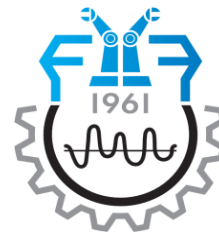




Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA București
Facultatea de Inginerie Industrială și Robotică



TEZĂ DE ABILITARE

INOVAȚIE ÎN EDUCAȚIE ȘI PRODUCȚIE SUSTENABILĂ PRIN SISTEME
INTELIGENTE, MODELE PREDICTIVE ȘI PEDAGOGIE MODERNĂ

Conf.dr.ing. Bogdan Felician ABAZA

REZUMAT

BUCUREȘTI

2025

Rezumat

Această teză de abilitare prezintă și analizează contribuțiile Conf.Dr.Ing. Bogdan Felician ABAZA în cercetare și educație, în contextul transformării digitale a ingineriei industriale și a managementului producției, marcate de integrarea tehnologiilor emergente, precum inteligența artificială, sistemele ciber-fizice și IoT. Motivația tezei constă în necesitatea de a sintetiza aceste contribuții, evidențiind impactul lor asupra comunității științifice și industriale, și de a propune direcții strategice care să consolideze rolul autorului în formarea inginerilor și în avansarea tehnologiilor sustenabile.

Capitolul întâi al tezei, „**Modele predictive și hibride bazate pe rețele neuronale artificiale pentru optimizarea fabricării și prelucrării prin aşchiere a compozitelor polimerice și aliajelor biomedicale**” evidențiază o direcție semnificativă a activității de cercetare a autorului, axată pe aplicarea rețelelor neuronale artificiale (RNA) ca instrumente de predicție și optimizare în procesele de fabricare și prelucrare prin aşchiere a materialelor avansate, cu accent pe compozitele polimerice armate cu fibre și aliajele biomedicale. Cercetările valorifică algoritmi inteligenți pentru modelarea fenomenelor complexe, care sunt dificil de abordat prin metode tradiționale, urmărind optimizarea parametrilor de calitate și eficiență industrială. Subcapitolul 1.1 explorează optimizarea unui model RNA pentru predicția rugozității suprafeței în procesul de frezare uscată a aliajelor biomedicale Co-Cr. Pe baza datelor experimentale, sunt dezvoltate modele de regresie și RNA, ultimele fiind implementate în LabVIEW cu arhitecturi variate și un algoritm de antrenare RProp. Performanțele modelelor sunt evaluate prin compararea predicțiilor cu datele experimentale, demonstrând capacitatea RNA de a oferi soluții precise pentru controlul calității în fabricarea implanturilor medicale, cu potențial de extindere în aplicații conforme cu Industry 4.0. Subcapitolul 1.2 abordează predicția rezistenței la tracțiune a compozitelor GFRP în funcție de fracția volumică de fibre de sticlă. Este descrisă dezvoltarea unui model RNA, antrenat pe baza datelor obținute din teste experimentale efectuate pe eșantioane laminate, cu diverse concentrații de fibre și tipuri de rășină. Modelul este validat riguros, performanțele sale fiind evaluate prin analiza erorilor de predicție. Rezultatele subliniază capacitatea RNA de a anticipa comportamentul mecanic al compozitelor. Subcapitolul 1.3 se concentrează pe predicția temperaturii generate în zona de aşchiere în timpul frezării compozitelor GFRP, evidențiind rolul acestui parametru în calitatea suprafețelor prelucrate și în uzura sculelor. Este aplicată o metodologie experimentală riguroasă pentru a dezvolta modele RNA, testând multiple arhitecturi și selectând-o pe cea mai performantă în funcție de precizia predicțiilor. Studiul demonstrează capacitatea RNA de a anticipa regimurile termice critice, facilitând optimizarea parametrilor de tăiere pentru a minimiza efectele termice. Subcapitolul 1.4 extinde utilizarea rețelelor neuronale artificiale prin propunerea unei arhitecturi hibride pentru controlul și monitorizarea în timp real a proceselor de strunjire, aliniată cu principiile fabricării inteligente din Industry 4.0. Este descrisă o arhitectură modulară, în care modulele RNA sunt integrate cu subsisteme de achiziție și analiză a datelor, permițând funcționarea autonomă.. Acest subcapitol completează abordarea capitolului, adăugând o dimensiune de control activ la modelele

predictive, și oferă o bază pentru dezvoltarea sistemelor inteligente de fabricație, capabile să răspundă dinamic la condițiile complexe ale proceselor industriale.

Capitolul al doilea, „Dezvoltarea și validarea sistemelor ciber-fizice inteligente pentru sănătate și economie circulară: model tehnologic și educațional integrat”, se axează contribuțiile autorului în dezvoltarea sistemelor ciber-fizice inteligente, cu aplicații în domeniul sănătății și al economiei circulare, integrând modele tehnologice și educaționale inovatoare. Organizat în două subcapitole, acesta explorează proiectarea unui ventilator mecanic de urgență adaptat contextului pandemiei COVID-19 și un model educațional orientat spre gestionarea sustenabilă a deșeurilor reciclabile. Subcapitolul 2.1 documentează dezvoltarea unui ventilator mecanic de urgență, conceput pentru a răspunde constrângerilor resurselor locale românești, pornind de la un model open-source. Autorul a coordonat reproiectarea subsistemelor mecanice, electrice și pneumatice, integrând un algoritm de control bazat pe o mașină cu stări finite, care să susțină modurile de ventilație controlată și asistată. Metodologia a implicat teste funcționale și consultări cu specialiști în anestezie și terapie intensivă, pentru a asigura conformitatea cu cerințele clinice. Acest subcapitol subliniază capacitatea autorului de a dezvolta soluții tehnologice viabile în condiții de criză. Subcapitolul 2.2 propune un model educațional bazat pe Pedagogia Bazată pe Proiecte (PBP), centrat pe dezvoltarea unui compactor inteligent pentru deșeuri reciclabile, în sprijinul economiei circulare. Sub coordonarea autorului, proiectul a reunit studenți și cercetători într-un demers interdisciplinar, integrând subsisteme mecanice, electrice și software conforme cu principiile Industriei 4.0. Experimentele realizate cu echipamente specializate au fundamentat arhitectura mecanică, iar o aplicație dezvoltată în LabVIEW, utilizând o mașină cu stări finite, a optimizat procesul de control al compactării. Prototipul a fost conceput pentru a eficientiza gestionarea deșeurilor, contribuind la reducerea impactului asupra mediului. Acest subcapitol evidențiază un cadru educațional care stimulează inovația sustenabilă, integrând cercetarea aplicată cu formarea practică, și oferă o soluție tehnologică pentru tranziția către economia circulară. Capitolul ilustrează versatilitatea sistemelor ciber-fizice în abordarea provocărilor din sănătate și mediu, propunând soluții tehnologice practice și modele educaționale adaptate cerințelor Industriei 4.0.

Capitolul al treilea, „Sisteme Autonome Inteligente Mobile (SAIM) bazate pe percepție, planificare, control, localizare, vizualizare, comportamente flexibile”, prezintă contribuțiile recente ale autorului în domeniul Sistemelor Autonome Inteligente Mobile (SAIM), continuând demersurile inițiate în perioada 2020-2022 cu echipe de masteranzi din programul Ingineria și Managementul Proiectelor Complexe, parte a Facultății de Inginerie Industrială și Robotică (FIIR) din cadrul Universității Naționale de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București. Cercetările au evoluat de la dezvoltarea unui vehicul ghidat automat (AGV) pentru sarcini intralogistice elementare la platforme robotice autonome, datorită complexității și limitărilor întâmpinate în programarea inițială. Aceste provocări au determinat reorientarea către Robot Operating System 2 (ROS 2, distribuțiile Humble și Jazzy), un framework modular utilizat global

în medii educaționale și industriale, care facilitează controlul distribuit al subsistemelor și navigația autonomă. Se detaliază obiectivul general al dezvoltării roboților autonomi capabili să navigheze independent în medii interioare și exterioare, realizând activități din ingineria industrială și din alte domenii. Obiectivele specifice includ aplicarea inteligenței artificiale în robotică, dezvoltarea aplicațiilor pentru roboți mobili autonomi (AMR) utilizând ROS 2 și Nav2, și proiectarea sistemelor autonome prin simulare și testare în medii virtuale. Competențele promovate vizează domenii cheie: robotică și automatizare, inteligență artificială și machine learning, viziune computerizată, și localizare și cartografiere. Direcțiile viitoare propuse includ extinderea aplicațiilor bazate pe IA, optimizarea navigației autonome și consolidarea educației practice, contribuind la avansarea tehnologică și formarea inginerilor adaptați cerințelor Industriei 5.0. Subcapitolul 3.1 se referă la un context dinamic al roboticii mobile, optimizarea robusteții localizării în medii variabile reprezintă o provocare esențială, în special pentru sistemele bazate pe ROS 2, unde integrarea datelor provenite de la senzori joacă un rol central. Această cercetare analizează o metodologie inovatoare bazată pe inteligență artificială, destinată ajustării dinamice a parametrilor de covarianță, pentru a îmbunătăți precizia estimării poziției unui robot mobil cu acționare diferențială. Un model RandomForestRegressor a fost integrat în pachetul *robot_localization* pentru a adapta în timp real covarianța Filtrului Kalman Extins (EKF), experimentele fiind efectuate într-un mediu interior controlat. Studiul compară predicția dinamică a covarianței asistată de inteligență artificială cu o configurație de referință bazată pe covarianță statică, analizând comportamentul în condiții de dinamică variată, de la regimuri statice la manevre mai complexe. Cercetarea demonstrează capacitatea sistemului de a optimiza estimarea poziției, în special în scenarii statice și moderate, reducând erorile de localizare, deși condițiile dinamice intense evidențiază necesitatea extinderii datelor de antrenament.

Capitolul al patrulea al tezei, „Pedagogie bazată pe proiecte pentru dezvoltarea de noi produse”, evidențiază contribuțiile autorului la modernizarea educației ingineresti prin implementarea pedagogiei bazate pe proiecte (PBP) pentru dezvoltarea de noi produse, în cadrul programului de masterat Ingineria și Managementul Proiectelor Complexe (IMPC) al Universității Naționale de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București. Organizat în patru subcapitole, acesta analizează PBP ca metodologie inovatoare, integrând ciclul experiențial de învățare al lui Kolb și parteneriatele cu industria, în special cu Renault Technologie Roumanie (RTR), pentru a forma competențe profesionale și transversale aliniate cerințelor Industriei 4.0. Activitatea autorului reflectă o abordare integrată, combinând educația practică cu cerințele pieței muncii, pentru a pregăti ingineri adaptați economiei globale. Subcapitolul 4.1 prezintă contextul cercetării, detaliind inițierea programului de formare Ingineria Proiectelor în Automobile (IPA) în 2007, în parteneriat cu universități românești, Université de Technologie de Compiègne și RTR. Subcapitolul 4.2 analizează necesitatea adaptării educației postuniversitare la dinamica pieței muncii, promovând PBP ca o metodologie eficientă pentru dezvoltarea competențelor practice. Introduce ciclul experiențial de învățare al lui Kolb. Subcapitolul 4.3 descrie metodologia PBP, integrată cu ciclul Kolb, pentru dezvoltarea unui nou

produs în cadrul IMPC. Acest subcapitol evidențiază angajamentul autorului pentru o educație orientată spre rezultate practice. Subcapitolul 4.4 reflectă asupra rezultatelor obținute prin aplicarea PBP pe parcursul a peste 17 ani, cu accent pe impactul stagiilor cu masteranzii IMPC și al programului de formare continuă pentru angajații Renault. Peste 60 de proiecte au fost derulate, culminând cu realizarea unor vehicule „student concept” în cadrul stagiilor coordonate în parteneriat cu RTR, printre care Duster Birou Mobil, Duster Hibrid și Duster Plus, dezvoltate de masteranzi, și Dustruck, realizat în programul de formare continuă. PBP a facilitat integrarea rapidă a absolvenților pe piața muncii și a consolidat colaborarea cu industria, oferind personalului academic oportunități de dezvoltare profesională prin interacțiunea cu profesioniști din domeniu.

Capitolul al cincilea, „Evoluția și dezvoltarea carierei profesionale”, sintetizează evoluția carierei profesionale a autorului, cu peste 25 de ani de experiență didactică la Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București. A progresat de la asistent cercetare (1995) la conferențiar (2014–prezent), dezvoltând și predând discipline precum Programarea Calculatoarelor și Limbaje de Programare, Rețele Neuronale și Industry 4.0. A implementat direcții de dezvoltare continuă, personalizând fiecare disciplină prin Ciclul Experiențial de Învățare al lui Kolb și integrând avansat platformele e-learning cu materiale didactice digitale personalizate asigurând alinierea conținutului la cerințele ingineriei moderne și digitalizarea procesului educațional. În subcapitolul 5.1.2. se prezintă evoluția în activitatea de cercetare. Cu o expertiză consolidată prin implicarea în peste 50 de proiecte europene și 20 naționale, autorul a coordonat șapte proiecte și a publicat articole în reviste Q1, abordând teme ca inteligența artificială și Industry 4.0. Rezultatele remarcabile includ vehiculele „student concept” (Duster Birou Mobil, Duster Hibrid), dezvoltate prin coordonarea stagiilor masteranzilor IMPC în parteneriat cu Renault Romania, precum și platforme robotice și standuri experimentale prezentate public, care au amplificat vizibilitatea universității și impactul cercetării aplicate. Apoi, subcapitolul 5.1.3. se argumentează capacitatea de coordonare a echipelor și activităților didactice, autorul reoferindu-se la coordonarea programului de masterat IMPC din 2009, organizând stagii de succes cu Renault Romania, care au generat vehicule „student concept” mediatizate internațional. A coordonat dezvoltarea infrastructurii informatice a facultății FIIR. Recent, a reactivat coordonarea echipelor de robotică, dezvoltând platforme autonome pentru specializările Informatică Industrială și Inginerie Economică Industrială. În subcapitolul 5.2. se prezintă direcții de dezvoltare unde autorul formulează o misiune de dezvoltare ce vizează formarea inginerilor inovatori pentru economia digitală, prin educație personalizată și cercetare aplicată, cu accent pe Sisteme Autonome Inteligente Mobile (SAIM). 5.2.1. Propune adaptarea disciplinelor la cerințele pieței, modernizarea predării prin metode centrate pe student, dezvoltarea materialelor digitale și personalizarea învățării via platforme e-learning, alături de mentorat în stagii industriale. 5.2.2. Se axează pe modele predictive AI pentru fabricație sustenabilă, sisteme ciber-fizice SAIM pentru industrie și educație, și cercetare pedagogică bazată pe proiecte, aliniate cu Industry 5.0 și misiunea UNSTPB de inovare și sustenabilitate.

Abstract

This habilitation thesis presents and analyzes the contributions of Assoc. Prof. Bogdan Felician ABAZA to research and education within the context of the digital transformation of industrial engineering and production management. This transformation is driven by the integration of emerging technologies, including artificial intelligence, cyber-physical systems, and the Internet of Things. The thesis aims to synthesize these contributions, highlight their impact on scientific and industrial communities, and propose strategic directions for strengthening the author's role in training engineers and advancing sustainable technologies.

Chapter 1, titled “**Predictive and Hybrid Models Based on Artificial Neural Networks for Optimizing the Manufacturing and Machining of Polymer Composites and Biomedical Alloys**”, highlights a significant research direction focused on applying artificial neural networks (ANNs) as tools for prediction and optimization in the manufacturing and machining of advanced materials, particularly fiber-reinforced polymer composites and biomedical alloys. The research leverages intelligent algorithms to model complex phenomena difficult to address with traditional methods, aiming to optimize quality and industrial efficiency parameters. Subchapter 1.1 explores the optimization of an ANN model for predicting surface roughness in the dry milling of Co-Cr biomedical alloys. Based on experimental data, regression and ANN models are developed, the latter implemented in LabVIEW with varied architectures and an RProp training algorithm. Model performance is evaluated by comparing predictions with experimental data, demonstrating ANNs' ability to provide precise solutions for quality control in medical implant manufacturing, with potential for extension to Industry 4.0 applications. Subchapter 1.2 addresses the prediction of tensile strength in GFRP composites based on the volumetric fraction of glass fibers. It describes the development of an ANN model trained on data from experimental tests on laminated samples with varying fiber concentrations and resin types. The model is rigorously validated, with performance assessed through prediction error analysis, emphasizing ANNs' ability to anticipate composite mechanical behavior, offering an efficient solution for material design. Subchapter 1.3 focuses on predicting the temperature generated in the cutting zone during GFRP milling, highlighting its role in machined surface quality and tool wear. A rigorous experimental methodology is applied to develop ANN models, testing multiple architectures and selecting the most accurate based on prediction precision. The study demonstrates ANNs' ability to anticipate critical thermal regimes, facilitating cutting parameter optimization to minimize thermal effects, with prospects for integrating ANN models into real-time thermal monitoring and control systems for industrial processes. Subchapter 1.4 extends ANN use by proposing a hybrid framework for real-time control and monitoring of turning processes, aligned with Industry 4.0 smart manufacturing principles. It describes a modular framework where ANN modules are integrated with data acquisition and analysis subsystems, enabling autonomous operation. This subchapter complements the chapter's approach by adding an active control dimension to predictive models, providing a foundation for developing intelligent manufacturing systems capable of dynamically responding to complex industrial process conditions.

Chapter 2, “Development and Validation of Intelligent Cyber-Physical Systems for Healthcare and Circular Economy: An Integrated Technological and Educational Model”, focuses on the author’s contributions to developing intelligent cyber-physical systems with applications in healthcare and the circular economy, integrating innovative technological and educational models. Organized into two subchapters, it explores the design of an emergency mechanical ventilator adapted to the COVID-19 pandemic context and an educational model for sustainable recyclable waste management. Subchapter 2.1 documents the development of an emergency mechanical ventilator designed to address Romania’s local resource constraints, based on an open-source model. The author coordinated the redesign of mechanical, electrical, and pneumatic subsystems, integrating a finite state machine-based control algorithm to support controlled and assisted ventilation modes. The methodology involved functional tests and consultations with anesthesia and intensive care specialists to ensure clinical compliance. This subchapter underscores the author’s ability to develop viable technological solutions in crisis conditions, contributing to healthcare system resilience and the advancement of biomedical device digitalization. Subchapter 2.2 proposes an educational model based on Project-Based Pedagogy (PBP), centered on developing an intelligent compactor for recyclable waste to support the circular economy. Under the author’s coordination, the project brought together students and researchers in an interdisciplinary effort, integrating mechanical, electrical, and software subsystems compliant with Industry 4.0 principles. Experiments with specialized equipment supported the mechanical architecture, and a LabVIEW application using a finite state machine optimized the compaction control process. The prototype was designed to enhance waste management efficiency, reducing environmental impact. This subchapter highlights an educational framework that fosters sustainable innovation, integrating applied research with practical training, and offers a technological solution for transitioning to a circular economy. The chapter illustrates the versatility of cyber-physical systems in addressing healthcare and environmental challenges, proposing practical technological solutions and educational models aligned with Industry 4.0 requirements.

Chapter 3, “Mobile Intelligent Autonomous Systems (MIAS) Based on Perception, Planning, Control, Localization, Visualization, and Flexible Behaviors”, presents the author’s recent contributions to Mobile Intelligent Autonomous Systems (MIAS), building on efforts started between 2020–2022 with master’s students from the Complex Project Engineering and Management (IMPC) program at the Faculty of Industrial Engineering and Robotics (FIER), National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest. The research evolved from developing an automated guided vehicle (AGV) for basic intralogistics tasks to autonomous robotic platforms, driven by the complexity and limitations of initial programming. These challenges prompted a shift to Robot Operating System 2 (ROS 2, Humble and Jazzy distributions), a modular framework widely used in educational and industrial settings, facilitating distributed subsystem control and autonomous navigation. The chapter details the

general objective of developing autonomous robots capable of independent navigation in indoor and outdoor environments, performing tasks in industrial engineering and beyond. Specific objectives include applying artificial intelligence in robotics, developing applications for autonomous mobile robots (AMRs) using ROS 2 and Nav2, and designing autonomous systems through simulation and virtual testing. Promoted competencies span robotics and automation, artificial intelligence and machine learning, computer vision, and localization and mapping. Future directions include expanding AI-based applications, optimizing autonomous navigation, and strengthening practical education, contributing to technological advancement and training engineers for Industry 5.0 demands. Subchapter 3.1 addresses the dynamic context of mobile robotics, where optimizing localization robustness in variable environments is a key challenge, particularly for ROS 2-based systems reliant on sensor fusion data integration. The research analyzes an innovative AI-based methodology for dynamically adjusting covariance parameters to enhance the precision of position estimation for a differentially driven mobile robot. A regression model was integrated into the *robot_localization* package to adapt the Extended Kalman Filter (EKF) covariance in real-time, with experiments conducted in a controlled indoor environment. The study compares AI-assisted dynamic covariance prediction with a static covariance baseline, analyzing behavior across varying dynamics, from static to complex maneuvers. The research demonstrates the system's ability to optimize position estimation, particularly in static and moderate scenarios, reducing localization errors, though intense dynamic conditions highlight the need for expanded training data.

Chapter 4, “Project-Based Pedagogy (PBP) for New Product Development”, highlights the author's contributions to modernizing engineering education through Project-Based Pedagogy (PBP) for new product development within the IMPC master's program at National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest. Organized into four subchapters, it analyzes PBP as an innovative methodology, integrating Kolb's experiential learning cycle and industry partnerships, particularly with Renault Technologie Roumanie (RTR), to develop professional and transversal competencies aligned with Industry 4.0. Subchapter 4.1 outlines the research context, detailing the initiation of the Automotive Project Engineering (IPA) program in 2007 with Romanian universities, Université de Technologie de Compiègne, and RTR. Subchapter 4.2 examines the need to adapt postgraduate education to labor market dynamics, promoting PBP for practical competency development, and introduces Kolb's experiential learning cycle. Subchapter 4.3 describes the PBP methodology integrated with Kolb's cycle for new product development in IMPC, highlighting the author's commitment to practice-oriented education. Subchapter 4.4 reflects on over 17 years of PBP outcomes, emphasizing the impact of IMPC master's internships and Renault employee training programs. Over 60 projects were completed, culminating in “student concept” vehicles like Duster Mobile Office, Duster Hybrid, and Duster Plus, developed through RTR-coordinated internships, and Dustruck, created in the training program. PBP facilitated graduates' rapid labor market integration and strengthened

industry collaboration, offering academic staff professional development through industry interaction.

Chapter 5, “Evolution and Development of the Professional Career”, synthesizes the author’s professional career evolution, spanning over 25 years of teaching at POLITEHNICA Bucharest. Progressing from research assistant (1995) to associate professor (2014–present), he developed and taught courses like Computer Programming and Programming Languages, Neural Networks, and Industry 4.0. He implemented continuous development strategies, tailoring each course with Kolb’s Experiential Learning Cycle and advanced e-learning platform integration with customized digital materials, ensuring alignment with modern engineering demands and educational digitalization. Subchapter 5.1.2 outlines research evolution, with expertise built through over 50 European and 20 national projects, coordinating seven projects and publishing in Q1 journals (Applied Sciences, Polymers, Materials) on AI and Industry 4.0. Notable outcomes include “student concept” vehicles (Duster Mobile Office, Duster Hybrid) developed through IMPC internships with Renault Romania, alongside robotic platforms and experimental stands showcased publicly, enhancing the university’s visibility and applied research impact. Subchapter 5.1.3 demonstrates team and teaching coordination capabilities, including leading the IMPC program since 2009, organizing successful Renault internships yielding globally recognized “student concept” vehicles, and extending FIIR faculty IT infrastructure modernization. Recently, he reactivated robotics team coordination, developing autonomous platforms for Industrial Informatics and Economic Industrial Engineering. Subchapter 5.2 outlines development directions, articulating a mission to train innovative engineers for the digital economy through personalized education and applied research, emphasizing Mobile Intelligent Autonomous Systems (MIAS). Subchapter 5.2.1 proposes aligning courses with market needs, modernizing student-centered teaching, developing digital materials, and personalizing learning via e-learning platforms, alongside industrial internship mentoring. Subchapter 5.2.2 focuses on AI predictive models for sustainable manufacturing, MIAS cyber-physical systems for industry and education, and project-based pedagogical research, aligned with Industry 5.0 and POLITEHNICA’s mission for innovation and sustainability.