



Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA București

Facultatea de Inginerie Industrială și Robotică



REZUMAT

TEZĂ DE ABILITARE

Contribuții privind optimizarea proceselor
industriale prin tehnologii digitale și
managementul sistemului educațional

Conf.dr. ing. Paulina SPÂNU

București

2025

Rezumat

Teza de abilitare prezintă principalele realizări științifice ale Conf. dr. ing. Paulina SPĂNU, în domeniul ingineriei industriale, obținute după susținerea tezei de doctorat în 2009. Lucrarea evidențiază rezultatele semnificative ale autoarei și contribuțiile sale științifice, structurate pe mai multe domenii esențiale, printre care se numără: deformarea plastică la rece, toleranțele și controlul dimensional, proiectarea și fabricarea produselor, precum și dezvoltarea de resurse dedicate sistemelor de management educațional. O parte dintre rezultatele prezentate în această teză au fost obținute în cadrul proiectelor de cercetare internaționale, câștigate prin competiție, în care autoarea a avut rol de director de proiect sau membru al echipelor de cercetare. După finalizarea doctoratului, autoarea tezei și-a menținut un interes constant pentru integrarea tehnologiilor digitale în procesele industriale. Direcțiile sale de cercetare sunt aliniate cu tematica disciplinelor predate și cu strategia de cercetare a facultății. În mod particular, preocupările sale se concentrează pe dezvoltarea de instrumente virtuale în limbajul de programare grafică LabVIEW, utilizând algoritmi susținuți de concepte teoretice specifice disciplinelor în care a fost implicată. Aplicațiile realizate au fost focusate pe îmbunătățirea eficienței proceselor de deformare plastică la rece, reducerea costurilor prin optimizarea prescrierii toleranțelor, prelucrabilitatea materialelor compozite polimerice și integrarea tehnologiilor digitale în sistemul educațional universitar.

Teza de abilitare este organizată în cinci capitole, fiecare dintre ele explorând domenii specifice legate de proiectarea și fabricarea produselor, precum și aspecte legate de motivația și strategia educațională:

- *Capitolul 1. - Contribuții privind optimizarea proceselor de deformare plastica la rece* - prezintă contribuțiile mele în dezvoltarea unor soluții digitale pentru optimizarea proceselor tehnologice de deformare plastică la rece, incluzând răsfrângerea marginilor pieselor, îndoirea și ștanțarea. Subcapitolul 1.1. prezintă factorii de influență ai procesului de răsfrângerea marginilor pieselor metalice și problemele care apar în procesul de deformare. În aceste context, am dezvoltat o aplicație în LabVIEW, destinată calculului dimensiunilor semifabricatului pentru piese cu flanșe. Aplicația permite evaluarea tehnologicității pieselor; calculul dimensiunilor semifabricatului și determinarea forței necesare procesului de deformare plastică la rece pentru piese cu găuri circulare. Cercetările viitoare în acest domeniu se vor concentra pe o analiză detaliată a procedeeului de răsfrângere a marginilor, precum și pe dezvoltarea unor instrumente virtuale care să acopere toate etapele necesare proiectării și fabricării pieselor. Subcapitolul 1.2. analizează provocările procesului de îndoire, incluzând riscurile de fisurare și fenomenul de revenire elastică. Pentru a sprijini proiectanții în depășirea acestor dificultăți, am dezvoltat un instrument virtual care permite simularea procesului de îndoire și optimizarea parametrilor tehnologici. Ca direcții viitoare de cercetare în acest domeniu, îmi propun dezvoltarea unor aplicații digitale avansate, capabile să susțină integral toate etapele de proiectarea pieselor îndoite, indiferent de forma și dimensiunile acestora. Subcapitolul 1.3. prezintă o analiză detaliată a procedeeului de ștanțare, pe baza căreia am dezvoltat o

aplicație software destinată determinării forțelor implicate în acest proces. Această aplicație contribuie la selectarea optimă a utilajelor și a sculelor utilizate, asigurând un calcul precis al forței totale de deformare. Ca direcții viitoare de cercetare, mă voi concentra pe dezvoltarea unor noi aplicații software care să acopere întregul proces de proiectare a pieselor obținute prin ștanțare, facilitând astfel creșterea eficienței și preciziei în procesul de fabricație.

- *Capitolul 2 – Contribuții privind reducerea costurilor prin optimizarea prescrierii toleranțelor* - prezintă strategiile de reducere a costurilor prin optimizarea toleranțelor dimensionale și geometrice, utilizând tehnologii digitale și modele educaționale inovatoare. Subcapitolul 2.1. prezintă rezultatele cercetării realizate în cadrul proiectului european UPenAUTO, axat pe dezvoltarea și implementarea unui modul educațional dedicat prescrierii toleranțelor. Am conceput acest modul pentru instruirea studenților și inginerilor în domeniul toleranțelor, oferind o abordare structurată asupra toleranțelor dimensionale, geometrice și de formă. Evaluarea eficienței modulului, realizată prin analiza ANOVA, a demonstrat uniformitatea răspunsurilor participanților și a evidențiat necesitatea integrării unor exerciții aplicative suplimentare pentru consolidarea cunoștințelor. Subcapitolul 2.2. evidențiază importanța utilizării aplicațiilor software pentru prescrierea toleranțelor și optimizarea proceselor industriale. Am dezvoltat aplicații software în LabVIEW, concepute pentru implementarea principiilor maximului de material (MMR), minimului de material (LMR) și condiției de reciprocitate (RPR). Aceste instrumente sprijină reducerea costurilor de fabricație prin: eliminarea erorilor generate de calcule laborioase, optimizarea timpului de proiectare și creșterea preciziei în definirea toleranțelor. În continuarea acestei direcții de cercetare, îmi propun proiectarea și implementarea unor instrumente software avansate capabile să simuleze procesele industriale.
- *Capitolul 3. - Contribuții privind analiza și predicția caracteristicilor compozitelor polimerice utilizând tehnologii digitale* – prezintă contribuțiile teoretice și experimentale privind caracteristicile mecanice ale materialelor compozite polimerice, integrate cu tehnologii digitale. Subcapitolul 3.1. explorează utilizarea rețelelor neuronale artificiale pentru estimarea rezistenței la tracțiune a compozitelor polimerice. Studiul este susținut de implementarea unui instrument virtual în mediul LabVIEW, capabil să estimeze atât rezistența la tracțiune, cât și modulul de elasticitate al acestor materiale. Modelul bazat pe rețele neuronale este extrem de precis, având o eroare de predicție sub 5% și un coeficient de determinare R^2 peste 0,99. Concluziile cercetării confirmă eficiența utilizării rețelelor neuronale artificiale pentru determinarea proprietăților mecanice ale materialelor compozite și oferă un instrument valoros pentru optimizarea procesului de proiectare. Ca direcții viitoare de cercetare în acest domeniu îmi propun să intensific colaborarea cu membrii colectivelor de discipline bazate pe inteligență artificială și să dezvolt noi resurse pentru studiul caracteristicilor mecanice ale materialelor compozite. Subcapitolul 3.2. investighează rezistența la compresiune a compozitelor polimerice ranforsate aleator cu fibre de sticlă pentru care am propus un instrument virtual dezvoltat în LabVIEW pentru eliminarea erorilor grosolane din datele experimentale. Algoritmul utilizat, bazat pe criteriul lui Chauvenet, identifică și elimină valorile aberante, recalculând parametrii statistici esențiali (media aritmetică, abaterea standard și varianța) într-un proces iterativ,

până la obținerea unui set de date coerent. În viitor mă voi concentra pe dezvoltarea unor aplicații software care vor fi integrate în sisteme mai complexe, facilitând o caracterizare mai precisă a materialelor compozite. Subcapitolul 3.3. analizează fenomenele termice generate în zona de aşchiere în timpul frezării compozitelor polimerice ranforsate cu fibră de sticlă. Controlul temperaturii în acest proces este esențial, deoarece temperaturile ridicate pot compromite stabilitatea matricei polimerice și calitatea suprafețelor prelucrate. În acest context, a fost implementat un model bazat pe rețele neuronale artificiale (ANN) pentru predicția temperaturii maxime în timpul frezării. Modelele ANN, dezvoltate în LabVIEW, au demonstrat o precizie ridicată, cu un coeficient de determinare $R^2 > 0,9992$ și o eroare de predicție sub 2%. Direcțiile mele viitoare în acest context vizează aplicarea modelelor bazate pe rețele neuronale pentru obținerea modelelor de predicția rugozității suprafețelor, a uzurii sculelor și a forțelor la aşchiera materialelor compozite.

- *Capitolul 4. - Contribuții privind integrarea tehnologiilor digitale în sistemul educațional* – schimbă tematica spre managementul sistemului educațional și prezintă contextul dezvoltării unui cadru formal al competențelor pentru gestionarea carierei studenților și implementarea aplicațiilor digitale care să susțină procesul de consiliere al studenților. Subcapitolul 4.1. descrie importanța angajamentului civic și comunitar al universităților în cadrul celei de-a Treia Misiuni Academice. Acest subcapitol scoate în evidență rolul universităților în promovarea incluziunii sociale, cetățeniei active și sustenabilității. De asemenea, în acest subcapitol sunt prezentate aplicațiile și platforme digitale inovatoare, realizate în cadrul proiectelor pe care le-am coordonat în decursul ultimilor ani. Aceste instrumente digitale sunt bazate pe gamificare și sunt menite să încurajeze implicarea studenților în activități civice. Pe baza analizei rezultatelor acestui studiu, sunt formulate soluții pentru monitorizarea și evaluarea impactului activităților de angajament public, contribuind astfel la optimizarea strategiilor academice. Cercetarea subliniază importanța unui model educațional care să susțină implicarea socială și să promoveze dezvoltarea unei societăți bazate pe cunoaștere, în care universitățile au un rol activ în sprijinirea comunității. Cercetările mele în acest domeniu continuă prin coordonarea echipei de cercetare din cadrul universității pentru proiectul High Intelligent Tutoring System for Academic Success (HITS 023-1-IT02-KA220-HED-000152340) și dezvoltarea de noi resurse bazate pe inteligență artificială. Acest proiect, finanțat de Uniunea Europeană prin programul Erasmus+, are ca obiectiv dezvoltarea unui sistem inteligent de tutorat menit să sprijine succesul academic al studenților prin integrarea tehnologiilor digitale avansate și a strategiilor inovatoare de învățare asistată. Subcapitolul 4.2. scoate în evidență factorii care influențează abandonul universitar și sunt propune soluții pentru creșterea performanței academice a studenților. Factorii determinanți ai abandonului universitar includ dificultăți financiare, metode de predare ineficiente, lipsa orientării profesionale și alegeri neinspirate ale specializării. Pentru a răspunde acestor provocări, a fost dezvoltată o aplicație mobilă bazată pe gamificare și învățare colaborativă, destinată sprijinirii activităților de tutorat și consiliere profesională. Totodată, sunt propuse soluții prin care universitățile pot reduce rata abandonului universitar și pot îmbunătăți succesul academic al studenților, contribuind astfel la formarea unei forțe de muncă bine pregătite. Subcapitolul analizează, de asemenea, conceptul de competențe de gestionare a carierei și propune un nou cadru de orientare profesională, adaptat nevoilor individuale și

contextului european și național. Aceste rezultate au fost realizate în cadrul a trei proiecte de cercetare pentru care am fost responsabil de proiect: Enhancing Career and Service Learning in Higher Education ENHANCE - 2021-1-ES01-KA220-HED-000031128, E-tutoring: tools and web resources for study and career management - 2018-1-IT02-KA203-048005, Learning And Decision making Resources - 2014-1-IT02-KA200-004105. Subcapitolul 4.3. prezintă un cadru metodologic pentru gestionarea carierei. Modelul propus acoperă trei dimensiuni esențiale: managementul personal, parcursul educațional și gestionarea carierei. Pentru fiecare domeniu au fost dezvoltate resurse și instrumente menite să sprijine indivizii în luarea unor decizii informate privind educația, formarea profesională și cariera. Modelul a fost testat de consilieri din cadrul Politehnica București, fiind ulterior îmbunătățit pe baza recomandărilor primite. În continuare sunt preocupată de managementul sistemului educațional fiind implicată în elaborarea a trei noi propuneri de proiecte pentru competiția din martie 2025:

- Think, Make, Learn: A MakerSpace Curriculum Revolution, AI-Driven,
 - AID-TWINS - Digital Twin for Higher Education Decision-Making and Management
 - EMBLEM - European Micro-credentials for Better Leadership and engageMent in student representation.
- *Capitolul 5 – Evoluția și dezvoltarea carierei profesionale* - prezintă evoluția mea profesională, evidențiind atât realizările în domeniul didactic și de cercetare, cât și planurile de dezvoltare academică și științifică. Începând din anul 2009 și până în prezent am desfășurat activități didactice în domenii precum programarea calculatoarelor, achiziția de date, tehnologia fabricației produselor, managementul rețelelor logistice și robotică. Pe lângă activitatea de predare, am elaborat materiale didactice și am contribuit la dezvoltarea infrastructurii laboratoarelor, prin atragerea de fonduri din proiecte de cercetare.
- În sfera activităților administrative, am fost implicată în autorizarea ARACIS a programelor de studii, coordonarea lucrărilor de diplomă și organizarea sesiunilor de comunicări științifice. Am ocupat funcții cheie în comisiile de admitere, am coordonat procesul de admitere la masterat și am participat la elaborarea rapoartelor statistice la nivel de facultate. Începând cu 2007, am fost membră a echipelor de cercetare din două centre ale facultății: Centrului de Cercetare pentru Tehnologii Avansate aplicate Noilor Materiale (CTANM) și Centrului de Cercetare pentru Consulting și Asistență Tehnică în Ingineria Materialelor și Sudare (CAMIS). Am participat la 60 de proiecte în calitate de membru al echipelor de cercetare și am coordonat 13 ca director de proiect pe domenii de cercetare care au inclus: tehnologii din Industria 4.0, proiectarea și programarea dronelor, aplicații bazate pe realitate virtuală pentru instruirea operatorilor de macara, aplicații bazate pe realitate augmentă pentru turism, etc. In acest capitol sunt prezentate planurile viitoare de dezvoltare a carierei didactice care vizează publicarea de cărți și articole științifice, integrarea resurselor digitale în procesul educațional, precum și introducerea de noi discipline. În ceea ce privește perspectivele privind activitatea de cercetare sunt vizate obiective care includ propunerea de noi proiecte de cercetare la nivel național și internațional, extinderea echipei de cercetare prin implicarea studenților și doctoranzilor a tinerilor asistenți.

Summary

The habilitation thesis presents the main scientific achievements of Assoc. Prof. Dr. Eng. Paulina SPÂNU, obtained after defending her doctoral thesis in 2009, in the field of industrial engineering. The work highlights the author's significant results and scientific contributions, structured across several key directions, including cold plastic deformation, tolerances and dimensional control, product design and manufacturing as well as the development of resources dedicated to educational management systems. Some of the results presented in this thesis were obtained within the framework of international research projects, won through competition, in which the author played the role of project manager or member of research teams. After completing her PhD, the author of the thesis has maintained a constant interest in integrating digital technologies into industrial processes. Her research directions align with the topics of the courses she teaches and the faculty's research strategy. In particular, her concerns focus on developing virtual instruments in the graphical programming language LabVIEW, using algorithms supported by theoretical concepts specific to the disciplines in which she was involved. The developed applications have focused on improving the efficiency of cold plastic deformation processes, reducing costs through tolerance optimization, machinability of polymer composite materials, and integrating digital technologies into the university educational system.

The habilitation thesis is organized into five chapters, each exploring specific domains related to product design and manufacturing, as well as aspects of motivation and educational strategy:

- *Chapter 1. - Contributions to the optimization of cold plastic deformation processes* - presents my contributions to the development of digital solutions for optimizing cold plastic deformation technological processes, including edge reflection of parts, bending and stamping. Subchapter 1.1 presents the influencing factors of the edge flanging process of metal parts and the issues arising in the deformation process. . In this context, I developed a LabVIEW application designed to calculate the dimensions of the blank for flanged parts. The application allows for the assessment of part manufacturability, calculation of blank dimensions, and determination of the force required for cold plastic deformation for parts with circular holes. Future research in this area will focus on a detailed analysis of the edge-flanging process and the development of virtual tools covering all the necessary stages of part design and manufacturing. Subchapter 1.2. analyzes the challenges of the bending process, including the risks of cracking and the phenomenon of elastic recovery. To support designers in overcoming these difficulties, I developed a virtual instrument that enables the simulation of the bending process and optimization of technological parameters. The use of simulation programs helps reduce costs associated with experimental tests, allowing the identification of the most efficient technical solutions from the design stage. Future research directions include the development of advanced virtual tools capable of fully supporting all design stages of bent parts, regardless of their shape and dimensions. Subchapter 1.3. presents a detailed analysis of the stamping process, based on which we have developed a software application designed to determine the forces involved in this process. This application contributes to the optimal selection of the machines and tools used, ensuring an accurate

calculation of the total deformation force. As future research directions, the author proposes the development of new software applications that cover the entire design process of parts obtained by stamping, thus facilitating increased efficiency and precision in the manufacturing process.

- *Chapter 2 – Contributions on cost reduction by optimizing tolerance prescription* - presents strategies for reducing industrial costs by optimizing dimensional and geometric tolerances, using digital technologies and innovative educational models. Subchapter 2.1. presents the results of research carried out within the European project UPenAUTO , focused on the development and implementation of an educational module dedicated to tolerance prescription. I designed this module to train students and engineers in the field of tolerances, offering a structured approach to dimensional, geometric and shape tolerances. The evaluation of the module's effectiveness carried out through ANOVA analysis, demonstrated the uniformity of participants' responses and highlighted the need to integrate additional application exercises to consolidate knowledge. Subchapter 2.2. highlights the importance of using software applications for tolerance prescription and optimizing industrial processes. I developed software applications in LabVIEW, designed to implement the principles of maximum material (MMR), minimum material (LMR) and reciprocity condition (RPR). These tools support the reduction of manufacturing costs by: eliminating errors generated by laborious calculations, optimizing design time and increasing precision in defining tolerances. In continuation of this research direction, the author aims to design and implement advanced software tools capable of simulating industrial processes.
- *Chapter 3. - Contributions on the analysis and prediction of the characteristics of polymer composites using digital technologies* – presents the theoretical and experimental contributions on the mechanical characteristics of polymer composite materials, integrated with digital technologies. Subchapter 3.1. explores the use of artificial neural networks for estimating the tensile strength of polymer composites. The study is supported by the implementation of a virtual instrument in the LabVIEW environment, capable of estimating both the tensile strength and the elastic modulus of these materials. The model based on neural networks is extremely accurate, with a prediction error below 5% and a coefficient of determination R^2 above 0.99. The research conclusions confirm the efficiency of using artificial neural networks for determining the mechanical properties of composite materials and provide a valuable tool for optimizing the design process. As future research directions in this field, the author proposes to intensify collaboration with members of the disciplines based on artificial intelligence and the development of new resources for the study of the mechanical characteristics of composite materials. Subchapter 3.2. investigates the compressive strength of polymer composites randomly reinforced with glass fibers for which the author proposes a virtual instrument developed in LabVIEW to eliminate gross errors from experimental data. The algorithm used, based on Chauvenet 's criterion, identifies and eliminates outliers, recalculating the essential statistical parameters (arithmetic mean, standard deviation and variance) in an iterative process until a coherent data set is obtained. In the future, the author will focus on the development of software applications that will be integrated into more complex systems, facilitating a more precise characterization of composite materials, reducing manual effort

and improving the accuracy of experimental results. Subchapter 3.3. analyzes the thermal phenomena generated in the cutting zone during the milling of glass fiber reinforced polymer composites. Temperature control in this process is essential, since high temperatures can compromise the stability of the polymer matrix and the quality of the machined surfaces. In this context, a model based on artificial neural networks (ANN) was implemented to predict the maximum temperature during milling. The ANN models, developed in LabVIEW, demonstrated high accuracy, with a coefficient of determination $R^2 > 0.9992$ and a prediction error below 2%. The author's future directions in this context aim at applying models based on neural networks to obtain models for predicting surface roughness, tool wear and cutting forces in composite materials.

- *Chapter 4. - Contributions to the integration of digital technologies in the education system* – changes the topic to the management of the education system and presents the context of developing a formal competence framework for student career management and implementing digital applications to support the student counselling process. Subchapter 4.1. describes the importance of civic and community engagement of universities within the Third Academic Mission. This subchapter highlights the crucial role that universities have in promoting social inclusion, active citizenship and sustainability, but the implementation of academic social responsibility requires clear strategies and effective partnerships. This subchapter also presents innovative digital applications and platforms, developed within the research projects that I have coordinated over the past few years. These digital tools are based on gamification and are intended to encourage student involvement in civic activities. Based on the analysis of the results of this study, solutions are formulated for monitoring and evaluating the impact of public engagement activities, thus contributing to the optimization of academic strategies. The research highlights the importance of an educational model that supports social engagement and promotes the development of a knowledge-based society, in which universities have an active role in supporting the community. The author continues her research in this field, coordinating the research team at Politehnica University of Bucharest for the High project Intelligent Tutoring System for Academic Success (HITS 023-1-IT02-KA220-HED-000152340). This project, funded by the European Union through the Erasmus+ program, aims to develop an intelligent tutoring system designed to support students' academic success by integrating advanced digital technologies and innovative assisted learning strategies. Subchapter 4.2 highlights the factors influencing university dropout and proposes solutions to increase students' academic performance. The determinants of university dropout include financial difficulties, ineffective teaching methods, lack of career guidance and uninspired choices of specialization. To address these challenges, a mobile application based on gamification and collaborative learning was developed, designed to support tutoring and career counselling activities. At the same time, solutions are proposed through which universities can reduce the university dropout rate and improve the academic success of students, thus contributing to the formation of a well-trained workforce. The work also analyzes the concept of career management skills (CMS) and proposes a new career guidance framework, adapted to individual needs and the European and national context. These results were achieved within the framework of three research projects coordinated by the author: Enhancing Career and Service Learning in Higher

Education ENHANCE - 2021-1-ES01-KA220-HED-000031128, E- tutoring : tools and web resources for study and career management - 2018-1-IT02-KA203-048005, Learning And Decision making Resources - 2014-1-IT02-KA200-004105. Subchapter 4.3. presents a methodological framework for career management. The proposed model covers three essential dimensions: personal management, educational path and career management. For each domain, resources and tools have been developed to support individuals in making informed decisions regarding education, vocational training and career. The model was tested by career counsellors from the Politehnica University of Bucharest and was subsequently improved based on the recommendations received. I am still concerned with the management of the educational system, being involved in the development of three new project proposals for the March 2025 competition:

- Think , Make , Learn : A MakerSpace Curriculum Revolution , AI- Driven ,
 - AID-TWINS - Digital Twin for Higher Education Decision-Making and Management
 - EMBLEM - European Micro- credentials for Better Leadership and engagement in student representation .
- *Chapter 5 – Evolution and development of professional career* - presents the author's professional evolution, highlighting both achievements in the teaching and research fields, as well as academic and scientific development plans. Starting from 2009 until now, I have carried out teaching activities in areas such as computer programming, data acquisition, product manufacturing technology, logistics network management and robotics. In addition to teaching, I have developed teaching materials and contributed to the development of laboratory infrastructure, by attracting funds from research projects. In the sphere of administrative activities, I was involved in the ARACIS authorization of study programs, coordination of diploma theses and organization of scientific communication sessions. I held key positions in admission committees, coordinated the master's admission process and participated in the development of schedules and statistical reports. Since 2007, I have been a member of the research teams of two centers of the faculty: the Research Center for Advanced Technologies Applied to New Materials (CTANM) and the Research Center for Consulting and Technical Assistance in Materials Engineering and Welding (CAMIS). I participated in 60 projects as a researcher and 13 projects as a project manager on research areas including Industry 4.0 technologies, data acquisition and processing, and education system management. This chapter presents the plans for the development of the teaching career aimed at publishing scientific books and articles, integrating digital resources into the educational process, as well as introducing new disciplines adapted to the requirements of the labor market. Future objectives include publishing scientific books and articles, integrating digital resources into education, and introducing new disciplines aligned with labor market demands. Research goals focus on new national and international project proposals, expanding the research team, and involving students and young researchers.