

INDUSTRIA 4.0 PENTRU ERGONOMIA DEPOZITELOR: POSIBILE APLICAȚII ALE TEHNOLOGIILOR EMERGENTE

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnică Timișoara

în domeniul de doctorat *Inginerie și Management*

autor ing. Anca MOCAN

conducător științific Prof. univ. dr. ing. Anca DRĂGHICI

luna 06 anul 2020

1. Rezumatul tezei de doctorat

Prezenta cercetare de doctorat este asociată dezvoltărilor recente și aplicațiilor revoluției Industria 4.0 în cazul depozitelor aferente sistemului logistic. Pentru realizarea cercetărilor au fost luate în considerare atât perspectivele teoretice, cât și cele practice pentru creșterea vitezei și preciziei de depozitare, astfel ca organizațiile să poată face față schimbărilor permanente provenite din mediul extern, dar și cerințelor clienților.

Cercetările bibliografice au luat în considerare aspecte relevante pentru soluționarea temei de cercetare doctorală. Astfel, s-a identificat faptul că soluțiile ergonomice pentru activități/procese ale operatorilor umani din cadrul sistemelor logistice nu au fost considerate prioritare sau de interes major pentru îmbunătățirea sistemelor logistice în ansamblu; aspectele descrise în literatură sunt relative la locurile și condițiile generale de muncă în depozite, dominante fiind cercetările asupra solicitărilor, riscurile musculo-scheletice. De asemenea, cercetările mai recente s-au focusat pe modul în care s-ar putea aplica paradigma Industria 4.0 pentru automatizarea și robotizarea proceselor, dar nu au fost identificate cercetări sau aplicații ale acestora pentru optimizarea activității lucrătorului uman din depozitele logistice.

Tendința în domeniul logisticii este aceea că lanțul de aprovizionare va evolua și va deveni mai „inteligent”, mai transparent și mai eficient datorită implementării noilor transformări digitale și a sistemelor cooperative inteligente (sisteme cibernetice). „*Se va pune accentul pe noile modele care vor fi mai aproape de nevoile individuale ale clienților, promovând o creștere semnificativă a calității deciziilor și (sistemele logistice) vor deveni din ce în ce mai flexibile și mai eficiente în viitorul apropiat*” (Barreto ș. a., 2017). Ca urmare, cu prioritate importanța și relevanța temei de cercetare a fost definită de analiza critică și tendințele constatate în urma cercetării asupra referențialului bibliografic.

Totodată, argumente importante ale introducerii paradigmei Industria 4.0 în activitățile logistice, în general și pentru îmbunătățirea activității lucrătorilor din depozite, în special sunt furnizate de organizații de consultanță sau profesionale ce operează la nivel internațional:

- Un sondaj Price Waterhouse Cooper (PWC) (2016) privind implementarea paradigmei Industria 4.0 a arătat că liderii industriali digitalizează funcțiile esențiale ale întreprinderilor, atât „*în cadrul proceselor organizaționale interne verticale, cât și cu partenerii lor, pe orizontală, de-a lungul lanțului valoric. În plus, aceștia îmbunătățesc portofoliul de produse cu funcționalități digitale și introduc servicii inovatoare bazate pe date*”. Rezultatele studiului a arătat o dorință de creștere a cheltuielilor de digitalizare de la doar 33% în 2017 la peste 70% în 2020 (PWC, 2016).
- Conform „*White Paper Digital Transformation of Industries*” publicată de Forumul Economic Mondial în 2016, în cadrul sistemului de management al lanțului de aprovizionare (Supply Chain Management, SCM) „*tehnologiile cheie vor fi dedicate*

transporturilor autonome și utilizării dronelor, a senzorilor pentru monitorizarea lanțurilor de aprovizionare și pentru folosirea tehnologiilor de imprimare 3D. Companiile ce au implementat soluții de digitalizare vor suporta costuri de achiziție de 0,22% din veniturile lor nete, ceea ce va reprezenta o reducere la jumătate față de cazul companiilor fără soluții de digitalizare (0,5%)". Valoarea digitalizării în următorul deceniu va depăși 1333 miliarde EUR (Forumul Economic Mondial, 2016).

- În ceea ce privește centrele de distribuție (DC), tehnologiile aferente revoluției Industriei 4.0 pot crea noi funcții sistemelor automatizate, de a se adapta mai bine mediului lor pentru a executa mai eficient sarcinile în colaborare cu oamenii. Atât din punct de vedere tehnologic, cât și din punct de vedere organizatoric, pot fi utilizate soluții inovatoare cum ar fi: senzori cu un cost redus, vizualizarea/recunoașterea formelor (computer vision), realitatea augmentată (AR), calculatoare portabile sau „purtabile” (wearables), Internetul lucrurilor (Internet of Things, IoT), programe de analiză a datelor (data-base analytics) și calcule performante; scopul acestora este de a îmbunătăți automatizarea existentă și de a elimina situații istorice (încă) existente cu automatizare scăzută a centrelor de distribuție și lipsa unor procese standardizate. Tendința din ultimii ani a arătat că modurile de utilizare a facilităților centrelor de distribuție s-a schimbat și este nevoie de servicii mai inteligente și mai adaptabile pentru aceste sisteme (Deloitte, 2016). Companiile sunt la curent cu această schimbare și continuă să își adapteze investițiile în consecință.
- Un studiu internațional publicat recent asupra centrelor de distribuție, a arătat că jumătate dintre managerii chestionați (din domeniul tehnologiei informației (IT) și cu operațiunile) intenționau să își înlocuiască în anul 2015, sistemele IT existente cu unele mai modern, având funcții complete de gestionare a depozitelor. Până în 2020, acest număr va crește până la 75%. De asemenea, 51% dintre cei chestionați se așteptau la o investiții majore pentru implementarea de sisteme de localizare în timp real, sisteme dedicate urmării stocurilor și activele aferente depozitelor, precum și dotarea personalul cu echipamente specifice de scanare-identificare și evidență a stocurilor (73%), achiziția de produse care ușurează scanarea codurilor de bare (68%), tablete (66%) și investiții în aplicații de tip IoT (62%). Astfel, se estimează că până în anul 2020 datorită aplicării tehnologiilor IoT să poată fi conectate peste 20 de miliarde de dispozitive sau „lucruri” la infrastructura de internet existentă (Zebra, 2016).

Pentru a elimina scăderile de productivitate cauzate de concepția ergonomică deficitară a proceselor de muncă este necesar să se dezvolte un cadru coerent de aplicare a ergonomiei (situația apare atunci când se utilizează *ergonomia de corecție*, ulterioară concepției sistemelor/proceselor și nu demersul *ergonomiei de concepție* realizat ca o primă analiză diagnostic și care permite ajustări ale sistemelor/proceselor a priori în faza de concepție a lor). Pe lângă modificările tehnologice care trebuie concepute și integrate din perspectiva ergonomici, Industria 4.0 oferă și oportunități tehnologice pentru a sprijini învățarea pragmatică la locul de muncă, pentru a reduce încărcarea și solicitarea fizică a operatorilor și pentru mai buna monitorizare a stării lor de sănătate. Cu toate că robotica și interacțiunea om-mașină sunt discipline având o bază bibliografică extinsă, complexitatea reală a comportamentului uman profesional (sau ocupațional) deschide noi modalități de cercetare care permit crearea de noi paradigme ce pot contribui substanțial la extinderea bazei de cunoaștere (Munoz, 2017). Lipsa relativă de înțelegere de către industrie, a dezvoltărilor emergente ale ergonomiei realizate în sfera cercetării se dovedește a fi o oportunitate pentru a susține îmbunătățiri bazate pe transferul de cunoștințe și pentru stabilirea unor dezvoltări noi și inovatoare.

În cadrul prezentei cercetări doctorale s-au analizat posibilitățile de aplicare a tehnologiilor emergente aferente revoluției Industria 4.0 în cazul depozitului unei întreprinderi din economia reală. Tehnologia existentă, disponibilă pe piață a fost clasificată, examinată și

evaluată considerând capacitatea sa de a îmbunătăți eficiența ergonomică a proceselor de muncă din depozit (parte integrată a sistemului logistic al întreprinderii). Pe baza acestei evaluări și ținând seama de cadrul ergonomic existent (aspecte de ordin legal, normativ în vigoare) a fost dezvoltat un model ce poate fi utilizat de către companii, pentru a determina și urmări nivelul de aplicare a ergonomiei, implementarea sa practică și pentru a descrie nivelul de investiții necesar pentru a maximiza utilizarea tehnologiilor emergente aferente Industriei 4.0.

Motivația temei de cercetare este legată de faptul că ergonomia devine din ce în ce mai importantă în cazul activităților de depozitare și a celor logistice. În prezent, datorită legislației europene și a legislațiilor naționale, companiile din Europa de Vest trebuie să își reconsidere politicile și să se concentreze mai mult pe drepturile individuale, pe implementarea de „*soluții de logistică prietenoase cu oamenii*” datorate concepției unor sisteme logistice ergonomice. Astfel, soluțiile ergonomice vor avea ca efect reducerea fluctuației de personal în cadrul depozitelor prin reducerea/eliminarea acelor aspecte asociate unui mediu de muncă nesigur, la care pot fi expuși lucrătorii. Companiile cu cele mai stabile și mai productive echipe de lucru, în cadrul depozitelor lor, sunt cele cu ce dețin cele mai dezvoltate programe de instruire în domeniile securității, ergonomiei și sănătății.

Interesul crescut pentru ergonomie, pentru reducerea fluctuației lucrătorilor, vine într-un moment în care numeroase companii sunt preocupate pentru introducerea și aplicarea unor tehnologii emergente aferente revoluției Industria 4.0. Este recunoscut faptul că, rezultatele cercetării științifice vor fi întotdeauna dificil de transferat în practica organizațiilor dacă lipsesc definiții clare asupra modului în care acest lucru trebuie realizat sau nu există descris efectul acestor rezultate. Este demonstrat faptul că organizațiile de afaceri se confruntă cu dificultăți atunci când încearcă să dezvolte idei sau să acționeze fără să înțeleagă efectele și rezultatele dorite (Hermann et al., 2015). În plus, „*majoritatea companiilor din Germania nu înțeleg clar ce este Industria 4.0 și cum va arăta*” (Pascual și colab., 2019; Eco - Verband der deutschen Internetwirtschaft, 2014). Această situație este confirmată de experți ai industriei germane care au observat că după implementarea unor tehnologii emergente aferente Industriei 4.0 în companii, câștigurile de productivitate sunt de până la 50%, în funcție de complexitatea cazurilor de utilizare în producției (Bauernhansl et al., 2014), dar, în același timp, nu este clară motivația aplicării acestor tehnologii, iar adoptarea lor este de cele mai multe ori realizată în manieră haotică, nestructurată.

Ca urmare, apare necesitatea definirii unui cadru coerent de analiză pentru a stabili dacă aplicarea unor soluții ergonomice integrând tehnologii aferente Industriei 4.0 sunt adecvate pentru o anumită companie, astfel transformând abordările empirice în unele științifice. În acest context, companiile trebuie să înțeleagă care sunt avantajele adoptării cadrului și principiilor Industriei 4.0 și cum pot beneficia de acestea pentru a crea un mediu de muncă sigur pentru operatorii lor umani. Totodată, datorită interconectivității tehnologiilor din Industria 4.0, trebuie înțeleasă limita legală aplicării tehnologiilor emergente și modalitatea în care acestea trebuie prezentate lucrătorilor, beneficiarii direcți ai acestora.

Scopul programului de doctorat a fost de a dezvolta un set de cercetări focalizat pe concepția unei abordări sistematice și integrate a îmbunătățirii condițiilor ergonomice în depozite, luând în considerare cadrul instituit de revoluția Industria 4.0. Abordările existente din domeniul științei ergonomiei cu aplicații în sistemele logistice au fost analizate și au stat la baza dezvoltărilor teoretice și a studiilor experimentale realizate. Totodată, a fost elaborat, testat și validat un ***model de evaluare a nivelului de maturitate ergonomică.***

Obiectivul general al cercetării de doctorat a fost evaluarea și caracterizarea direcțiilor de cercetare relevante privind ergonomia depozitelor și dezvoltarea unui Model de Maturitate Ergonomică cu aplicabilitate industrială, prin utilizarea diverselor cercetări interdisciplinare din diferite domenii de management. În acest scop, a fost dezvoltată o abordare metodologică, procedurală și organizațională pentru a completa lipsurile constatate în cercetare și pentru a

facilita îmbunătățiri și optimizări practice, în companii. **Modelul propus de Maturitate Ergonomică** a fost aplicat (testat și validat) în cazul unui proiect complex (fabricarea unor loturi de vagoane de tren de clasa a doua ce includ spațiul și instalațiile aferente mecanicului de locomotivă), în cazul căruia aspectele ergonomice au fost inițial subestimate, neglijate.

Obiectivele operaționale asociate cercetării doctorale au fost:

- **OP1.** Analiza și sinteza bibliografică pentru crearea unei imagini de ansamblu privind aplicațiile ergonomiei în îmbunătățirea condițiilor de muncă din sistemele logistice (stadiul actual al cunoașterii). Rezultatele acestui demers a oferit baza științifică a cercetărilor ulterioare privind îmbunătățirea din perspectiva ergonomiei a mediului de lucru în depozite. Mai mult, cercetarea asupra referențialului bibliografic a oferit nu doar baza de raportare a cercetărilor aferente programului doctoral, ci și un inventar terminologic și metodologic util pentru viitoare cercetări în acest domeniu - Capitolul 2;
- **OP2.** Realizarea de cercetări experimentale privind intervențiile ergonomice și implicațiile lor în cazul depozitului aferent lanțului de aprovizionare a unei companii multinaționale de producție (derulare experimentelor asupra problemelor ergonomice curente în cadrul depozitului de fabricație al filialei belgiene a companiei) - Capitolul 3;
- **OP3.** Realizarea de cercetări experimentale pentru analiza și îmbunătățirea capacității de operare în depozitul aferent lanțului de aprovizionare a unei companii multinaționale de producție (derularea experimentelor la depozitul de producție al companiei belgiene pentru identificarea capacităților de îmbunătățire ergonomică utilizând atât abordarea clasică, cât și cu aplicarea tehnologiilor emergente aferente Industriei 4.0) - Capitolul 4;
- **OP4.** Concepția unui Model de Evaluare a Maturității Ergonomice și a unui mijloc de evaluare conexe (cercetarea teoretică a fost însoțită de faze de testare și validare în cadrul unui caz de utilizare definit de contextul derulării unui proiect de complexitate ridicată, dezvoltat într-o companie din Belgia și considerând aspectele juridice și etice specifice) - Capitolul 5.

Obiectivul general și obiectivele de cercetare operaționale sunt sistematic dezvoltate și documentate în diferitele capitole ale tezei de doctorat, așa cum se arată în Figura 1.

Teza de doctorat este structurată în 6 capitole, derulate pe 183 de pagini (inclusiv lista bibliografică conținând articole, cărți și pagini web care au fost utilizate și citate adecvat în textul tezei). În plus, au fost definite 7 Anexe pentru a detalia aspecte ale demersului de cercetare și rezultatele obținute. În total, teza de doctorat are o întindere de 214 de pagini, discursul științific fiind susținut de 20 tabele, 68 figuri și 1 formulă matematică.

Modul în care a fost abordat și atins fiecare obiectiv operațional este dovedit prin conținutul fiecărui capitol al tezei de doctorat, în cadrul căruia s-au descris activitățile de cercetare dezvoltate (metodologiile, metodele și mijloacele folosite), rezultatele obținute și concluziile. Pe scurt, conținutul fiecărui capitol este descris în cele ce urmează.

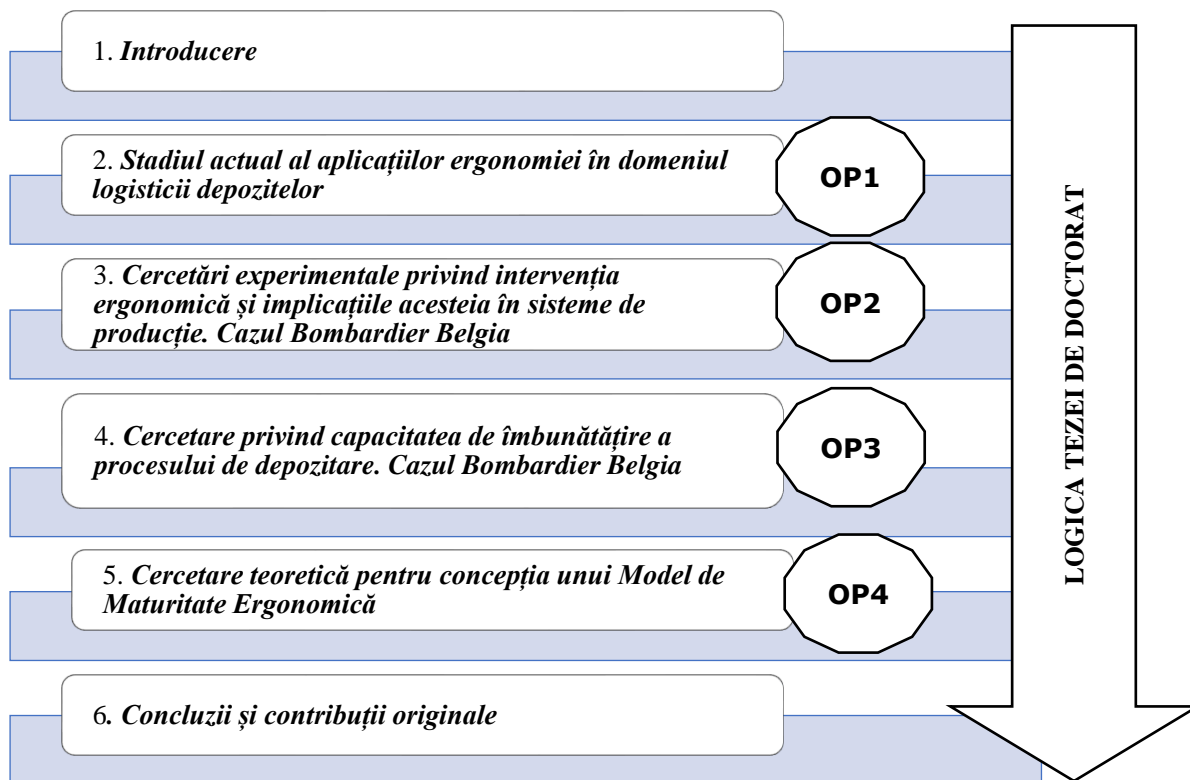


Figura 1. Logica tezei de doctorat și a cercetării realizate (diagramă proprie)

Capitolul 1, „**Introducere**”, descrie temei de cercetare, motivația și importanța științifică și practică a acesteia. Folosind exemple relevante selectate din literatura de specialitate și argumente furnizate de firme de consultanță sau practicieni ai domeniului logisticii și lanțului de aprovizionare, sunt descrise tendințele și provocările acestui domeniu sub incidența revoluției Industriale 4.0 și se definește breșa cercetărilor. Capitolul include obiectivele cercetării și o scurtă panoramă a fiecărui capitol al tezei, demonstrându-se astfel modul în care demersul propus și implementat a condus la atingerea obiectivului (inclusiv a obiectivelor operaționale).

Capitolul 2, intitulat „**Stadiul actual al aplicațiilor ergonomiei în domeniul logisticii depozitelor**”, oferă o imagine de ansamblu asupra stării actuale a cercetărilor prezente în literatura de specialitate, analiza și sinteza concentrându-se pe descrierea rezultatelor relevante. Scopul capitolului este de a crea o bază științifică (terminologică și conceptuală) pentru dezvoltarea cercetărilor teoretice și aplicative prin înțelegerea stadiului actual al cunoașterii în ceea ce privește managementul lanțului de aprovizionare, logistica, depozitarea și a problemelor-soluțiilor ergonomice asociate acestora.

Totodată, se prezintă cercetări actuale privind îmbunătățirea ergonomică a activității operatorilor în depozite, prezentându-se patologii fizice și mentale pe care lucrătorii trebuie să le depășească pentru a-și putea îndeplini sarcinile. Capitolul se încheie cu o prezentare a soluțiilor aferente revoluției Industriale 4.0 care sunt deja aplicate în practica organizațiilor pentru a monitoriza sau îmbunătăți aspectele ergonomice, precum și modul în care aceste soluții pot fi dezvoltate și îmbunătățite în continuare.

Capitolul 3, cu titlul „**Cercetări experimentale privind intervenția ergonomică și implicațiile acesteia în sisteme de producție. Cazul Bombardier Belgia**” examinează realitatea ergonomică actuală a unei fabrici de producție, de complexitate ridicată din Belgia. Compania aleasă pentru cercetare (ce a constat într-un diagnostic ergonomic preliminar al activităților operatorilor în cadrul depozitului) este Bombardier Transportation Belgia, care realizează

concepția, proiectarea și producția unei mari varietăți de produse-servicii destinate transportului feroviar. Astfel, portofoliul companiei constă din vehicule feroviare, sub-sisteme de propulsie, precum și unități de control, boghiuri, sisteme de semnalizare și servicii asociate pentru produsele de transport feroviar, precum recondiționarea vehiculelor, modernizarea și întreținerea flotei existente. Bombardier Transportation este o companie reprezentativă pentru domeniul său de activitate, situându-se pe locul trei în întreaga lume în top 10 companii, în anul 2017, la categoria producători de echipamente originale (Original Equipment Manufacturer, OEM), după cum este prezentat în Figura 2. Bombardier Transportation urmează compania CRRC Corporation Limited din China și compania Alstom din Franța, conform datelor aferente studiului realizat de compania de consultanță SCI Verkehr.¹

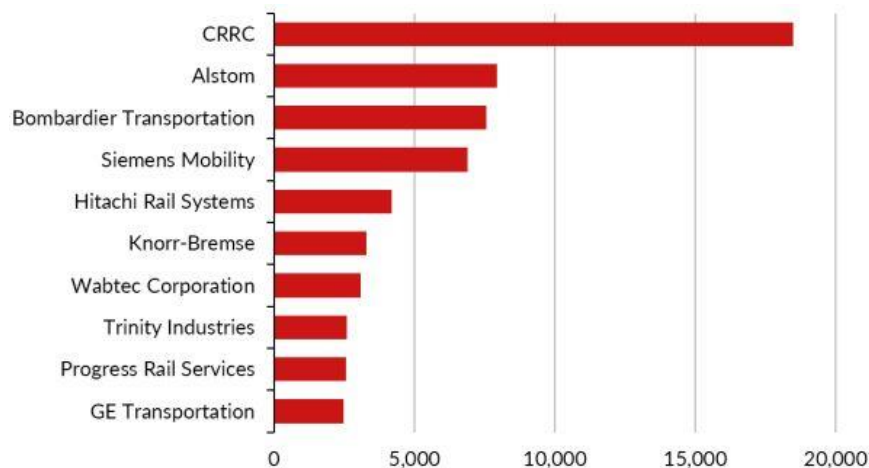


Figura 2. Top 10 cele mai mari OEM-uri din domeniul realizării de produse-servicii destinate transportului feroviar, după cifra de afaceri în anul 2017 (m €)²

Contextul de cercetare este asociat proiectului M7 (fabricarea unor loturi de vagoane de tren de clasa a doua ce includ spațiul și instalațiile aferente mecanicului de locomotivă) care a oferit posibilitatea realizării unor experimente privind starea intervențiilor ergonomice, precum și implicațiile lor pentru îmbunătățirea proceselor de lucru din depozit. Astfel, prin intermediul celor patru experimente, realizate și prezentate în cadrul capitolului, au fost analizate lanțul de aprovizionare intern al companiei, aspectele ergonomice privind facilitățile de depozitare și au fost testate posibilitățile de utilizare a unor soluții de computere portabile (wearable computers). Domeniile de interes pentru cercetările experimentale sunt legate de zonele cele mai vulnerabile ale funcționării sistemului logistic intern, care au fost identificate în urma analizei bibliografice și a observațiilor în cadrul companiei.

Ca urmare a cercetărilor experimentale, în cadrul capitolului 3 sunt descrise:

1. Studiul asupra ergonomiei lanțului de aprovizionare al companiei;
2. Studiul privind analiza dimensiunilor și a ergonmicității rafturilor din cadrul depozitului;
3. Studiul duratei ciclului Kanban de umplere a cutiilor din depozit;
4. Evaluarea ergonomică a operatorilor umani din sistemul Kanban aferent depozitului.

În primul rând, cercetările experimentale realizate au oferit informații și cunoștințe valoroase asupra situației actuale privind ergonomia depozitului companiei, deschizând astfel,

¹ SCI Verkehr este cea mai prestigioasă companie de consultanță axată pe industria internațională feroviară și logistică, <https://www.sci.de/?L=1>

² Leenen M. and Wolf A. (sept.14, 2018). SCI study forecasts upturn in global rail market, International Railway Journal. Retrieved from: https://www.railjournal.com/in_depth/sci-study-forecasts-upturn-in-global-rail-market

perspective pentru concepția unor soluții de îmbunătățire. În al doilea rând, raportarea rezultatelor obținute la studii existente în literatura de specialitate, precum și la cazuri prezente de firme de consultanță sau în literatura de business au oferit o mai bună înțelegere a provocărilor cu care se confruntă companiile de producție atunci când își intensifică preocupările pentru creșterea ergonomicității depozitelor sau a proceselor operatorilor din cadrul acestora.

În cadrul capitolului 4, intitulat „*Cercetare privind capacitatea de îmbunătățire a procesului de depozitare. Cazul Bombardier Belgia*”, a fost valorificat ansamblul de cunoștințe și rezultatele cercetărilor aferente studiilor prezentate în capitolul anterior, demersul de cercetare recurgând la analiza modurilor în care poate fi îmbunătățită realitatea ergonomică a depozitului Bombardier. Soluții identificate și propuse au fost elaborate ca urmare a aplicării unui demers de concepție ce a avut la bază metode tradiționale de îmbunătățire bazate pe metodologia, metodele și mijloacele Lean Six Sigma, dar și ca urmare a analizei unor tehnologii emergente, de automatizare aferente revoluției Industria 4.0.

Ca urmare, în cadrul capitolului 4 este prezentat, în primul rând, un studiu detaliat privind redefinirea spațiului de lucru și analiza procesului Kanban de umplere a cutiilor din depozit, folosind metodele Ishikawa și 5Whys. Acestea au condus la identificarea a 14 aspecte de îmbunătățire care au fost analizate detaliat pe baza matricei efort-impact. Acestea sunt:

1. Cultura companiei BT;
2. Cultura bazată pe proiecte versus pe procese;
3. Definirea fluxului logistic MPR;
4. Moralul angajaților;
5. Politica aferentă sistemului logistic;
6. Strategia de sănătate și securitate la locul de muncă a BT („0 accidente”, „nu 0 probleme” pe termen lung);
7. Capacitatea managerială;
8. Greutatea maximă ce poate fi ridicată / crearea de politici privind ergonomia;
9. Reorganizarea spațiului de lucru: zona Kanban;
10. Reorganizarea spațiului de lucru: zona rafturilor de depozitare;
11. Management vizual al zonei Kanban;
12. Management vizual al zonei rafturilor de depozitare;
13. Programul de lucru aferent lucrătorilor din depozit;
14. Re-concepția cutiei de depozitare Kanban după îmbunătățirea accesibilității operatorilor la rafturile din depozit.

În finalul capitolului sunt problemele de îmbunătățire, riscurile asociate și sunt oferite posibile soluții de îmbunătățire prin exploatarea tehnologiilor emergente aferente revoluției Industriale 4.0. Mai mult, soluțiile de îmbunătățire ergonomică a depozitului sunt evaluate cu ajutorul unei *formule propuse pentru calculul eficienței globale a implementării* definită ca medie ponderată a trei factori: volumul investiției necesare, eficiența ergonomică aferentă adoptării soluției și efortul necesar pentru formarea lucrătorilor în realizarea operațiilor în noile condiții de muncă. Astfel, se realizează bilanțul cost-beneficiu aferent propunerilor de îmbunătățire în cazul depozitului analizat și investigat.

Concluziile cercetării se concentrează pe o analiză comparativă a implementării îmbunătățirilor, luând în considerare eficiența generală a automatizării și a tehnologiilor emergente aferente revoluției Industriale 4.0.

În capitolul 5, cu titlul „*Cercetare teoretică pentru concepția unui Model de Maturitate Ergonomică*”, este prezentat un model teoretic propus pentru diagnoza și îmbunătățirea ergonomiei sistemului logistic.

În subcapitolul 5.1 este prezentat demersul de concepție a modelului având ca element central teoria concepției axiomatice ergonomice (extinzându-se teoria concepției axiomatice

clasice a lui Num Suh). Concepția **Modelului de Maturitate Ergonomică** își are motivația în încercarea de a oferi un demers de înțelegere și mediere reciprocă a abordărilor aferente cercetării academice și a experienței practice din industrie. Astfel, sunt descrise cele trei domenii inter-conectate ale practicilor ergonomice:

- Concepția ergonomică asociat proprietății intelectuale asupra soluțiilor ergonomice aferente produselor/serviciilor, proceselor și sistemelor;
- Aplicarea ergonomiei determinată de nivelul de cunoaștere generală a legilor, principiilor ergonomice și implementarea acestora în mediul de lucru;
- Managementul ergonomiei definit de frecvența cu care sunt controlate și monitorizate respectarea legilor, principiilor ergonomice în cadrul companiei, importanța care li se acordă, precum și cunoștințele și disponibilitatea pentru ca acestea să fie îmbunătățite.

Modelul de Maturitate Ergonomică susține cu precădere ultimul domeniu (putând fi considerat un audit ergonomic), iar modul său de definire are în vedere patru nivele ale maturității asociate modului în care organizația a asimilat în practica sa soluții ergonomice: reactiv, personalizat, preempțiune și concepție. Ca urmare, cele 4 nivele asigură transferabilitatea modelului în metodologia de evaluare a nivelului de maturitate ergonomic la care se află o organizație și care se face de către ergonomiști sau specialiști în sănătate și securitate în muncă folosind **Fișă de evaluare a nivelului de dezvoltare a ergonomiei** în cadrul căreia sunt prezentate **caracteristici ergonomice pentru fiecare nivel de dezvoltare (Tabelul 5.1)**. Astfel, în activitatea de audit se consemnează doar prezența și utilizarea unei soluții sau aspect ergonomice, fiecare organizație fiind liberă să îndeplinească cerințele unui nivel de maturitate tot mai înalt prin integrarea unor variante care se conformează proceselor sale existente.

În subcapitolul 5.2 este prezentat modul de concepere a **mijlocului de evaluare asociat metodologiei și modelului de evaluare maturității ergonomice**. Dezvoltarea a avut la bază programul software Excel, mijlocul de evaluare fiind definit de patru foi de calcul relaționate (Anexa 6). Prima foaie de calcul conține **Fișă de evaluare** (de tip chestionar) cu 43 de întrebări separate în 5 capitole și 11 subcapitole ce constituie „coloana vertebrală” a auditului nivelului de maturitate ergonomic. A doua foaie de calcul prezintă „Rezumatul punctajului de evaluare”, pe baza informațiilor completate în Fișa de evaluare. Cea de a treia foaie de calcul prezintă graficul de tip radar ce se realizează pe baza informațiilor din Rezumarea punctajului; acest grafic oferă o descriere vizuală sugestivă a rezultatelor evaluării. Următoarea foaie de calcul conține caracteristicile ergonomice descrise pentru fiecare nivel de dezvoltare (conform Tabelul 5.1). Astfel, fiecare caracteristică este asociată unui nivel specific de dezvoltare/implementare a ergonomiei, iar fiecare caracteristică este investigată/evaluată cu ajutorul întrebărilor de audit. Tabelul oferă oportunitatea interpretării datelor auditului și adoptării unei secvențe de optimizare generală pe care o companie ar trebui să o urmeze dacă dorește să aplice corect modelul de dezvoltare propus. Această secvență de optimizare este utilizată ca bază pentru optimizarea bazată pe nivel de dezvoltare prezentată în subcapitolul 5.2.2 dedicat algoritmului de optimizare și care este prezentat în două variante: optimizare iterativă generală și optimizarea secvențială bazată pe un model ergonomic). Ultimele două foi de calcul conțin matrice de automatizare, prin care utilizatorul poate solicita calculul tuturor etapelor intermediare de îmbunătățire pe care ar trebui să le urmeze, secvențial, pentru a atinge nivelul de maturitate maxim (100 % scor de audit).

Concepția mijlocului de evaluare are la bază crearea unor funcționalități de audit prin intermediul cărora să se realizeze ghidarea profesioniștilor din management în definirea unor medii ergonomice mai bune. Mijlocul de evaluare creat este descris cu datele aferente evaluării nivelului de ergonomie a companiei Bombardier Transportation Belgia, precum și cu exemplificarea procesului de optimizare și îmbunătățire ceea ce a asigurat testarea și validarea funcționalităților sale într-un caz real (cu demonstrarea modului de exploatare practică).

În capitolul 6, sunt prezentate „**Concluzii și contribuții originale**” revendicate ca urmare a realizării cercetării. Sunt prezentate rezultatele generale obținute și interpretarea acestora din perspectivă științifică și praxiologică. De asemenea, în cadrul acestui capitol sunt prezentate aprecieri critice asupra cercetărilor, limitele acestora și aspecte/implicații etice ale demersului și rezultatelor obținute.

În finalul tezei de doctorat este inclusă o listă bibliografică ce conține 404 de titluri citate (articole, cărți și pagini web) și o listă de 7 Anexe, dedicate unor detalii aferente diferitelor faze ale demersului de cercetare adoptat și implementat, precum și CV-ul și lista de publicații ale autoarei.

Rezultatele cercetării au fost diseminate prin intermediul a 18 articole publicate volume ale unor conferințe internaționale și reviste internaționale, din care 1 articol publicat într-o revistă indexată în baza de date ISI Thomson/Clarivate Analytics, 6 articole publicate în volume ale unor conferințe indexate ISI Thomson/Clarivate Analytics și 7 lucrări index în baze de date internaționale. Toate articolele au fost publicate în cadrul programului de doctorat (2017 - 2020), lista completă a acestora regăsindu-se în Anexa 7.

2. Contribuțiile originale revendicate

Contribuțiile originale sunt reflectate de **rezultatele cercetării** obținute în diferite etape ale programului doctoral și care au fost evidențiate de conținutul fiecărui capitol al tezei de doctorat astfel:

- Analiza și sinteza bibliografică în domeniul managementului lanțului de aprovizionare și a modurilor în care se dezvoltă afacerile odată cu apariția și manifestarea revoluției Industriale 4.0 pentru a răspunde mai bine nevoilor și așteptărilor clienților (asimilabil cu stadiul actual al cunoașterii în domeniile precizate) - Capitolul 2;
- Aplicarea abordării și principiilor ergonomiei în domeniul logisticii depozitelor. Astfel, au fost făcute diferențe între volumul de muncă fizică și psihică și a urmare, cercetările au evidențiat că nivelul actual de cunoaștere și aplicare ergonomiei în depozite sunt minime, că sănătatea și securitatea lucrătorilor nu sunt considerate altceva decât subiecte de conformitate legală - Capitolul 2;
- Furnizarea de soluții ergonomice prin folosirea tehnologiilor emergente aferente revoluției Industriale 4.0; ele au fost prezentate și clasificate în soluții care monitorizează lucrătorul și soluții care îmbunătățesc procesele realizate de acesta la locul de muncă și locul de muncă, făcându-l mai ergonomic - Capitolul 2;
- Diagnoza și analiza mediului aferent lanțului de aprovizionare în cazul companiei aleasă pentru cercetările experimentale (definiția contextului de cercetare cu detalii despre fluxul procesului). Mediul de depozitare a fost auditat și prezentat în detaliu, notând particularitățile industriei aferente - Capitolul 3;
- Concepția și implementarea a patru cercetări experimentale preliminare la sediul companiei (rezultatele cercetării fiind publicate în diferite articole):
 1. Studiul asupra ergonomiei lanțului de aprovizionare al companiei cu evidențierea responsabilității ingineriei în concepția ergonomică;
 2. Studiul privind analiza dimensiunilor și a ergonimității rafturilor din cadrul depozitului (cu studiul asupra operațiilor de ridicare a unor greutăți în vederea depozitării lor pe rafturi);
 3. Studiul duratei ciclului Kanban de umplere a cutiilor din depozit;
 4. Evaluarea ergonomică a operatorilor umani din sistemul Kanban aferent depozitului.Aceste cercetări preliminare au permis o mai bună înțelegere a curenților ergonomice din procesele companiei și au evaluat posibilitatea aplicării soluțiilor oferite de tehnologiile emergente aferente revoluției Industriale 4.0 în mediul real al depozitului companiei - Capitolul 3;

- Dezvoltarea unei abordări ergonomice bazată pe o *formulă propusă pentru calculul eficienței globale a implementării* utilizată pentru a analiza bilanțul cost – beneficiu cu aplicarea soluției ergonomice privind automatizarea și a îmbunătățirilor posibile prin utilizarea tehnologiilor emergente ale revoluției Industriale 4.0 (împreună cu identificarea posibilităților de îmbunătățire a proceselor companiei bazate pe diagnosticul inițial, auditul) - Capitolul 4;
- Concepția *Modelului de Maturitate Ergonomică* și a unui mijloc software asociat pentru a susține exploatarea practică a modelului creat. Astfel, metodologia și mijlocul asociate modelului sprijină demersul realizării auditului privind ergonomia sistemului, oferind specialiștilor un ghid de evaluare în înțelegerea nivelului de maturitate ergonomic atins de o organizație, a punctelor pe care aceasta ar trebui să le îmbunătățească, a timpului și a efortului necesare pentru a implementa o astfel de îmbunătățire. Aceasta este principala contribuție teoretică adusă de prezenta cercetare în domeniul cunoașterii ergonomice - Capitolul 5;
- Analiza mediului juridic din Uniunea Europeană și din Belgia și a modului în care acesta poate contribui și afecta impactul aplicării aplicațiilor hardware și software pentru monitorizare a lucrătorilor, la nivel industrial - Capitolul 5.

În final, este demn de menționat contribuția și exploatarea inițială rezultatelor de cercetare în scopuri didactice, în principal în cazul disciplinei de studiu Occupational Health and Safety de la programul de master, Inginerie și Management pentru Competitivitate și Calitate (dezvoltat la Universitatea Politehnica din Timișoara, Facultatea de Management în Producție și Transport, din anul universitar 2019-2020).

3. Limitele cercetării

Teza de doctorat are la bază cercetările experimentale efectuate într-o companie producătoare ce realizează loturi reduse de produse (producție în serie mijlocie), și având un grad înalt de complexitate, din Belgia. Proiectul ales special pentru analiză (M7) a fost în faza de inițiere a implementării sale, ceea ce înseamnă că parametrii mășurați în timpul cercetărilor pot să nu fie pe deplin reprezentativi pentru cazul producție de serie. Cercetările viitoare ar trebui să fie reluate pentru cazul derulării proiectului în mediul de producție în serie. Mai mult, investigații suplimentare asupra mai multor operatori umani ar îmbunătăți validitatea rezultatelor. Datorită numeroaselor îmbunătățiri ce ar fi trebuit implementare pentru ameliorarea nivelului ergonomic al companiei și a timpului disponibil limitat pentru cercetarea doctorală, nu a fost posibilă repetarea măsurătorilor inițiale în cazul mediului îmbunătățit ergonomic, pentru a vedea cum și dacă acesta este adecvat pentru lucrători, conduce la creșterea productivității acestora și permite astfel, utilizarea mai eficientă a investițiilor în tehnologiile emergente aferente revoluției Industriale 4.0. Totodată, reluarea măsurătorilor ar putea evidenția eficiența ideilor de îmbunătățire, iar procesul companiei ar putea fi corectat dacă se dovedește a fi ineficient. Fiecare posibilitate, soluție de îmbunătățire a fost analizată independent. Deci, interacțiunea dintre diferite combinații de soluții de îmbunătățire nu este clară. Acest fapt ar trebui cercetat pentru a înțelege dacă combinațiile se potențează reciproc în demersul de îmbunătățire sau dacă sunt dăunătoare unele față de altele.

Modelul și mijlocul de evaluare a maturității ergonomice au fost aplicate numai companiei aleasă pentru cercetarea aplicativă. Se impune validitatea ulterioară a acestui demers, a modelului, metodologiei și mijlocului create în mai multe cazuri pentru a identifica punctele slabe ale acestora și a sugera posibile îmbunătățiri și modificări. Mai mult, mijlocul de audit ergonomic poate fi îmbunătățit cu ușurință prin adoptarea unui mediului de codare mai „capabil” din punct de vedere vizual, oferind astfel o interfață și o experiență mai bună utilizatorului, auditorului. Trebuie menționat că în concepția mijlocului de auditare nu a fost luat în considerare timpul și efortul (resursele financiare) necesare pentru a îmbunătăți un

proces specific. Astfel, se consideră utilă extinderea mijlocului de evaluare cu un modul de analiză cost – beneficiu.

În final, analiza cadrului legal realizată pentru analiza posibilității aplicării tehnologiei de colectare a datelor la nivel european ar beneficia de o comparație între țări, pentru a înțelege modalitățile de interpretare a legislației europene la nivel național. Acest lucru ar trebui făcut în speranța creării unei viziuni trans-europene asupra punctelor cu care fiecare țară este de acord și unde diferă înțelegerea națională a legislației europene.

4. Aspecte și implicații etice ale cercetării

Întrucât o parte a cercetărilor s-au referit la culegerea de date personale și medicale în scopuri științifice, este necesar să se precizeze aspectele etice care au fost avute în vedere pentru protejarea identității persoanelor la colectarea și prelucrarea datelor lor. În primul rând, cercetarea a fost dezvoltată independent și imparțial. Autorul a fost prezent la sediul fabricii în calitate de consultant, cu scopul specificat de a analiza situația de facto relativ la configurația sistemului logistic al companiei, a fluxurilor de la achiziționarea pieselor până la momentul livrării lor pe linia de producție, în vederea asamblării. Serviciile de consultanță s-au încheiat cu livrarea raportului de consultanță, din care o parte a fost utilizată în cadrul prezentei teze de doctorat, dar cu acordul companiei. Confidențialitatea participanților a fost asigurată prin anonimizarea datelor direct în momentul colectării acestora. Fișele de observație și chestionarele utilizate nu au fost completate cu numele participanților sau cu o caracteristică de particularitate, optându-se pentru o numerotare ordinală care nu poate fi legată de persoana care a completat informațiile. Conducerea companiei a fost solicitată în scris pentru a asigura accesul la procesele studiate și lucrătorii companiei, înainte de a lua orice contact cu aceștia. Participarea la sondaj a fost făcută în mod voluntar de către inginerii participanți. Toate răspunsurile lor au fost înregistrate anonim și doar datele agregate sunt prezentate în cadrul tezei de doctorat. Totodată, a fost solicitat consimțământul informat al lucrătorilor din depozit care au purtat dispozitivul Fitbit™, iar datele prezentate în teză și raportul de consultanță nu menționează numele sau funcția acestora. Informațiile culese în timpul campaniilor de măsurare au fost prezentate lucrătorilor implicați direct și au fost împărtășite idei despre îmbunătățirea activității lor.

5. Bibliografie selectivă

- [1] Angeles, R. (2005). RFID technologies: supply-chain applications and implementation issues. *Information systems management*, 22(1), 51-65.
- [2] Attaran, M. (2007). RFID: an enabler of supply chain operations. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(4), 249-257.
- [3] Autry, C. W., and Daugherty, P. J. (2003). Warehouse operations employees: linking person-organization fit, job satisfaction, and coping responses. *Journal of Business Logistics*, 24(1), 171-197.
- [4] Barfield, W., and Caudell, T. (2001). Basic concepts in wearable computers and augmented reality. In *Fundamentals of wearable computers and augmented reality* (pp. 19-42). CRC Press.
- [5] Barreto, L., Amaral, A., and Pereira, T. (2017). Industria 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245-1252.
- [6] Battini, D., Persona, A., and Sgarbossa, F. (2014). Innovative real-time system to integrate ergonomic evaluations into warehouse design and management. *Computers and Industrial Engineering*, 77, 1-10.
- [7] Broberg, O. (2007). Integrating ergonomics into engineering: Empirical evidence and implications for the ergonomists. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing and Service Industries*, 17(4), 353-366.

- [8] Butner, K. (2010). The smarter supply chain of the future. *Strategy and Leadership*, 38(1), 22-31.
- [9] Christopher, M. (2016). *Logistics and supply chain management*. Pearson UK.
- [10] Donald, J., Bowersox, C., David, J., & Cooper, M. (2012). *Supply chain logistics management*. McGraw Hill Education
- [11] Dul, J., and Neumann, W. P. (2009). Ergonomics contributions to company strategies. *Applied ergonomics*, 40(4), 745-752. Dudley, R. (2013). Customers Flee Wal-Mart Empty Shelves for Target, Costco. Bloomberg, March, 26.
- [12] Falck, A. C., Örtengren, R., and Högberg, D. (2010). The impact of poor assembly ergonomics on product quality: A cost-benefit analysis in car manufacturing. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing and Service Industries*, 20(1), 24-41.
- [13] Grosse, E. H., Glock, C. H., Jaber, M. Y., and Neumann, W. P. (2015). Incorporating human factors in order picking planning models: framework and research opportunities. *International Journal of Production Research*, 53(3), 695-717.
- [14] Henning, K. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0.
- [15] Hendrickx, F. (2002). Protection of workers' personal data in the European Union.
- [16] Karwowski, W. (2005). Ergonomics and human factors: the paradigms for science, engineering, design, technology and management of human-compatible systems. *Ergonomics*, 48(5), 436-463.
- [17] Knight, J. F. (2002). *The ergonomics of wearable computers: Implications for musculoskeletal loading* (Doctoral dissertation, University of Birmingham).
- [18] Liu, X., Cao, J., Yang, Y., and Jiang, S. (2018). CPS-based smart warehouse for Industria 4.0: a survey of the underlying technologies. *Computers*, 7(1), 13.
- [19] Lewchuk, W., and Robertson, D. (1996). Working conditions under lean production: A worker-based benchmarking study. *Asia Pacific Business Review*, 2(4), 60-81.
- [20] Messing, K. (2000). Ergonomic studies provide information about occupational exposure differences between women and men. *Journal-American Medical Womens Association*, 55(2), 72-75.
- [21] Mirer, F. E. (1989). Worker participation in health and safety: lessons from joint programs in the American automobile Industria. *American Industrial Hygiene Association journal*, 50(8), A598-603.
- [22] Motamedzade, M., Shahnava, H., Kazemnejad, A., Azar, A., and Karimi, H. (2003). The impact of participatory ergonomics on working conditions, quality, and productivity. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 9(2), 135-147.
- [23] Naeni, H. S., Mosaddad, S. H., & Omar, Z. (2013). The role of ergonomics issues in engineering education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 102(1), 587-590.
- [24] Plantard, P., Shum, H. P., Le Pierres, A. S., and Multon, F. (2017). Validation of an ergonomic assessment method using Kinect data in real workplace conditions. *Applied ergonomics*, 65, 562-569.
- [25] Schmidt, A., Gellersen, H. W., & Merz, C. (2000, October). Enabling implicit human computer interaction: a wearable RFID-tag reader. In *Digest of Papers. Fourth International Symposium on Wearable Computers* (pp. 193-194). IEEE.
- [26] Schoenherr, T., and Speier-Pero, C. (2015). Data science, predictive analytics, and big data in supply chain management: Current state and future potential. *Journal of Business Logistics*, 36(1), 120-132.
- [27] St-Vincent, M., Denis, D., Imbeau, D., and Trudeau, R. (2006). Symptoms of stress related to the characteristics of customer service in warehouse superstores. *International journal of industrial ergonomics*, 36(4), 313-321.