem de monitorizare a rețelei electrice	9
4.3	Componenta de corecție a factorului de putere	9
4.4	Concluziile capitolului 4	10
5	Asigurarea calității în fabricarea materialelor compozite	11
5.1	Utilaje de producție a materialelor compozite	11
5.2	Senzori pentru monitorizarea producției	12
5.3	Rețea de senzori	12
5.4	Studiu de caz privind monitorizarea procesului de fabricare a materialelor compozite	13
5.5	Concluziile capitolului 5	13
6	Coordonare de tip just in time în procesele industriei 4.0	14
6.1	Proces de planificare în fabricarea JIT	14
6.2	Livrarea JIT	14
6.3	Concluziile capitolului 6	15

7	Fiabilitatea sistemelor în domeniul industriei 4.0	16
7.1	Considerente teoretice privind fiabilitatea în industria 4.0	16
7.2	Model de calcul a fiabilității	16
7.3	Testare experimentală a fiabilității și rezultate	17
7.3.1	Fiabilitatea rețelei	17
7.3.2	Testarea procesului de recuperare automată	17
7.3.3	Testarea sistemului de backup local	18
7.3.4	Verificarea sistemului de testare automată a software-ului	18
7.3.5	Audit de securitate	18
7.4	Concluziile capitolului 7	18
8	Digital twin în industria 4.0	19
8.1	Considerente teoretice privind digital twin	19
8.1.1	Sistem integrator în cloud	19
8.1.2	Subsistem de proiectare	20
8.1.3	Subsistem de prezentare virtuală	20
8.1.4	Managementul codului sursă	20
8.2	Model experimental de sistem informatic dedicat unei întreprinderi din domeniul mobilier la comandă	20
8.2.1	Sistem pentru managementul relației cu clienții	22
8.2.2	Microservicii pentru gestionarea proiectelor	22
8.2.3	Microservicii pentru gestionarea materiei prime	22
8.2.4	Microservicii pentru gestionarea producției	22
8.2.5	Catalog de corpuri configurabile	22
8.3	Testare experimentală în domeniul fabricării de mobilier la comandă și rezultate	23
8.4	Concluziile capitolului 8	23
9	Concluzii	24
9.1	Rezultate obținute	24
9.2	Contribuții originale	25
9.3	Lista lucrărilor originale	26
9.4	Perspective de dezvoltare ulterioară	28
	Selecție din bibliografie	29

Capitolul 1

Introducere

1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat

Cea de-a patra revoluție industrială, cunoscută și ca industria 4.0, este în desfășurare în prezent. Prima revoluție industrială a avut loc în a doua jumătate a secolului 18 prin adoptarea pe scară largă a mecanizării și a motorului cu abur. A doua revoluție industrială a început spre finalul secolului 19 prin popularizarea liniei de asamblare pentru producția în serie. Această perioadă este caracterizată de producția oțelului și a produselor chimice, introducerea motorului cu combustie internă în locul celui cu abur și descoperirea electricității. Cea de-a treia revoluție a început în anii 1970 prin utilizarea sistemelor programabile și a roboților industriali pentru a automatiza procesele de fabricație în serie, conducând la o creștere a productivității.

Obiectivele schimbărilor propuse de industria 4.0 sunt obținerea adaptabilității, predictibilității și fiabilității întregului proces industrial și de business. Aceste obiective pot fi atinse prin utilizarea mai multor tehnologii precum învățare automată, inteligența artificială, internetul lucrurilor sau analiza avansată a datelor.

1.2 Scopul tezei de doctorat

Prin activitatea de cercetare din cadrul acestui program de doctorat am realizat investigarea problemelor specifice și identificarea de soluții pentru provocările industriei 4.0 care îmi propune să creeze o rețea pentru conectarea verticală între echipe de vânzări și proiectare, utilaje de producție, furnizori de materie primă, echipe de montaj și suport client. Printre problemele cunoscute pe care le-am investigat se numără:

- Monitorizarea precară a consumului de energie electrică în mediul industrial [23].
- Standardele de transmitere a datelor sunt insuficient securizate și există riscul intervenției unor persoane rău intenționate.
- Lipsa sistemelor informatice suport care să permită adaptabilitatea producției după cerințele clientului.

- Înregistrarea precară sau nestructurată a informațiilor duce la imposibilitatea generării de rapoarte sau situații care să ajute procesele de planificare și management.

Lucrarea de doctorat aduce contribuții pentru îmbunătățirea practicilor în industria 4.0 prin tehnologii precum Internet of Things (IoT) și Internet of Services (IoS).

1.3 Conținutul tezei de doctorat

Această lucrare abordează elemente teoretice și practice ale industriei 4.0, prezintă rezultate experimentale și modalități de implementare în cazul particular al unei întreprinderi care se ocupă cu fabricarea mobilierului la comandă și amenajări interioare. Restul tezei de doctorat este structurată pe opt capitole, astfel:

- Capitolul 2, intitulat **Stadiul actual al cercetărilor în domeniul industriei 4.0**, prezintă o sinteză a tehnologiilor utilizate în contextul sistemelor informatice de tip industrie 4.0.
- Capitolul 3, intitulat **Monitorizarea surselor de materie primă**, tratează problema monitorizării pădurilor ca sursă directă de materie primă pentru lanțul de producție.
- Capitolul 4, intitulat **Rețeaua electrică în sisteme de tip industrie 4.0**, abordează subiectul consumului de energie într-o fabrică modernă.
- Capitolul 5, intitulat **Asigurarea calității în fabricarea materialelor compozite**, prezintă o componentă a sistemului informatic de tip industrie 4.0 pentru asigurarea calității în zona de producție.
- Capitolul 6, intitulat **Coordonare de tip just in time în procesele industriei 4.0**, urmărește conceptele introduse încă din 1982 în fabricile Toyota din Japonia cu scopul de a reduce risipa pe întregul flux de producție. Se prezintă adaptarea acestor principii la fabricile moderne și îmbunătățirea rezultatelor profitând de avansul tehnologic din domeniul sistemelor informatice digitale și a rețelelor de calculatoare.
- Capitolul 7, intitulat **Fiabilitatea sistemelor în domeniul industriei 4.0**, tratează subiectul fiabilității sistemelor de producție.
- Capitolul 8, intitulat **Digital twin în industria 4.0**, prezintă modalitatea de integrare a tuturor componentelor prezentate în capitolele anterioare sau introduse chiar în acest capitol, cu scopul de a realiza o reprezentare digitală unitară a întregului proces operațional din cadrul întreprinderii.
- Capitolul 9, intitulat **Concluzii**, evidențiază rezultatele activității de cercetare din programul de doctorat și contribuțiile originale ale autorului.

Capitolul 2

Stadiul actual al cercetărilor în domeniul industriei 4.0

2.1 Analiza stadiului actual în industria 4.0

Cea de-a patra revoluție industrială reprezintă un set conectat, dar descentralizat, de furnizori de servicii și consumatori de servicii în cadrul unei fabrici, integrat pe verticală și orizontală pentru a se alinia cu procesele de afaceri de producție și cu întregul lanț de aprovizionare [1].

Rețelele de senzori sunt utilizate în prezent în diverse configurații, cu sau fără fir, doar pentru monitorizare sau și pentru acționare, de sine stătătoare sau conectate la industria 4.0. Printre aplicații se numără fabricarea materialelor compozite [8], monitorizarea și controlul rețelelor electrice [4, 6], agricultura [26], casele inteligente [17], orașul inteligent [20] etc.

Sistemele și aplicațiile Sensor-Cloud (SCSA - Sensor-Cloud Systems and Applications) sunt, de asemenea, utilizate pe scară largă. O abordare nouă pentru monitorizarea și gestionarea mediului care combină IoT, Cloud Computing, Geoinformatică, teledetecție (RS), Sistemul de informații geografice (GIS), Sistemul de poziționare globală (GPS) și e-știință pentru monitorizarea și gestionarea mediului, cu un studiu de caz privind schimbările climatice regionale și efectele ecologice ale acestora este prezentată în [10].

Reprezentarea virtuală și modelarea joacă un rol semnificativ în descrierea și evaluarea consecvenței a SCSA. Utilizarea unui controler central în cloud poate duce la îmbunătățirea disponibilității senzorilor și a fiabilității datelor în monitorizarea la distanță. Utilizarea unei funcții de verificare a datelor de la toți senzorii dintr-o zonă oferă trei avantaje principale: detectarea defecțiunilor, mascarea defecțiunilor, gestionarea energiei [21].

Partea de cloud a SCSA este, de asemenea, un factor care contribuie în mare măsură la fiabilitatea întregului sistem. Un număr din ce în ce mai mare de Sisteme Fizico-Cibernetice (CPS) au fost implementate în platforme cloud, iar pentru a găzdui

numeroase aplicații CPS, centrele de date cloud sunt adesea compuse dintr-un număr uriaș de noduri fizice de calcul și de stocare, iar numărul acestora este în continuă creștere [24]. Gestionarea și programarea mașinilor virtuale (VM - Virtual Machine) joacă un rol important în asigurarea unui serviciu fiabil pentru utilizatorul final, optimizând în același timp utilizarea energiei și a resurselor [19].

Securitatea acestor sisteme distribuite se bazează pe autentificarea oricărei entități care introduce sau accesează date în cloud. Autentificarea partenerului de schimb de date, păstrând în același timp confidențialitatea, ridică o nouă problemă pentru SCSA. Unele protocoale de autentificare a utilizatorilor pentru WSN au fost propuse pentru a aborda această problemă [12].

Fiabilitatea și mentenabilitatea joacă un rol important în siguranța funcționării unei linii de producție. Tema optimizării proceselor de fabricație este analizată și din perspectivă holistică prin reluarea acțiunii de optimizare la niveluri succesive, ori de câte ori este necesar și anume de fiecare dată când trebuie luate noi decizii.

Tema sistemelor de tip industrie 4.0 acoperă și metodele de lucru din contextul depozitelor. În [13] sunt descrise în detaliu metodele și conceptele necesare pentru a realiza o abordare holistică a maturității operațiunilor din depozit prin crearea modelului de maturitate ergonomică.

2.2 Concluziile capitolului 2

În cadrul studiilor de doctorat am analizat peste 100 de referințe (articole, cărți, pagini web) cu scopul de a documenta situația în domeniu la momentul respectiv. Analiza critică a bibliografiei arată diverse abordări limitate din domeniul industriei 4.0, care aduc îmbunătățiri pe o temă restrânsă dar sunt incapabile să conlucreze într-un sistem integrat pentru a realiza adevăratul potențial al conceptului propus de a patra revoluție industrială.

În cercetarea științifică derulată am acordat atenție conceptului de integrare a mai multor tehnologii și sisteme din ecosistem. Am conceput o arhitectură bazată pe micro-servicii și am lucrat pe mai multe teme de microservicii, cu aplicabilitate specifică în lanțul de producție al mobilierului la comandă, precum: rețele de senzori, sistemele și aplicațiile sensor-cloud, sisteme SCADA, utilizarea cloudului în industrie, lanțuri de aprovizionare, manipularea datelor de mari dimensiuni, digital twin, comunicare automată între etape ale proceselor de producție, sisteme Computer Aided Design (CAD), sisteme Computer-Aided Manufacturing (CAM). Studiile despre fiabilitatea, mentenabilitate și securitate în mediul industrial din literatură nu sunt adaptate noilor tehnologii din era informațiilor digitale, de aceea am dedicat un capitol din teză acestor aspecte în contextul sistemului informatic bazat pe microservicii care integrează tehnologii IoT și IoS.

Capitolul 3

Monitorizarea surselor de materie primă

Aceast capitol prezintă un sistem expert pe care l-am proiectat și testat pentru aplicații de monitorizare a mediului forestier prin telemetrie. Sistemul include hub-uri de senzori și un server cloud central cu mai multe capacități. Prezintă o nouă abordare care constă în utilizarea senzorilor LIDAR plasați la nivelul solului pentru a obține date utile din mediul forestier.

3.1 Considerente teoretice privind monitorizarea surselor de materie primă

Silvicultura durabilă, sau gestionarea durabilă a pădurilor, este practica de gestionare a pădurilor pentru a satisface nevoile și dorințele actuale ale societății în ceea ce privește resursele forestiere, fără a compromite disponibilitatea acestora pentru generațiile viitoare. Noua înțelegere a beneficiilor pădurilor din țările puternic dezvoltate, cum ar fi reducerea emisiilor de dioxid de carbon în atmosferă, producția de apă, habitatele pentru fauna sălbatică, peisajele, recreerea și alte valori, prezintă un interes social mai mare decât producția comercială de lemn [2].

3.2 Modelul experimental pentru monitorizarea surselor de materie primă

Am proiectat un sistem expert pentru a monitoriza activitățile din zonele forestiere. Sistemul are două componente principale: hub-uri de teledetecție și un server central. Pot exista mai multe dispozitive de detecție răspândite pe o zonă de interes, fiecare fiind conectat fără fir prin internet la hub-ul central. Serverul central este responsabil pentru autentificarea și autorizarea dispozitivelor pentru a trimite date, pentru primirea și

stocarea datelor, pentru punerea datelor la dispoziția utilizatorilor prin intermediul unei interfețe web și a alertelor prin e-mail. Dispozitivul experimental al centrului de detecție este prezentat în Figura 3.1.

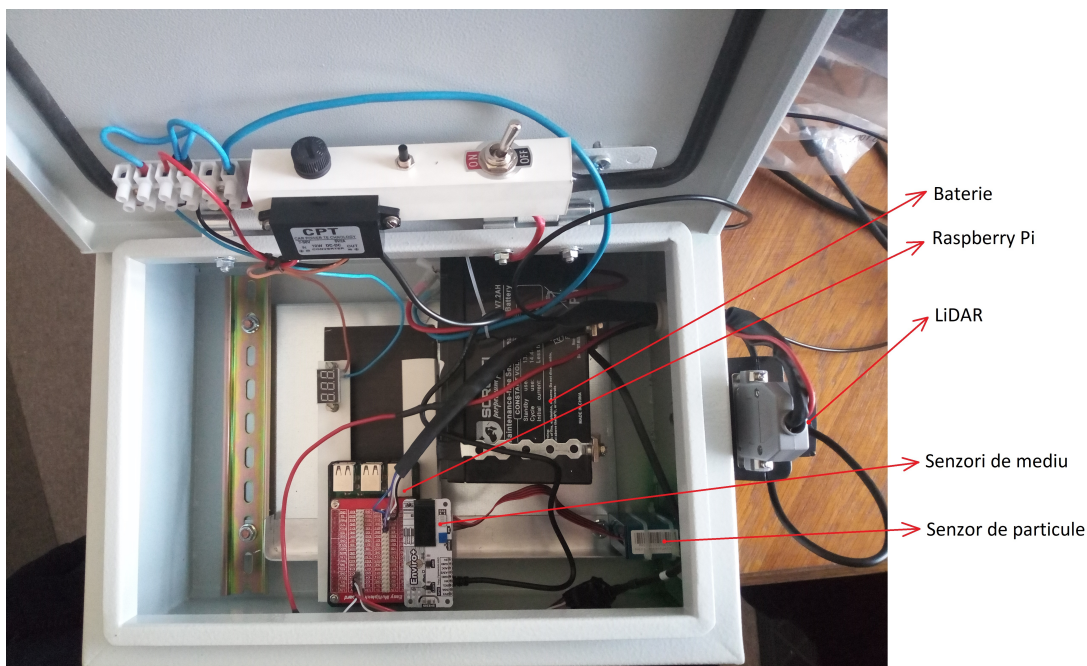


Figura 3.1 Modelul experimental al componentei de detecție [14].

3.3 Testare experimentală a sistemului de monitorizare a pădurii și rezultate

Pentru a evalua eficacitatea sistemului expert, a fost instalat un hub de teledetecție în apropierea marginii unei păduri. Prin plasarea unor obiecte între hub-ul senzorilor și copaci, am confirmat că LIDAR a fost capabil să detecteze obiectele străine, iar hub-ul central al sistemului expert a generat alerte. Figura 3.16 prezintă măsurarea de bază în albastru și măsurătoarea curentă în portocaliu. Există obiecte străine identificate cu succes pe baza medianei liniei de bază și a citirii curente.

În ceea ce privește serverul, prezentarea datelor LIDAR achiziționate de la locul de testare poate fi observată în interfața web, așa cum este prezentată în Figura 3.17.

3.4 Concluziile capitolului 3

Timul mic de reacție în cazul unor evenimente critice este foarte important. Sistemul pe care l-am dezvoltat s-a dovedit a fi eficient în identificarea situațiilor anormale și în trimiterea de alerte către utilizatorii înregistrați în aplicația web. În plus, cunoașterea

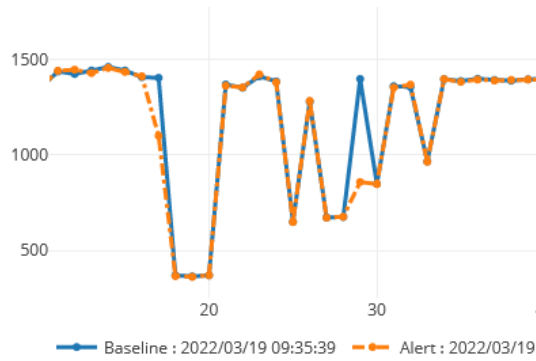


Figura 3.16 Alertă declanșată de obiect străin.

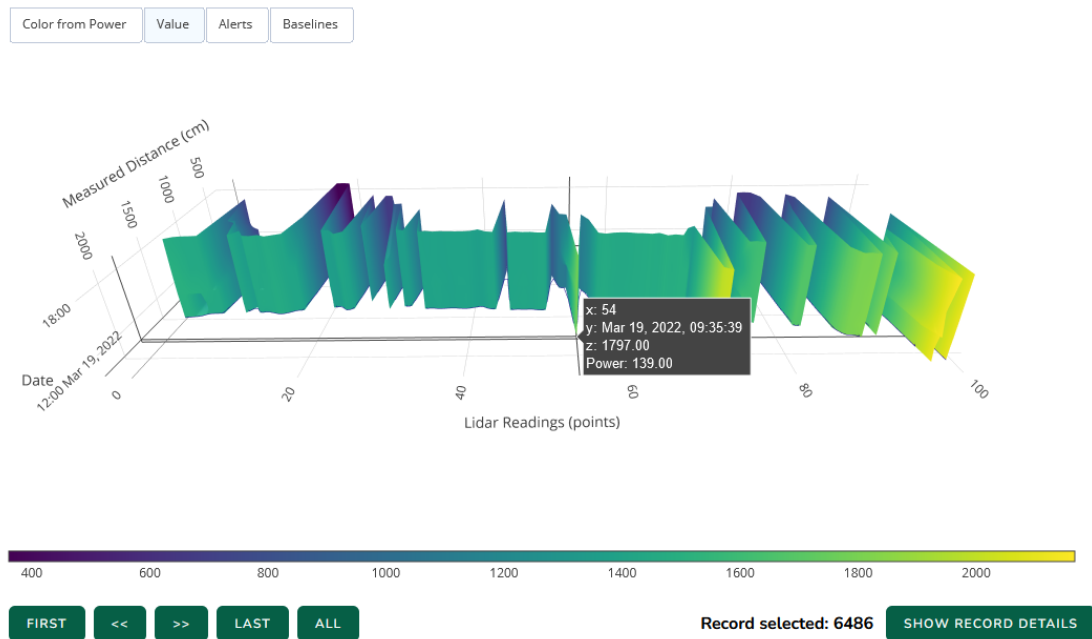


Figura 3.17 Vizualizarea datelor senzilor LIDAR în interfața web.

în timp real a condițiilor din pădure contribuie la creșterea siguranței oamenilor care intervin în situații de criză.

Contribuțiile personale și originale constau în realizarea arhitecturii sistemului expert, implementarea componentelor de software, integrarea componentelor, utilizarea senzorilor LIDAR ca o sursă de date viabilă în mediile forestiere, optimizarea sistemului pentru transmitere de alerte în mai puțin de un minut, realizarea de servicii și interfețe programabile pentru integrarea în sistemul general de industrie 4.0.

Rezultatele cercetării prezentate în acest capitol au fost diseminate și în alte articole din literatură. Articolul cu titlul *Evaluation of the Use of LIDAR Type Systems in Environmental Protection* a fost publicat în *2022 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR)* [14]. Articolul cu titlul *Ground level LIDAR as a contributing indicator in an environmental protection application* a fost trimis pentru publicare în revista *Expert Systems with Applications*.

Capitolul 4

Rețeaua electrică în sisteme de tip industrie 4.0

Activitățile prezentate în acest capitol sprijină eforturile de integrare a tehnologiilor de rețele inteligente într-un sistem informatic de tip industrie 4.0, contribuțiile sale constând în adaptarea tehnologiilor de contorizare inteligentă existente la cerințele industriale. Am pus accentul pe securitatea și accesibilitatea datelor, utilizând criptarea transmisiilor și tehnologiile speciale de grafice web adaptate pentru scopul proiectului.

4.1 Considerente teoretice privind rețeaua electrică inteligentă

Figura 4.5 prezintă principalele componente ale subsistemului cloud. Modulul de comunicare acceptă conexiunile primite de la unitățile de contorizare inteligentă distribuite la distanță și este responsabil de menținerea socket-ului, de autentificarea clientului și de autorizarea accesului la stocarea datelor și la comenzi. Modulul de generare a interfeței este responsabil de pregătirea vizualizării pentru a afișa datele la scara și raportul adecvate ale ecranului interfeței web.

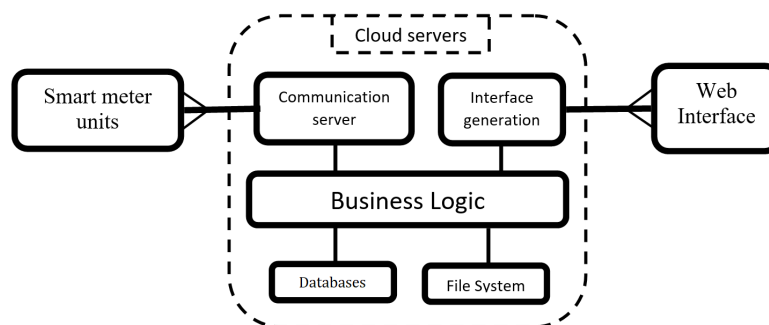


Figura 4.5 Diagrama subsistemului cloud [4].

4.2 Sitem de monitorizare a rețelei electrice

Sistemul înregistrează mai mulți parametri ai curentului electric la fiecare minut. Utilizatorii au posibilitatea de a mări sau micșora graficul pe axa orizontală pentru a obține vizibilitate la granularitatea dorită. Un astfel de exemplu este prezentat în Figura 4.7.

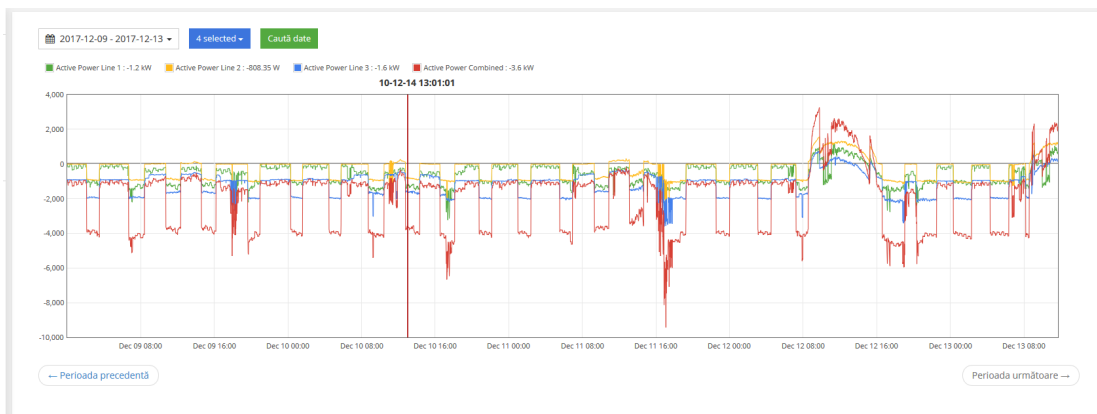


Figura 4.7 Diagrama liniară a datelor istorice [4].

Sistemul poate monitoriza mai multe contoare, în funcție de cerințele fiecărei implementări. Datele înregistrate de la fiecare zonă sau consumator pot fi utilizate ulterior pentru a consolida și valida informațiile introduse din alte surse în mediul industriei 4.0. Astfel de cazuri de utilizare includ timpul de funcționare a utilajelor, timpul de lucru al angajaților, consumul de energie și costurile.

4.3 Componenta de corecție a factorului de putere

Factorul de putere (PF) reprezintă o măsură de eficiență pentru utilizarea energiei electrice. În același timp, factorul de putere are o influență importantă asupra performanțelor utilajelor de producție cu motoare electrice utilizate într-o fabrică din ecosistemul industriei 4.0. Îmbunătățirea factorului de putere prin intermediul metodelor de corecție reduce sarcina transformatoarelor și a conductoarelor de putere, ceea ce duce la o reducere a pierderilor în alimentarea cu energie electrică și la creșterea sustenabilității.

Pentru un circuit de compensare a factorului de putere, am folosit o baterie de condensatoare în cinci trepte, primele două folosind câte 3 condensatori monofazici, iar următoarele 3 folosind condensatori trifazici, după cum urmează:

- Treapta I: $3 \times 9.6\mu F$, 0.83kvar, 1.6A, 525V;
- Treapta II: $3 \times 11.6\mu F$, 0.83kvar, 1.73A, 480V;
- Treapta III: $6.6\mu F$, 1kvar, 1.4A, 400V;
- Treapta IV: $6.6\mu F$, 1kvar, 1.4A, 400V;
- Treapta V: $9.95\mu F$, 1.5kvar, 2.2A, 400V.

Am dezvoltat un echipament format dintr-un dispozitiv Ducati Energia R5 485 care controlează bateria de condensatoare și un dispozitiv IoT Raspberry Pi 3 cu

programul corespunzător, mai multe posibilități de comandă și control și un grad ridicat de automatizare, schema de ansamblu fiind prezentată în Figura 4.9.

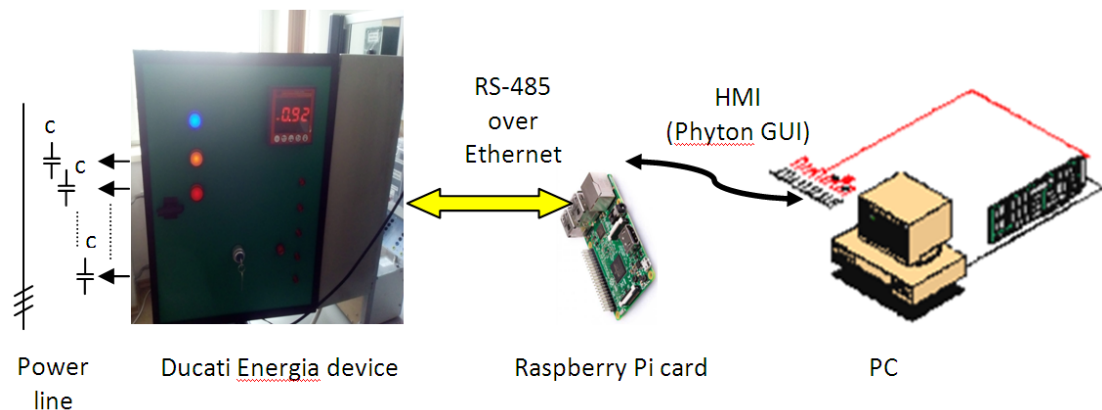


Figura 4.9 Reprezentarea schematică a ansamblului propus pentru corecția factorului de putere [6].

Aplicația dezvoltată a fost realizată în Phyton, iar interfața cu utilizatorul se prezintă sub forma unei pagini HTML, pentru o compatibilitate maximă a aplicației. Rutele accesibile către aplicație au fost împărțite în două categorii: publice și private. Rutele publice sunt index și login, care sunt accesibile pentru oricine, în timp ce rutele private necesită autentificarea cu nume de utilizator și parolă și includ read, admin și logout.

4.4 Concluziile capitolului 4

Contribuțiile personale și originale constau în realizarea unui sistem de achiziție și monitorizare a parametrilor de energie electrică furnizați de contoarele inteligente pentru a asigura întreruperea alimentării în condiții critice, sporind securitatea într-o fabrică cu sistem industrie 4.0. Am analizat modalități de comunicare între echipamente industriale și am realizat un sistem diferit de transmisie securizată a datelor spre serverele din cloud. Am implementat servicii de validare încrucișată, cum ar fi timpul de lucru și timpii de funcționare a utilajelor. Am îmbunătățit parametrii rețelei electrice prin adăugarea unei componente de corecție a factorului de putere și am realizat o conexiune originală între controllerul bateriei de condensatoare și sistemul general de industrie 4.0.

Rezultatele cercetării prezentate în acest capitol au fost diseminate și în alte articole din literatură. Articolul cu titlul *Electric grid monitoring and control architecture for industry 4.0 systems* a fost publicat în *2018 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE)* [4]. Articolul cu titlul *Improving the Efficiency and Sustainability of Power Systems Using Distributed Power Factor Correction Methods* a fost publicat în revista *Sustainability* [6].

Capitolul 5

Asigurarea calității în fabricarea materialelor compozite

Materialele compozite sunt fundamentale pentru mediul industrial de astăzi, oferind caracteristici speciale care nu pot fi obținute cu ajutorul materialelor naturale brute.

5.1 Utilaje de producție a materialelor compozite

Există mai multe tehnici de fabricare a materialelor compozite, printre care: așezarea manuală, așezarea asistată în vid, infuzia de rășină, pulverizarea, turnarea prin transfer de rășină (RTM - Resin Transfer Molding) și turnarea prin VARTM. Metoda așezării manuale este o metodă simplă, dar eficientă, care necesită investiții de capital reduse pentru producerea materialelor compozite. Metodele de injecție a rășinii conduc la produse de cea mai bună calitate, iar procesul VARTM, prezentat în Figura 5.2, garantează că substanțele potențial nocive utilizate sunt conținute în sacul de vid.

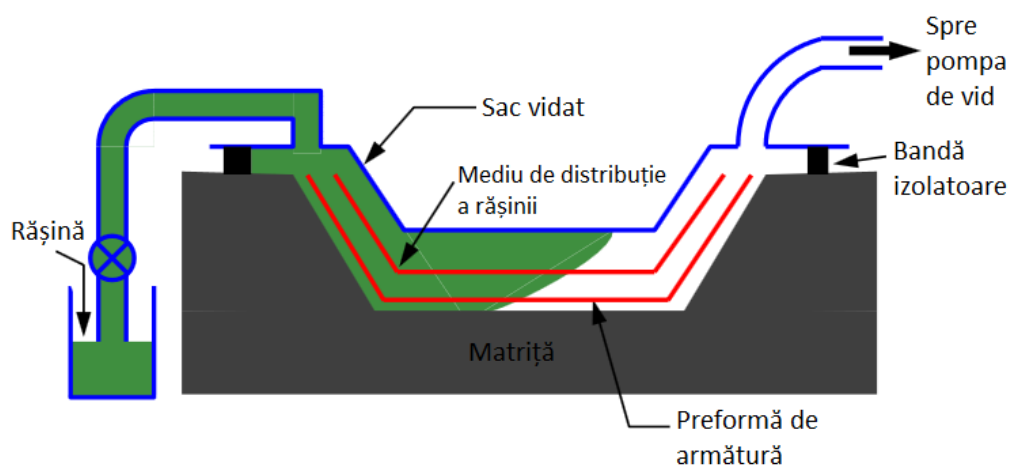


Figura 5.2 Schema procesului VARTM [22].

Această abordare este testată la fabricarea panourilor sandwich multifuncționale realizate din materiale compozite ranforsate cu fibre ca materiale de construcție pentru aplicații în sectorul construcțiilor. Aceste panouri pot fi utilizate ca elemente de pereți despărțitori, oferind niveluri acceptabile sau chiar îmbunătățite de izolare fonică și termică în comparație cu elementele de perete convenționale, dar și funcții suplimentare, cum ar fi capacitățile de stocare a energiei.

Pentru a atinge nivelul de control necesar, propun un sistem bazat pe senzori distribuiți, care comunică cu un hub central responsabil cu agregarea datelor, interpretarea acestora și luarea deciziilor bazate pe date.

5.2 Senzori pentru monitorizarea producției

Conceptul ales pentru monitorizarea producției materialelor compozite este fezabil. Cu toate acestea, implementările necesită soluții tehnologice specifice, realizate special pentru fiecare ocazie și independente între ele. Pentru a depăși aceste limitări, am creat un sistem modular, scalabil și ușor de interfațat cu sisteme terțe din industria 4.0, în același timp fiind și ușor de gestionat de către utilizatori și operatori care nu sunt neapărat dotați cu o competență tehnologică specifică.

Pentru a detecta prezența sau apropierea unui obiect am folosit senzorul de proximitate în infraroșu. Detectarea temperaturii mediului, a presiunii barometrice și a umidității mediului se realizează de o unitate separată și independentă, conectată la aceeași magistrală comună a întregului sistem. Proprietățile mecanice finale ale materialelor compozite depind în mare măsură de evenimentele reologice care au loc în timpul ciclului de polimerizare. În special, măsurarea în câmp complet a temperaturii în timpul fazei de polimerizare a panourilor compozite poate oferi informații importante despre comportamentul mecanic al acestora [11].

5.3 Rețea de senzori

Pentru a interconecta toate modulele componente între ele, am ales o magistrală de comunicație bidirecțională capabilă să suporte un număr dinamic de componente, fără a face distincție între rolul lor de master sau de slave. Protocolul MODBUS definește formatul și modul de comunicare între un “master” care gestionează sistemul și unul sau mai mulți “slave” care răspund la interogările masterului. Protocolul definește modul în care master și slaves stabilesc și întrerup comunicarea, cum trebuie identificați emițătorul și receptorul, cum trebuie schimbate mesajele și detectate erorile.

5.4 Studiu de caz privind monitorizarea procesului de fabricare a materialelor compozite

A fost proiectată și dezvoltată o arhitectură a instalației de testare, ținând cont de observațiile făcute în secțiunile anterioare și de scenariul de testare vizat pentru fabricarea panourilor din materiale compozite. Configurația este construită în jurul unui computer cu o singură placă Raspberry Pi cu memorie flash integrată.

În cazul particular al fabricării materialelor compozite, senzorii utilizați în matrice sunt: temperatura mediului înconjurător, presiunea mediului înconjurător, umiditatea mediului înconjurător, densitatea particulelor din mediu pentru mai multe tipuri de particule și matrice de temperatură pentru monitorizarea fiecărui panou compozit pe măsură ce este produs.

Pentru a profita de informațiile furnizate de rețeaua de senzori distribuiți, computerul cu o singură placă Raspberry a fost conectat la un hub de facilitare a industriei 4.0 utilizând API special dezvoltat pentru această funcție. Punctele de comunicație necesare sunt prezentate mai jos.

Pentru a autentifica computerele cu o singură placă care se conectează la hub-ul principal, fiecare dintre acestea are un token unic generat de sistem. Fiecare punct de acces la API așteaptă un JSON Web Token (JWT) furnizat în proprietatea jwt din corpul cererii.

Sistemul fizico-cibernetice descris în acest capitol reprezintă un cadru care poate fi adaptat pentru a crea o matrice de monitorizare scalabilă pentru diverși senzori, în funcție de necesități.

5.5 Concluziile capitolului 5

Contribuțiile personale constau în realizarea arhitecturii sistemului distribuit de monitorizare a producției, evaluarea senzorilor viabili, implementarea nodurilor de achiziție de date, transferul datelor către cloud prin tehnologii moderne bazate pe JSON. Prin integrarea unei matrice de senzori cu un hub al industriei 4.0, datele au fost puse la dispoziția operatorilor într-un mediu familiar, facilitând deciziile bazate pe date.

Rezultatele cercetării prezentate în acest capitol au fost diseminate în articolul cu titlul *Distributed Sensors Array for Composite Materials Manufacturing Quality Assurance* care a fost publicat în *2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)* [8].

Capitolul 6

Coordonare de tip just in time în procesele industriei 4.0

Conceptul just in time (JIT), sau tocmai la timp este unul dintre cele mai importante concepte în tehnologia dezvoltată de companiile din IT, care au ajuns să fie folosite în toate domeniile. În context industrial, JIT este o metodologie de lucru care ajută la creșterea competitivității, în principal prin reducerea stocului. JIT este o temă de cercetare activă din domeniul industriei 4.0.

6.1 Proces de planificare în fabricarea JIT

În situația unei fabrici de mobilier la comandă tratată în cadrul acestei lucrări, particularizez și optimizez fluxul după atribute specifice industriei. Având în vedere faptul că se lucrează proiecte de amenajare interioară cu un grad de similitudine, se identifică materia primă utilizată frecvent și se creează un stoc tampon în cadrul fabricii. Pentru componentele utilizate ocazional, se urmărește stabilirea de relații comerciale cu furnizorii, inclusiv termene de livrare și liste de prețuri. Mai mult, se realizează contracte cu mai mulți furnizori care pot livra produse similare, substituibile.

6.2 Livrarea JIT

Livrarea JIT într-un sistem fizico-cibernetice este concepută pentru a sprijini un proces de flux de materiale JIT. Sistemul echilibrează stocul de materiale pe baza datelor în timp real și a tehnologiilor industriei 4.0. Conceptul JIT a fost definit prima dată în 1982 ca “acțiunea de a avea piesele potrivite la momentul potrivit și în cantitatea potrivită” [16]. Această definiție ilustrează foarte bine conceptul în ceea ce privește livrarea materiei prime și a produselor finite, însă a fost îmbogățit cu noțiuni noi legate de industria 4.0 pentru a fi aplicabil într-o fabrică modernă cu opțiuni de particularizare a produsului finit în funcție de cerințele clientului.

Scopul aplicației fizico-cibernetice dezvoltate a fost înlocuirea teoriei cartelelor Kanban cu o soluție digitală, integrată pe verticală, pentru comunicare mașină la mașină (M2M). Conceptul prezentat în Figura 6.3 a fost acela de a crea un flux de informații fără întreruperi între comanda de fabricație, livrarea materialelor, stocul de materiale și consumul de materiale, precum și o comandă automată de achiziție către furnizor.

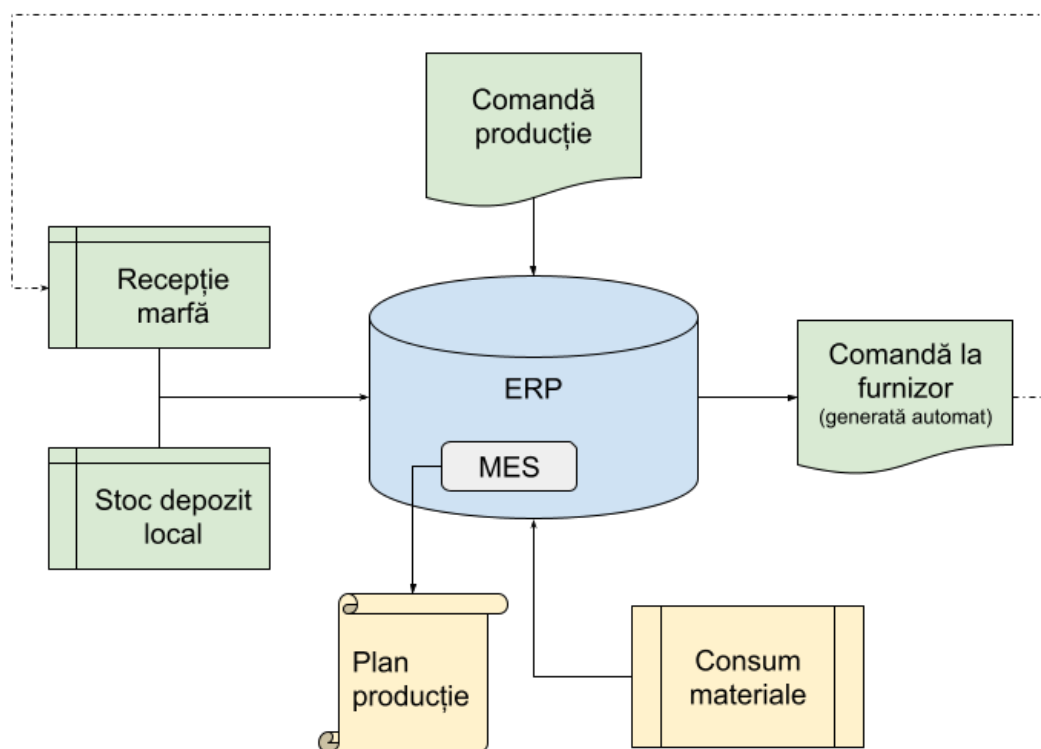


Figura 6.3 Livrarea JIT pentru MES în industria 4.0.

Un beneficiu suplimentar a fost dat de creșterea nivelului de trasabilitate și a fiabilității procesului. Livrarea JIT implementată permite eliminarea pas cu pas a stocurilor aflate în depozitul fabricii și minimizează spațiul necesar.

6.3 Concluziile capitolului 6

Contribuțiile personale originale constau în adaptarea principiilor JIT pentru activitățile de aprovizionare și planificare în procesul de producție de mobilier la comandă. Am realizat arhitectura unui sistem informatic dedicat și l-am implementat ca microservicii în cadrul sistemului general de industrie 4.0. În interfața cu utilizatorul acestea se observă în componenta de ERP pentru gestiunea resurselor și în componenta MES pentru managementul producției.

Capitolul 7

Fiabilitatea sistemelor în domeniul industriei 4.0

Am avut ocazia să proiectez și să dezvolt o aplicație SSC, pentru a crea o arhitectură IoT de referință pentru produse inteligente. Scopul său este de a transforma informațiile în cunoștințe de-a lungul ciclului de viață al produsului, îmbunătățindu-se astfel calitatea produselor și serviciilor, eficiența și durabilitatea.

7.1 Considerente teoretice privind fiabilitatea în industria 4.0

Transmiterea datelor joacă un rol crucial în orice aplicație SSC. Rețeaua este responsabilă de transferul datelor de la senzori către cloud, transmiterea de comenzi către hub-uri de senzori descentralizate și comunicarea deciziilor către actuatori.

Pentru a defini capacitatea medie de transport, folosim ecuația lui Claude Shannon care definește rata de transfer date a unui canal cu zgomot, bazat pe ecuația lui Nyquist pentru canale fără zgomot, (7.1).

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (7.1)$$

Capacitatea C a unui canal este cantitatea de informații, în biți, care poate fi transmisă într-o secundă printr-un canal având o lățime de bandă W și un raport S/N de semnal S la zgomot N .

7.2 Model de calcul a fiabilității

Pentru a putea măsura și compara fiabilitatea SSC, este necesar un punctaj general. Propun o formulă pe baza celor cinci domenii principale de fiabilitate discutate în

secțiunea anterioară, rezultând o sumă de 5 factori R_x cu coeficienții lor corespondenți, K_x , conform relației (7.3):

$$R = K_n R_n + K_r R_r + K_b R_b + K_t R_t + K_s R_s \quad (7.3)$$

Fiecare dintre factorii de fiabilitate R_x este un procent cu o valoare între 0 și 1, în timp ce coeficienții K_x pot fi reorganizați cu condiția $\sum K_x = 10$, rezultând un scor maxim de fiabilitate $R = 10$.

Ținând cont de impactul pe care fiecare dintre cele cinci domenii o are asupra SSC, am stabilit următoarele coeficienți:

- Rețea $K_n = 4$
- Recuperare $K_r = 1$
- Backup $K_b = 1$
- Testare $K_t = 2$
- Securitate $K_s = 2$

7.3 Testare experimentală a fiabilității și rezultate

7.3.1 Fiabilitatea rețelei

Scorul de fiabilitate a fost calculat pentru fiecare scenariu, luând în considerare o lățimea medie de bandă necesară de 20 Mbps. Rezultatele prezentate în Tabelul 7.3 relevă o variație de 0.29 între cele mai bune și cele mai proaste scenarii testate.

Tabel 7.3 Fiabilitatea comunicațiilor în rețea [3].

Mod funcționare	Latență	Rata retransmisie	Lățime de bandă	R_n
Wireless Soft AP	0.247 s	13.78%	28 Mbps	0.643
Wireless Station	0.239 s	11.87%	35 Mbps	0.699
Cable	0.001 s	0.01%	100 Mbps	0.932

7.3.2 Testarea procesului de recuperare automată

Modelul de testare a fost dezvoltat cu recuperare automată pentru mai multe componente. Dispozitivul încorporat este setat să reia operațiunile după pene de curent, să repornească singur atunci când un senzor nu răspunde și să repornească, cu actualizare opțională de firmware, când este solicitat de serverul cloud. Locația de testare a suferit întreruperi frecvente și scurte de alimentare. S-au înregistrat rezultatele recuperării ca o comparație între un controler cu recuperarea automată activată și unul care necesita intervenție manuală.

7.3.3 Testarea sistemului de backup local

Pentru a testa backup-ul local, s-a folosit un card de memorie evaluat la capacitate de 8 GB și UHS Clasa I. Controlerul a fost conectat la 4 senzori, unul fiind o cameră Full HD care înregistrează o zonă cu mișcare ocazională. Conexiunea de internet la cloud a fost întreruptă pentru a forța backupul local. Memoria s-a umplut până la 90% în 3 ore și 46 de minute, rezultând un bitrate mediu de 4247 kbps.

7.3.4 Verificarea sistemului de testare automată a software-ului

Acoperirea medie a codului a fost de 68%. Indicatorul de fiabilitate a testării, R_t , a crescut în acest caz de la 0 la 0,68.

7.3.5 Audit de securitate

Pentru a identifica vulnerabilități la atacurile cibernetice și pentru a securiza sistemul am folosit un set de teste de penetrare predefinite [18]. S-au efectuat o serie de teste care vizează infrastructura și aplicația web cloud și s-au identificat un număr total de 2 riscuri de securitate ridicate, 12 riscuri medii și 18 riscuri scăzute. Prin utilizarea politicii de fiabilitate, vulnerabilitățile au fost identificate și rezolvate. Indicatorul de fiabilitate a securității, s-a îmbunătățit de la 0,238 la 0,833.

7.4 Concluziile capitolului 7

Au fost discutate cinci domenii cu impact asupra fiabilității sistemului și s-a propus o abordare nouă de îmbunătățire a fiabilității IoT, bazată pe niveluri și orientată spre rezultate. Este o nouă politică, propusă pentru a asigura fiabilitatea unui SCS prin luarea de măsuri în cinci domenii principale.

Este prezentată o nouă formulă pentru a măsura și compara fiabilitatea SCS complexe. Fiabilitatea pe o scala de 10 puncte a crescut cu peste 4,5 puncte în cazul sistemului prezentat în această capitol, dovedind eficacitatea politicii originale de fiabilitate bazată pe o abordare pe mai multe niveluri.

În articolul [3] din lista de lucrari originale publicate este prezentată modalitatea de evaluare a fiabilității sistemului. Acesta a fost diseminat cu titlul *Techniques to Improve Reliability in an IoT Architecture Framework for Intelligent Products* în revista *IEEE Access*.

Capitolul 8

Digital twin în industria 4.0

Conceptul de geamăn digital, sau digital twin (DT), se referă la reprezentări digitale formale ale unei entități fizice, proces sau sistem care captează atributele și comportamentele entității respective și care sunt adecvate pentru comunicarea, stocarea, interpretarea sau prelucrarea într-un anumit context.

Creierul digital este un concept care extinde DT pentru a acoperi întregul ciclu de viață al produselor industriale, transformându-l astfel într-o entitate inteligentă cu capacități de analiză și de sprijinire a deciziilor. Facilitează punerea în aplicare a producției ca serviciu, sau Manufacturing as a Service (MaaS).

8.1 Considerente teoretice privind digital twin

Tema tratată în acest capitol presupune crearea unui sistem informatic complex care servește interesele multor departamente din cadrul unei întreprinderi. În practică există deja soluții informatice pentru anumite necesități din mediul de afaceri, unele fiind deja implementate în companie.

Microserviciile, sau arhitectura de sistem bazată pe microservicii, este un stil arhitectural care structurează o aplicație ca o colecție de servicii care sunt ușor de întreținut și de testat individual, interconectate într-un mod flexibil și care pot fi implementate în mod independent.

8.1.1 Sistem integrator în cloud

Rolul sistemului integrator în cloud este de a asigura comunicarea între mai multe servicii și de a expune o interfață unică către utilizator. De-a lungul timpului s-au conturat mai multe șabloane de arhitecturi pentru componente din cadrul unui sistem informatic. La nivelul de infrastructură software de server, se regăsesc elemente de orchestrare a microserviciilor care au rolul de a îmbina toate componentele într-un sistem informatic integrat și unitar.

8.1.2 Subsystem de proiectare

Utilizând sistemul API din AutoCad s-au dezvoltat aplicații dedicate pentru proiectarea parametrică a mobilierului. Software-ul imos este o astfel de soluție care folosește proiectarea parametrică ca o metodă centrată pe calculul algoritmic. Toate obiectele de mobilier au atașate metainformații în baza de date relațională. Aceste date sunt folosite pentru a genera liste de materiale, estimări de cost și oferte pentru client, liste de plăci cu dimensiuni pentru tăiere, etichete pentru trasabilitatea elementelor în fabrică, desene explodate pentru acțiunea de asamblare etc. Mai mult, aceste date sunt necesare pentru a realiza funcția CAM, utilizarea de software și de utilaje controlate de calculator pentru a automatiza un proces de fabricație. Informația CAD este folosită pentru a genera trasee de scule, acțiuni precum tăiere, găurire sau frezare, pe care utilajele le execută pentru a realiza o piesă. Postprocesarea convertește traseele de scule într-un limbaj pe care mașinile cu comandă numerică îl pot înțelege.

8.1.3 Subsystem de prezentare virtuală

Realitatea virtuală poate fi un instrument important pentru dezvoltarea afacerilor, aducând proiecte la viață. Adopția echipamentelor pentru VR este încă la un nivel scăzut datorită costurilor prohibitive. De aceea, un pas intermediar semnificativ poate fi utilizarea tehnologiilor existente pentru a prezenta modele 3D direct în browser, oferind posibilitatea explorării libere a spațiului la scară ca într-un joc pe calculator.

8.1.4 Managementul codului sursă

Integrarea continuă (CI) este o practică pe care dezvoltatorii o folosesc pentru a detecta, localiza și corecta erorile prin integrarea frecventă a codului și prin rularea de teste automate. Livrarea continuă (CD) asigură faptul că softul verificat prin CI se află întotdeauna într-o stare pregătită pentru a fi implementat, reducând timpul de implementare și creând o buclă de feedback rapidă și eficientă între dezvoltatori și utilizatori.

8.2 Model experimental de sistem informatic dedicat unei întreprinderi din domeniul mobilier la comandă

Pe baza conceptelor teoretice prezentate în secțiunea precedentă am conceput și implementat un sistem informatic dedicat unei întreprinderi din domeniul mobilier la comandă. Iwerp, abreviere de la Intelligent Wood Enterprise Resource Planning.

Principalele module ale Iwerp sunt prezentate în Figura 8.8. Pe fundal albastru sunt reprezentate modulele esențiale pentru urmărirea proiectelor, activității de vânzări, relației cu furnizorii și resurselor companiei. Pe fundal galben sunt reprezentate modulele

de depozit și producție care asigură organizarea și funcționarea fabricii de producție a mobilierului la comandă. Suplimentar, se utilizează modulul pentru personal în care se înregistrează pontajul, alocarea muncii pe proiecte și se generează rapoarte de productivitate pe angajat. Modulul pentru parcul auto este dedicat administrării parcului auto și a deplasărilor. Pe linia de jos din figură sunt reprezentate modulele de server care ajută interfața cu utilizatorul cu funcții precum import și export de date, stocare de fișiere și date relaționale, API pentru conectarea cu alte sisteme, procesarea de informații pentru generarea de rapoarte etc.

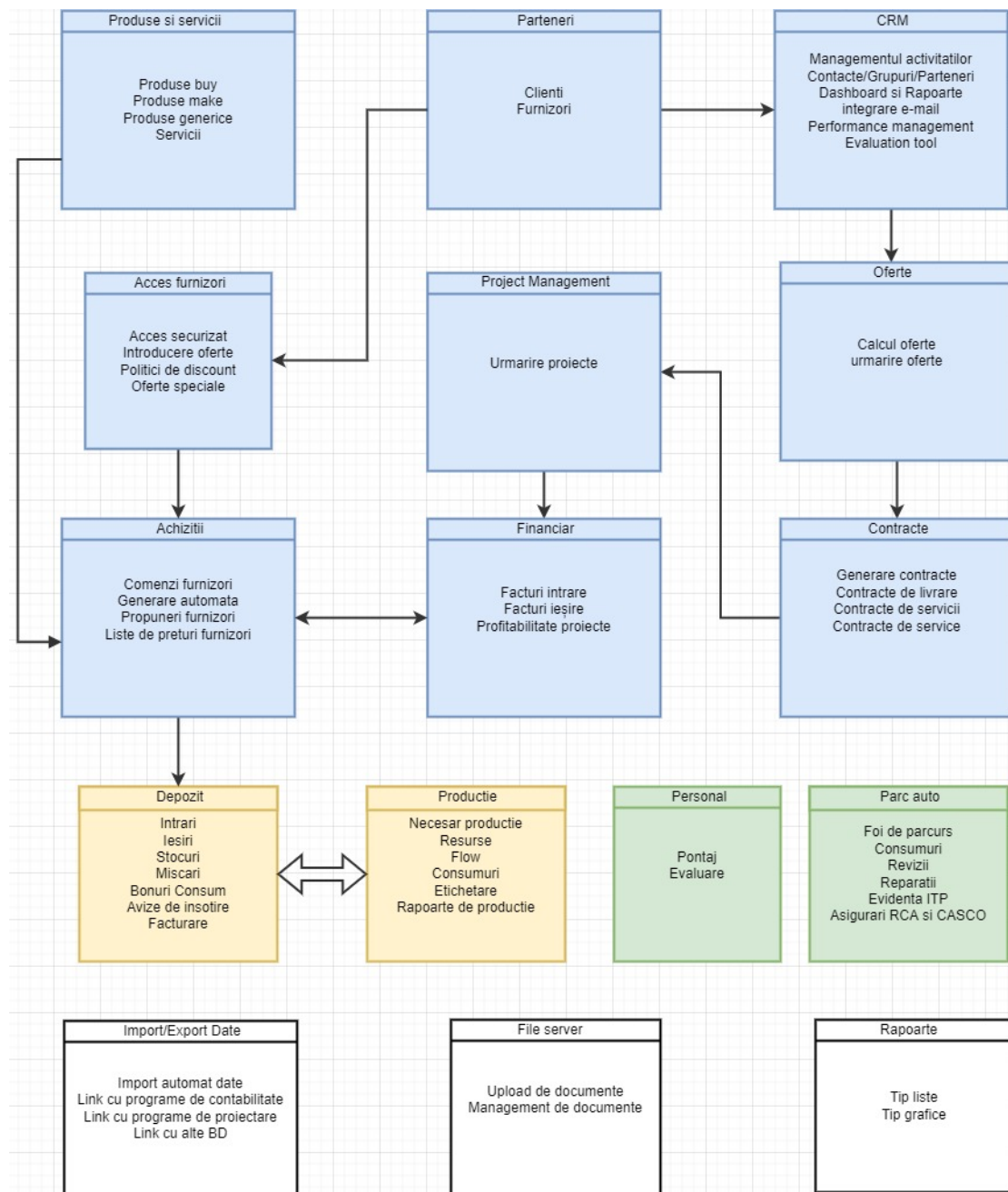


Figura 8.8 Diagrama modulelor sistemului informatic de tip DT iwerp.

8.2.1 Sistem pentru managementul relației cu clienții

Sistemul DT are scopul de a crea un sistem de fabricație flexibil, o metodă de producție concepută pentru a se adapta cu ușurință la schimbările de tip și cantitate ale produsului fabricat. Mașinile și sistemele computerizate pot fi configurate pentru a fabrica o varietate de piese și pentru a face față schimbărilor. Primul pas din procesul de business este relația cu clienții, activitate urmărită în DT prin microserviciul de Customer Relationship Management (CRM).

8.2.2 Microservicii pentru gestionarea proiectelor

Oportunitățile ale căror oferte propuse de furnizor sunt acceptate de către client devin automat proiecte. Microserviciul pentru proiecte primește o serie de informații despre client și cerințele acestuia de la microserviciul de CRM. Odată ce oportunitățile devin proiecte, în meniu este afișată o pagină principală care cuprinde detaliile proiectului, stadiul, progresul și eventualele observații. În această pagină sunt disponibile și acțiuni pentru actualizarea proiectului din sistemul DT pe măsură ce implementarea progresează în realitate.

8.2.3 Microservicii pentru gestionarea materiei prime

Microserviciul depozit este responsabil pentru evidența digitală a tuturor obiectelor, mărfurilor și materiilor prime aflate pe suprafața fabricii. Se pot defini mai multe depozite cu locații diferite și persoane de contact, iar în cadrul fiecărui depozit pot exista mai multe gestiuni. Stocul cantitativ este înregistrat de responsabilii de gestiune, urmând ca valoarea financiară să fie asociată prin legarea facturilor de note de intrare/ieșire din depozit.

8.2.4 Microservicii pentru gestionarea producției

Activitățile de producție din fabrică sunt reprezentate digital în sistemul informatic DT. În ordinea cronologică a fluxului de proces, se începe prin afișarea devizelor estimative din ofertă și contract alături de schițe și alte fișiere din șantier. În pasul următor se generează listele de materie primă și se salvează într-o comandă internă. Pentru un import rapid, am realizat o conexiune a microserviciului cu baza de date MSSQL a sistemului de proiectare CAD imos.

8.2.5 Catalog de corpuri configurabile

Utilizând uneltele puse la dispoziție de imos am realizat un catalog de corpuri care acoperă majoritatea necesităților pentru amenajarea unui spațiu rezidențial. Aceste corpuri au fost apoi parametrizate pentru a permite configurarea rapidă a dimensiunilor și

altor atribute precum: decorul de material pentru carcasă și uși, număr de polițe, număr de sertare, mecanisme pentru sertare, balamale, sisteme de ridicare etc. Interfața cu utilizatorul este un formular cu diverse opțiuni de configurare pentru fiecare tip de corp. Formularul este disponibil ca o fereastră în cadrul programului de proiectare AutoCAD cu extensia imos, dar și în format web pentru magazinul online al producătorului de mobilier la comandă.

Catalogul de corpuri configurabile integrat în sistemul DT are un rol foarte important în transformarea rapidă a cerințelor clientului în schițe tehnice și detalii de execuție care sunt folosite pentru estimarea precisă a costurilor și ofertarea proiectului, dar și pentru lansarea comenzii de producție către fabrică.

8.3 Testare experimentală în domeniul fabricării de mobilier la comandă și rezultate

Structura modulară a sistemului informatic a făcut posibilă implementarea în etape. Pentru început, am realizat structura de bază a sistemului și am pus la dispoziția utilizatorilor modulul de organizare a informațiilor pe proiecte. În continuare am implementat microserviciile pentru evidența stocurilor. Necesarul de materie primă se preia automat din proiectare, cantitățile disponibile în depozite sunt actualizate în timp real. Folosind aceste fluxuri de informații de încredere, alături de regulile de stoc minim / maxim și comenzile de achiziții în curs de livrare, sistemul DT generează automat comenzi de achiziții pentru cantitățile necesare.

Datele de intrare de la microserviciile de proiectare și depozit oferă claritate managerului de fabrică care se ocupă de planificarea activității zilnice utilizând funcțiile MES din sistemul informatic DT implementat. Transferul digital al informațiilor între module a dus la eliminarea greșelilor care apăreau la copierea manuală a datelor.

8.4 Concluziile capitolului 8

Contribuțiile personale și originale constau în realizarea arhitecturii sistemului informatic integrat de tip DT, concepția și implementarea procedurilor de lucru pentru managementul codului, implementarea sistemului de configurare de mobilier conectat la desene CAD cu detalii de execuție, realizarea componentei de prezentare virtuală interactivă în format web, conceptul de interconectare a tuturor sistemelor într-o interfață standardizată pentru angajați, implementarea de legături între datele generate de componente și obținerea de informații de nivel înalt, utile în procesele de business.

Capitolul 9

Concluzii

Primele trei revoluțiile industriale au dus la produse standardizate. Motorul cu abur, linia de producție în masă și automatizarea cu roboți au urmărit același scop, optimizarea volumului de produse prin optimizare a proceselor de producție folosind standardizarea și evoluția tehnologică. Henry Ford spunea “puteți avea modelul T în orice culoare, atâta timp cât este negru”. Cea de-a patra revoluție industrială are loc chiar acum, având ca scop furnizarea de produse personalizate prin utilizarea CPS.

Deși noțiunea de industrie 4.0 a fost intens cercetată și testată în ultimii 10 ani, încă nu există un consens privind o definiție clară și specifică. Este clar că toate aceste eforturi au avut un impact pozitiv asupra mediului industrial în general și încă există un potențial uriaș în domeniu. Recunoscând acest potențial, în cadrul tezei de doctorat m-am concentrat pe analiza și sintetizarea abordărilor și tehnologiilor existente, cu scopul de a realiza o soluție adaptată pentru procesul de fabricația a mobilierului la comandă, păstrând în același timp posibilitatea de expansiune pe orizontală a aplicativității soluției.

Scopul sistemului descris în această lucrare este de a atinge un nivel ridicat de adaptabilitate, predictibilitate, fiabilitate a întregului proces industrial și de afaceri. Acest obiectiv a fost atins prin utilizarea unei combinații de internetul lucrurilor, sisteme cloud, interconectarea sistemelor și analiză avansată a datelor, printre altele. Această nouă viziune definește ecosistemul industriei 4.0 ca pe un set conectat, dar descentralizat, de furnizori de servicii și consumatori de servicii în cadrul fabricii, integrat pe verticală și orizontală pentru a se alinia cu procesele de afaceri, de producție și cu întregul lanț de aprovizionare.

9.1 Rezultate obținute

Sistemul informatic realizat asigură conectivitatea pentru sistemele descentralizate, pentru a crea un mediu de producție inteligent, capabil să comunice și să ia decizii optime. Au fost dezvoltate elementele cheie ale ecosistemului industriei 4.0 specifice pentru industria de mobilier, interconectând și susținând în același timp tehnologiile și

produsele de la orice producător. Tehnologiile din spatele soluției sunt interconectivitatea susținută de cloud cu o arhitectură distribuită, protocoale de comunicare securizate și standarde de proceduri care fac parte din procesul de producție modern.

9.2 Contribuții originale

Contribuții originale pe care le-am publicat:

1. studiu privind influența culorii cutiei rezistente la apă asupra senzorilor din interior [25];
2. sistem de monitorizare și control a rețelei electrice pentru sisteme de tip industrie 4.0 [4, 5];
3. sistem de monitorizare telemetrică a culturilor agricole [26];
4. sistem de senzori distribuiți pentru asigurarea calității în fabricarea materialelor compozite [8];
5. metode distribuite de corectare a factorului de putere cu scopul îmbunătățirii eficienței și durabilității sistemelor de putere [6];
6. metodă de localizare a sursei de semnal în cazul unei rețele de senzori [15];
7. tehnici de îmbunătățire a fiabilității într-o arhitectura IOT pentru produse inteligente [3];
8. tehnologie bazată pe IoT, cloud și inteligență artificială pentru evaluarea consumului de energie [7];
9. evaluarea utilizării sistemelor de tip LIDAR în protecția mediului [14].

Contribuții originale prezentate pentru prima dată în această teză de doctorat:

1. am conceput o strategie de aplicare a conceptelor JIT în industria 4.0;
2. am creat o arhitectură de microservicii în cloud pentru industria de fabricare a mobilierului;
3. am creat un sistem de configurare a corpurilor de mobilier cu legătură directă la modelul CAD;
4. am implementat metodă de prezentare a conceptelor de amenajări interioare VR și 3D în browser;
5. am folosit mai multe sisteme de programare pentru realizarea acestor sisteme informatice. Metricile pentru codul sursă sunt următoarele:
 - PHP: peste 43,000 linii de cod;
 - JavaScript: peste 6,000 linii de cod;
 - CSS: peste 1,300 linii de cod;
 - shell scripts: peste 400 linii de cod;
 - XML: peste 230,000 linii de cod;
 - SQL: peste 130 de tabele.

9.3 Lista lucrărilor originale

Lucrări publicate în reviste

- [26] Adrian ZARNESCU, Razvan UNGURELU, Mihai SECERE, **Ciprian Mihai COMAN**, Gaudentiu VARZARU, “*Putting Internet-of-Things at the service of sustainable agriculture. Case study: Sysagria*”, Universitatea de științe agricole și medicină veterinară “Ion Ionescu de la Brad” din Iași, Facultatea de agricultură, **revista Lucrări Științifice (BDI)** publicata in EDITURA “ION IONESCU DE LA BRAD” IAȘI (tip B+, cod CNCSIS 477 pe site-ul revistei si 196 pe site-ul CNCSIS 2011-2012 de mai jos), vol. 62(1)/**2019**, seria Agronomie, pg. 9-14, Editura ISBN (print) 1454-7414, ISSN (electronic) 2069-6727, ISSN (CD-ROM) 2285-8148.
- [6] **Coman Ciprian Mihai**; Florescu Adriana; Oancea Constantin Daniel, “*Improving the Efficiency and Sustainability of Power Systems Using Distributed Power Factor Correction Methods*”, **SUSTAINABILITY** Volume: 12 Issue: 8, Article Number: 3134 Published: **APR 2020**, Publisher MDPI, ST ALBAN-ANLAGE 66, CH-4052 BASEL, SWITZERLAND, eISSN: 2071-1050; Web of Science Categories: Green & Sustainable Science & Technology (Q2/2019) Environmental Sciences (Q2); Environmental Studies (Q2); WOS:000535598700067; DOI: 10.3390/su12083134.
- [3] **Coman, Ciprian Mihai**, D’amico Giuseppe, Coman Adrian Viorel, Florescu Adriana, “*Techniques to Improve Reliability in an IoT Architecture Framework for Intelligent Products*”, **IEEE ACCESS**, Volume 9, Page 56940-56954, DOI 10.1109/ACCESS.2021.3072168, **Published 2021**, ISSN2169-3536, Publisher IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS INC445 HOES LANE, PISCATAWAY, NJ 08855-4141; Web of Science Categories: Computer Science, Information Systems (Q2), Engineering, Electrical & Electronic (Q2), Telecommunications (Q2); WOS:000475904500025; DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3072168.
- [7] **Coman Ciprian Mihai**; Florescu Adriana; Oancea Constantin Daniel, “*Assessment of Energy Use Based on an Implementation of IoT, Cloud Systems, and Artificial Intelligence*”, **ENERGIES** Volume 14, Issue 11, Article Number 3202, Published: **JUN 2021**, Publisher MDPI, ST ALBAN-ANLAGE 66, CH-4052 BASEL, SWITZERLAND, eISSN1996-1073; Web of Science Categories: Energy&Fuels (Q3); WOS: 000659844800001; DOI: 10.3390/en14113202.
- [9] **Coman, Ciprian Mihai**, Bogdan Corneliu Toma, Mihai-Alexandru Constantin, Adriana Florescu, “*Ground level LIDAR as a contributing indicator in an environmental protection application*”, **Expert Systems with Applications - în curs de recenzie din 28 martie 2022**.

Lucrări publicate la conferințe

- [25] Zarnescu, Adrian; Ungurelu, Razvan; Macovei, Marius, **Coman Ciprian Mihai**, Varzaru Gaudentiu, “*Study of the Waterproof Shelter Colour Influence on the Atmospheric Temperature and Humidity Measurements for an Internet of Things Application*”, Conference: 24th IEEE International Symposium on Design and Technology in Electronic Packaging (**SIITME 2018**) Location: Iasi, ROMANIA Date: **OCT 25-28, 2018**, Sponsor(s): IEEE; APTE; Univ Tehnica Gheorghe Asachi; IEEE Elect Packaging Soc; Politehnica Univ Bucharest, ISBN:978-1-5386-5577-1, ISSN: 2641-287X; Web of Science Categories:Engineering, Electrical & Electronic; WOS: 000466960400045; DOI: 10.1109/SIITME.2018.8599263.
- [4] **Coman, Ciprian Mihai**; Florescu, Adriana, “*Electric grid monitoring and control architecture for industry 4.0 systems*”, Conference: International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (**ISFEE 2018**) Location: Univ Politehnica Bucharest, Fac Elect Engn, Elect Engn Dept, Bucharest, ROMANIA Date: **NOV 01-03, 2018**, Sponsor(s): Assoc Romanian Elect Elect Engineers; IEEE Romania Sect CAS CS Chapter; IEEE, ISBN:978-1-5386-7212-9; Web of Science Categories: Engineering, Electrical & Electronic; WOS: 000480396400029; DOI: 10.1109/ISFEE.2018.8742435.
- [8] **Coman, Ciprian Mihai**; Florescu, Adriana; Stigliano, Giambattista, “*Distributed sensors array for composite materials manufacturing quality assurance*”, Conference: 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (**ATEE 2019**) Location: Bucharest, ROMANIA Date: **MAR 28-30, 2019**, ISBN:978-1-4799-7514-3, ISSN: 1843-8571; Web of Science Categories: Engineering, Electrical & Electronic; WOS: 000475904500025; DOI: 10.1109/ATEE.2019.8724867.
- [15] Constantin Daniel OANCEA, Dan OLARU, **Ciprian Mihai COMAN**; Adriana FLORESCU, “*Signal Source Location Problem in the Case of Sensor Network*”, 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (**ATEE 2021**) | 2021 12TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING (ATEE), ISSN1843-8571; Web of Science CategoriesEngineering, Electrical & Electronic; WOS: 000676164800037; DOI: 10.1109/ATEE52255.2021.9425111.
- [14] Constantin Daniel Oancea, **Ciprian Mihai COMAN**, Bogdan Corneliu Toma, “*Evaluation of the Use of LIDAR Type Systems in Environmental Protection*”, 2022 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics **AQTR 2022**; DOI: 10.1109/AQTR55203.2022.9801922.

Lucrări prezentate la simpozioane științifice

- [5] **Coman, Ciprian Mihai**, and Florescu, Adriana, “*Electric grid monitoring and control architecture for industry 4.0 systems*”, **SAD-ETI 2019**;

Rapoarte de cercetare

- Raportul științific nr. 1/2019, Denumirea raportului: “*Electric grid monitoring and control architecture for industry 4.0 systems*”.
- Raportul științific nr. 2/2019, Denumirea raportului: “*Studiul impactului de culoare al adăpostului impermeabil asupra măsurătorilor de temperatură și umiditate atmosferică pentru o aplicație IoT*”.
- Raportul științific nr. 1/2020, Denumirea raportului: “*Arhitectura de monitorizare și control al rețelei electrice pentru sisteme din industria 4.0*”.
- Raportul științific nr. 2/2020, Denumirea raportului: “*Matrice distribuite de senzori pentru asigurarea calității producției de materiale compozite*”.

Contracte de cercetare

- RECOMLABS. Acest proiect a fost susținut de un grant al Autorității Naționale pentru Cercetare Științifică și Inovare din România, CCCDI - UEFISCDI, numărul de proiect ERANET-INCOMERA-RECOMLABS-3, în cadrul PNCDI III.
- POKET. Acest proiect a fost susținut de un grant al Autorității Naționale pentru Cercetare Științifică și Inovare din România, CCCDI - UEFISCDI, numărul de proiect COFUND-ERANET MANUNET III-POKET, în cadrul PNCDI III.
- MEPHIFA - Monitoring environmental parameters and human influences in forest areas. Acest proiect a fost susținut de un grant al Asociación de Empresas Tecnológicas Innovalia (INNOVALIA), în cadrul DIH World OC1, în cadrul Programului-cadru de cercetare și inovare Orizont 2020.

9.4 Perspective de dezvoltare ulterioară

Având în vedere evoluția rapidă a tehnologiei în general, și în special în domeniul acestei lucrări, sistemul și tehnologiile prezentate în această lucrare nu pot fi considerate finalizate. Se evidențiază perspective de dezvoltare continuă pentru îmbunătățirea și optimizarea proceselor operaționale deja implementate, dar și adăugarea de servicii noi profitând de arhitectura modulară și scalabilă a sistemului.

Componenta MES poate fi acompaniată de o rețea neuronală pentru funcția de simulare și predicție. Astfel, după antrenarea adecvată a rețelei, s-ar putea genera opțiuni mai bune de planificare a producției și s-ar putea prezice mai precis probabilitățile de defectare în funcție de multitudinea de informații adunate de senzori și de operatorii umani.

Selecție din bibliografie

- [1] Almada-Lobo, F. (2016). The industry 4.0 revolution and the future of manufacturing execution systems (mes). *Journal of Innovation Management*, 3:16–21.
- [2] Boyle, J., Tappeiner, J., Waring, R., and Tattersall Smith, C. (2016). Sustainable forestry: Ecology and silviculture for resilient forests. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier.
- [3] **Coman, C. M.**, D'amico, G., Coman, A. V., and Florescu, A. (2021a). Techniques to improve reliability in an iot architecture framework for intelligent products. *IEEE Access*, 9:56940–56954.
- [4] **Coman, C. M.** and Florescu, A. (2018). Electric grid monitoring and control architecture for industry 4.0 systems. In *2018 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE)*, pages 1–6.
- [5] **Coman, C. M.** and Florescu, A. (2019). Electric grid monitoring and control architecture for industry 4.0 systems. In *SAD-ETTI*, page 1.
- [6] **Coman, C. M.**, Florescu, A., and Oancea, C. D. (2020). Improving the efficiency and sustainability of power systems using distributed power factor correction methods. *Sustainability*, 12(8):3134.
- [7] **Coman, C. M.**, Florescu, A., and Oancea, C. D. (2021b). Assessment of energy use based on an implementation of iot, cloud systems, and artificial intelligence. *Energies*, 14(11):3202.
- [8] **Coman, C. M.**, Florescu, A., and Stigliano, G. (2019). Distributed sensors array for composite materials manufacturing quality assurance. In *2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, page 1–6, Bucharest, Romania. IEEE.
- [9] **Coman, C. M.**, Toma, B. C., Constantin, M.-A., and Florescu, A. (2022). Ground level lidar as a contributing indicator in an environmental protection application. *Expert Systems with Applications*.
- [10] Fang, S., Xu, L. D., Zhu, Y., Ahati, J., Pei, H., Yan, J., and Liu, Z. (2014). An integrated system for regional environmental monitoring and management based on internet of things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2):1596–1605.
- [11] Harper, J. F., Miller, N. A., and Yap, S. C. (1993). The influence of temperature and pressure during the curing of prepreg carbon fiber epoxy resin. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 32(4):269–275.
- [12] Miettinen, M., Nguyen, T. D., Sadeghi, A.-R., and Asokan, N. (2018). Revisiting context-based authentication in iot. In *Proceedings of the 55th Annual Design Automation Conference*, page 1–6, San Francisco California. ACM.

- [13] MOCAN, A. (2020). *Industry 4.0 in Warehouse Ergonomics: Possible Applications of Emerging Technology*. PhD thesis, Universitatea Politehnica Timișoara.
- [14] Oancea, C. D., **Coman, C. M.**, and Toma, B. C. (2022). Evaluation of the use of lidar type systems in environmental protection. In *2022 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR)*, pages 1–5.
- [15] Oancea, C. D., Olaru, D., **Coman, C. M.**, and Florescu, A. (2021). Signal source location problem in the case of sensor network. In *2021 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, page 1–5, Bucharest, Romania. IEEE.
- [16] Ohno, T. (1982). How the toyota production system was created. *Japanese Economic Studies*, 10(4):83–101.
- [17] Patru, I.-I., Carabas, M., Barbulescu, M., and Gheorghe, L. (2016). Smart home iot system. In *2016 15th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research*, pages 1–6, Bucharest, Romania. IEEE.
- [18] Pentest-Tools (2020). Powerful pentesting tools, easy to use. Online: <https://pentest-tools.com/home>. Accessed 16-September-2020.
- [19] Qi, L., Chen, Y., Yuan, Y., Fu, S., Zhang, X., and Xu, X. (2020). A qos-aware virtual machine scheduling method for energy conservation in cloud-based cyber-physical systems. *World Wide Web*, 23(2):1275–1297.
- [20] Qi, L., Hu, C., Zhang, X., Khosravi, M. R., Sharma, S., Pang, S., and Wang, T. (2021). Privacy-aware data fusion and prediction with spatial-temporal context for smart city industrial environment. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(6):4159–4167.
- [21] Sajid, A., Abbas, H., and Saleem, K. (2016). Cloud-assisted iot-based scada systems security: A review of the state of the art and future challenges. *IEEE Access*, 4:1375–1384.
- [22] Song, X. (2003). *Vacuum Assisted Resin Transfer Molding (VARTM): Model Development and Verification*. PhD thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [23] Tsai, C.-W., Pelov, A., Chiang, M.-C., Yang, C.-S., and Hong, T.-P. (2014). Computational awareness for smart grid: a review. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 5(1):151–163.
- [24] Xu, X., Zhang, X., Khan, M., Dou, W., Xue, S., and Yu, S. (2020). A balanced virtual machine scheduling method for energy-performance trade-offs in cyber-physical cloud systems. *Future Generation Computer Systems*, 105:789–799.
- [25] Zarnescu, A., Ungurelu, R., Macovei, M. I., **Coman, C.**, and Varzaru, G. (2018). Study of the waterproof shelter colour influence on the atmospheric temperature and humidity measurements for an internet of things application. In *2018 IEEE 24th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, page 217–220, Iasi. IEEE.
- [26] ZARNESCU, A., UNGURELU, R., SECERE, M., **Coman, C. M.**, and VARZARU, G. (2019). Putting internet-of-things at the service of sustainable agriculture. case study: Sysagria. *Lucrări Științifice*, 62(1):9–14.