

**TOWARDS INTELLIGENT WAREHOUSING: INTEGRATING LEAN AND
INDUSTRY 4.0 TOOLS TO ENHANCE AUTOMOTIVE LOGISTICS PERFORMANCE**
(Spre Depozitarea Inteligentă: Integrarea Instrumentelor Lean și Industriei 4.0 pentru
Îmbunătățirea Performanței Logisticii din Industria Automotive)

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnica Timișoara

în domeniul de doctorat **Inginerie și Management**

autor ing. Michael PETRI

conducător științific Prof.univ.dr.ing. **Marian Liviu MOCAN**

luna **APRILIE** anul **2025**

Industria auto de astăzi este mai mult ca oricând caracterizată de lanțuri de aprovizionare complexe și o cerere crescândă de eficiență, capacitate de reacție (agilitate) și reziliență pentru a se adapta la perturbările constante, așa cum am văzut în ultimii ani, ceea ce conduce și la o schimbare similară de paradigmă în logistica depozitelor. Această teză abordează nevoia critică de depozitare inteligentă prin explorarea integrării sinergice a principiilor de management Lean și a tehnologiilor Industriei 4.0 în sectorul auto, oferind perspective asupra studiului de cercetare privind implementarea unuia dintre primele sisteme de depozitare automată din România. Metodologiile Lean, cu accentul lor pe reducerea deșeurilor și optimizarea proceselor, oferă un cadru fundamental pentru eficientizarea operațiunilor de depozitare, în timp ce instrumentele Industriei 4.0, care includ automatizarea, analiza datelor și sistemele interconectate, oferă oportunități inovatoare de a spori vizibilitatea, agilitatea și luarea deciziilor în cadrul operațiunilor de depozitare (logistică internă) și al managementului fluxului (intrare-depozitare-ieșire). Această cercetare prezintă rezultate reale după implementarea cu succes a acestor instrumente și demonstrează că instrumentele și mentalitățile moderne de management pot debloca îmbunătățiri semnificative ale performanței logisticii auto, atât în zonele de producție, cât și în cele de depozitare. Prin valorificarea accentului pus de Lean pe flux și maparea fluxului de valoare, alături de capacitățile Industriei 4.0 pentru achiziția de date în timp real, analiza predictivă și operațiuni mai rapide (coboți și sisteme de depozitare automată), depozitele pot evolua de la facilități tradiționale de depozitare la noduri inteligente și adaptive în cadrul lanțului de aprovizionare mai larg. Această teză analizează procesul de realizare a unei astfel de integrări ambițioase și importante, explorând aplicații practice prin propriile studii de cercetare și analiză, și propune un cadru inovator pentru companiile auto și managerii lor care doresc să își transforme operațiunile de depozitare în active inteligente, agile și adaptive, care să genereze o eficiență sporită, reziliență și avantaj competitiv în contextul și mediul dinamic actual al afacerilor auto.

Capitolul 1 introduce cadrul general al industriei auto: principalii factori ai competitivității, rețeaua internațională de furnizori, grupurile și alianțele auto, precum și dinamica recentă a vânzărilor la nivel mondial, pentru a oferi o imagine de ansamblu asupra lanțului său de aprovizionare complex, rezistent și foarte competitiv. Capitolul furnizează date empirice pertinente despre volumele de producție, cifrele de vânzări și principalii producători auto mondiali pentru producători, OEM-uri și rețelele lor de furnizori, precum și dinamica industriei în ultimii ani, alături de cele mai importante provocări cu care se confruntă producătorii auto în mediul interconectat de astăzi, precum și perspectivele sale de dezvoltare în lumina tranziției continue și accelerate către tehnologiile vehiculelor electrice. Primul capitol este împărțit în 4 subcapitole (Prezentare generală, Caracteristicile rețelei de furnizori auto, Grupurile și alianțele producătorilor auto și Vânzările mondiale și perspectivele pe principalele piețe), fiecare abordând domeniul său specific.

Statele Unite, China, Japonia și Germania sunt țările de referință pentru industria auto (producție, vânzări, locuri de muncă, inovație, cercetare). Trecerea actuală către forme de transport mai durabile (mașini hibride și complet electrice) a încetinit în ultimul an, dar se așteaptă ca mașinile pe benzină și diesel să se confrunte cu o concurență tot mai mare din partea acestor opțiuni de mobilitate alternative, pe măsură ce industria se adaptează la vremuri și reglementări în schimbare. China este cea mai mare și cea mai rapidă piață auto din lume și își crește prezența globală (chiar și în Europa), o schimbare neașteptată a scenariului, arătând că s-a dezvoltat mult în ultimii 20 de ani. Statele Unite sunt a doua cea mai mare piață din lume și un important punct de referință auto cu unele dintre cele mai importante mărci auto (General Motors, Ford), precum și inovatori precum Tesla. Japonia este a treia cea mai mare piață auto din lume și a stabilit ritmul pentru standarde ridicate de calitate și fiabilitate pentru industrie prin toate mărcile sale majore (Toyota, Honda și Nissan), fiind un concurent rezistent pentru Statele Unite și China. Germania nu mai este a patra cea mai mare piață auto mondială (depășită de India, Coreea de Sud și Mexic, din 2024), dar este încă un jucător major cu o serie de mărci premium (BMW, Mercedes-Benz, Porsche) pe lângă marca sa de volum mare, Volkswagen. În Europa, există puțin spațiu pentru creștere, deoarece industria pare să fi atins deja apogeul. Mai mult, costul ridicat al forței de muncă, lipsa forței de muncă, mediul de reglementare complex al UE, rata scăzută a natalității și populația îmbătrânită reduc cererea de vehicule noi. Cu toate acestea, industria auto europeană este încă un motor major al creșterii economice, va continua să crească (cu marje mai mici) și se va adapta în aceste vremuri către tranziția electrică pentru a rămâne competitivă pe piața globală.

Analiza primilor 20 de furnizori auto globali relevă o concentrare geografică, Statele Unite având cea mai mare pondere (cinci entități: Cummins, Lear, Goodyear, Tenneco, BorgWarner). Urmează îndeaproape furnizorii japonezi (patru companii, inclusiv Denso, Aisin, Bridgestone și Sumitomo Electric). Furnizorii germani și francezi contribuie fiecare cu trei jucători majori în acest clasament, Bosch, ZF Friedrichshafen și Continental fiind poziționați constant în primele patru la nivel mondial, iar Michelin, Forvia și Valeo reprezentând Franța.

Majoritatea producătorilor auto fac parte din grupuri sau alianțe și dețin mai multe alte mărci pentru a profita de structurile de costuri comune, pentru a-și extinde prezența pe piață și pentru a avea o gamă mai largă de modele oferite în portofoliul lor. Cele mai importante exemple sunt Grupurile Volkswagen și Stellantis, Alianța Renault-Nissan-Mitsubishi sau modelul de afaceri chinezesc cu mărci străine în joint-venture care își produc modelele local. Portofoliul Volkswagen include și mărci premium (Audi, Porsche), de lux (Bugatti, Bentley, Lamborghini) și sport (Cupra), pe lângă propria gamă (Volkswagen, SEAT, Skoda). Alianța Renault-Nissan-Mitsubishi deține și mărcile Dacia și Alpine (Renault) sau Infiniti și Venucia (Nissan) și este unul dintre cele mai importante grupuri de producție de vehicule electrice din lume datorită modelelor sale deja celebre (Nissan Leaf și Renault Zoe). Grupul Stellantis include 16 mărci (italiene, americane, franceze, germane/britanice) ca un amestec al portofoliului Fiat Chrysler Automobiles (Alfa Romeo, Fiat, Maserati, Chrysler, Dodge, Jeep) și PSA Group (Peugeot, Citroën, DS Automobiles, Opel/Vauxhall). SAIC Motor, FAW Group, Dongfeng Motor Corporation și Changan Automobile fac parte din primii 4 producători auto de stat din China. Toate aceste mărci chinezești fabrică vehicule în cadrul unor joint-venture cu mărci străine, pe lângă propriile mărci. GAC Group, ZGH (cunoscută sub numele de Geely), BYD Auto și BAIC sunt alți producători auto chinezi importanți. General Motors are în prezent 4 mărci (Chevrolet, GMC, Buick și Cadillac) și conduce vânzările în Statele Unite.

În ceea ce privește vânzările, din 2024 Toyota este încă lider cu vânzări de peste 10 milioane de unități (al 5-lea an consecutiv), în ciuda unei scăderi de 3,7% a dinamicii vânzărilor, urmată de Grupul Volkswagen (9,03 milioane de unități și o contracție de 2,3%), Grupul Hyundai Motor ocupând locul al treilea cu peste 7 milioane de unități vândute (7,23 milioane de mașini, dar o scădere de 1% a dinamicii în 2024). GM s-a apropiat de atingerea pragului de 6 milioane de unități (5.998.000 de vehicule și o scădere de 3,04% a dinamicii), Stellantis atingând 5.415 milioane de unități (o scădere de 12,2% față de 2023). Alianța Renault-Nissan va atinge probabil în jur de 6,5 milioane de vehicule (Grupul Renault 2.264.815 vehicule și Nissan 3.348.687 vehicule), datele oficiale (aproximativ 940.000 de unități vândute, estimare) pentru Mitsubishi nefiind încă disponibile. BYD Auto și SAIC se află, de asemenea, în top 10 vânzări cu peste 4 milioane de unități vândute, urmate de Ford și Honda, ambii producători auto apropiindu-se de aceeași cifră. Geely și Suzuki au vândut ambele peste 3 milioane de unități, în timp ce vânzările pentru mărcile germane (Grupul BMW și Grupul Mercedes-Benz) au fost de aproximativ 2,5 milioane de unități (2024).

Capitolul 2 analizează rolul și importanța industriei auto în Uniunea Europeană (UE), oferind o imagine de ansamblu asupra primelor 10 țări producătoare cele mai relevante. Subcapitolele următoare se concentrează apoi asupra specificului industriei auto din România, atât în ceea ce privește producția, cât și rețeaua de furnizori (în special companiile multinaționale), înainte de a integra aceste perspective într-o viziune mai largă (contribuția Europei de Est la industria auto, având în vedere densitatea ridicată a furnizorilor din regiunea de

vest a României). Acest al doilea capitol este împărțit în 5 subcapitole (Prezentare generală, Industria auto în România, Rețeaua de furnizori a industriei auto din România, Perspective în România și Europa de Est și Industria auto în regiunea de vest a României), fiecare abordând subtema, problemele, provocările și perspectivele sale specifice.

Globalizarea și competitivitatea costurilor au provocat producătorii auto tradiționali să devină mai eficienți și au condus, de asemenea, la o mutare parțială a volumelor de producție din țările lor de origine (Germania, Franța, Spania, Italia, Regatul Unit) către alte unități de producție deținute de grup în țări cu costuri mai mici, atât din UE, cât și din afara UE. Țările din Europa Centrală (Republica Cehă și Slovacia) beneficiază de activitatea lor din industria auto, atât în ceea ce privește fabricarea de automobile, cât și creșterea rețelei de furnizori, de când marca cehă Skoda a fost cumpărată de Volkswagen acum 30 de ani. Republica Cehă are cea mai mare pondere a ocupării directe în industria auto din UE (13,8%), iar din 2007 Slovacia este cel mai mare producător mondial de automobile pe cap de locuitor. Polonia (Stellantis, Volkswagen, Toyota), Ungaria (Audi, Mercedes-Benz, Suzuki) și România (Dacia, Ford) și-au crescut, de asemenea, relevanța în top 10 producători din UE și împărtășesc modele de creștere similare în ceea ce privește industria auto. Bazându-se pe poziția sa stabilă, Uniunea Europeană este un actor global semnificativ în exporturile de vehicule, deținând a doua cea mai mare pondere la nivel mondial, urmând îndeaproape performanța dominantă a Chinei. În cadrul UE, Germania își menține statutul de principal centru de producție auto, contribuind cu un procent substanțial de 29% la producția totală de vehicule a regiunii. O analiză a volumelor de producție din 2022 relevă o concentrare în câteva state membre cheie (Germania, Spania, Franța, Republica Cehă și Slovacia), fiecare atingând o producție de peste 1 milion de vehicule anual. Acest lucru evidențiază rolul lor critic în peisajul auto general al continentului, în timp ce producția lor colectivă modelează semnificativ poziția UE pe piața auto globală.

România este piața auto cu cea mai rapidă creștere din UE, cu o rată anuală de creștere de 10%. Industria auto din România este dezvoltată în jurul celor 2 mari fabrici de automobile din țară (Dacia și Ford), precum și a unei rețele extinse de furnizori auto multinaționali. Cifra de afaceri a industriei auto din România a depășit 30 de miliarde de euro (2022), contribuind cu 12% la PIB și 30% la exporturi (o creștere de 70% în ultimii 10 ani), în timp ce peste 60% din aceste vânzări au fost generate de rețeaua sa de furnizori interni. În general, creșterea industriei auto (peste 630 de companii și 230.000 de angajați) a crescut de 25 de ori în ultimii 20 de ani și a fost marcată de al treilea an consecutiv cu o producție de peste jumătate de milion de vehicule (560.102 vehicule în 2024 și o creștere anuală de 9,1%). Fabrica Dacia din România are în medie niveluri de productivitate de 90-95% la fabrica sa din Mioveni (capacitate maximă: 350.000 de vehicule), peste standardele din industrie. Fabrica Ford Otosan din Craiova a avut un început mai lent al operațiunilor înainte de a trece la mai multe modele în ultimii ani, dar a egalat producția fabricii Dacia în 2024, cu peste 90% din producție exportată cu trenul către portul maritim Constanța. După o ușoară scădere de 10% în 2021, 2022 a marcat o altă creștere (195.237 de unități), înainte de producția absolută pentru fabrica (5.893 de angajați): 250.670 de unități (2024) pentru o capacitate de producție de aproape 272.000 de vehicule (productivitate de 92,15%) și 45% din toate mașinile fabricate în România, reducând decalajul față de Dacia.

Creșterea impresionantă a industriei auto din România a fost generată de nevoia producătorilor auto tradiționali (Germania, Franța și Italia) de a avea, pe lângă furnizorii asiatici, alternative mai apropiate de fabricile lor din țară. Competitivitatea costurilor pieței românești a fost astfel văzută ca o oportunitate de extindere și creștere ulterioară pe o piață emergentă (furnizorii de cutii de viteze ai Grupului Mercedes-Benz, Star Assembly și Star Transmission, Michelin, Pirelli, Continental, Hella, Autoliv, Bosch), pe lângă centrul de cercetare Renault din București (Renault Technologie Roumanie), centrul tehnic din Titu sau centrul logistic Dacia din Mioveni, datorită forței de muncă înalt calificate, tinere și motivate. Continental este principalul angajator din industrie la nivel național (cu fabrici și centre de cercetare în toate regiunile majore), având peste 20.000 de angajați în 2024. Factori favorabili pentru investiții au fost condițiile economice locale generale (foste fabrici, forță de muncă specializată era deja disponibilă și dornică să lucreze, infrastructură de bună calitate, sprijinul autorităților locale), dar și apropierea amplasamentelor fabricilor alese de accesul la autostradă (în principal A1) și opțiunile de aeroport din apropiere în fiecare regiune majoră (Banat-Crișana, Transilvania, Moldova, Oltenia și/sau Dobrogea). Unele dintre companiile multinaționale au investit și colaborează în proiecte locale de învățământ dual în regiunile lor stabilite pentru a-și dezvolta în continuare forța de muncă actuală și viitoare. Companiile multinaționale reprezintă aproximativ 85% din primele 100 de companii din România în ceea ce privește vânzările și profiturile (2022). Cele 10 cei mai importanți furnizori auto din România sunt grupuri multinaționale care reprezintă vânzări de aproape 10 miliarde de euro (peste 25% din contribuția tuturor furnizorilor la cifra de afaceri a sectorului auto) și sunt grupuri multinaționale. Rețeaua de furnizori de piese auto din România include, pe lângă grupurile internaționale/multinaționale, foste companii românești de stat tradiționale sau afaceri inițiate de acționari români. Expansiunea recentă a rețelei de furnizori din România a făcut ca aproape orice mașină fabricată sau vândută în Europa să aibă cel puțin o componentă fabricată aici, evidențiind astfel rolul său în contextul auto actual.

Comparativ cu Polonia și Ungaria, România prezintă un peisaj auto nuanțat. Cei doi producători auto principali, Dacia și Ford, sunt completați de o rețea de furnizori dezvoltată, deosebit de puternică în regiuni precum Vestul, care beneficiază de o logistică robustă și condiții economice competitive. Cu toate acestea, limitările infrastructurii în zone precum Moldova și regiunile nordice, împreună cu rețelele de autostrăzi incomplete (în special secțiunile A1 și rutele aglomerate de la București), reprezintă dezavantaje semnificative. Mai mult, deși România a aderat la Spațiul Schengen la 1 ianuarie 2025, neapartenența anterioară și migrația continuă a forței de muncă către marile centre urbane continuă să pună sub semnul întrebării o distribuție mai uniformă și un ecosistem de furnizori mai durabil în întreaga țară. Ungaria are 4 producători auto principali cu sediul pe teritoriul său (Suzuki Esztergom, Audi Gyor, Mercedes Kecskemet și BMW Debrecen) în nordul, nord-vestul, centrul și estul Ungariei. Industria auto este cel mai important sector industrial al Ungariei (5% din PIB și 21% din exporturi) cu peste 740 de companii și aproximativ 175.000 de angajați direcți și indirecti. Sectorul auto din Polonia are patru producători auto majori: Fiat, Volkswagen, Opel/Stellantis și Toyota, Toyota operând 6 linii de producție hibridă. Țara produce, de asemenea, camioane și autobuze MAN, Volvo și

Scania și este un centru auto semnificativ, contribuind cu 8% la PIB și 21% din valoarea exporturilor în 2019. Cu peste 187.000 de angajați în 2.500 de companii, inclusiv furnizori majori, Polonia exportă 80% din producția sa auto, în principal către piețele UE vecine, demonstrând o creștere rapidă și un angajament de reducere a amprente de carbon cu 50% până în 2030, furnizorii polonezi livrând componente către toate mărcile majore (Grupul Volkswagen, Ford sau Mercedes-Benz și BMW). România atrage investiții mai mari în industria auto comparativ cu alte țări din Europa Centrală și de Est, cu producția de componente complexe (electronică avansată) realizată de companii precum Bosch, Fujikura și Continental, alături de creșterea automatizării și adoptarea Industriei 4.0 (mașini interconectate, gestionarea inteligentă a datelor, soluții de depozitare automatizate). Componentele auto non-auto reprezintă aproximativ 70% din exporturile țării, destinate în principal UE și altor centre de producție la nivel global. În timp ce Polonia și Ungaria reprezintă o concurență puternică cu o infrastructură superioară și proximitate față de Europa de Vest, România beneficiază de competitivitatea costurilor, o forță de muncă calificată și o reputație foarte bună în ceea ce privește valoarea pentru clienți în regiuni auto cheie precum Sibiu și Timișoara. Trecerea accelerată a Ford Otosan către producția de modele hibride și chiar complet electrice la Craiova și planul Dacia de a produce noul motor hibrid pentru modelul Jogger la Mioveni după oprirea producției de motoare diesel în 2024 demonstrează această tranziție. Pentru o creștere susținută, România trebuie să atragă investiții în producția de baterii electrice și componente electronice.

Regiunea de Vest a României se distinge ca un centru auto esențial, caracterizat de o activitate extinsă și un ecosistem divers de furnizori auto concentrați în jurul Timișoarei, Aradului și Oradiei. Această atractivitate provine semnificativ din poziția sa geografică strategică de-a lungul graniței cu Ungaria, oferind un acces fără egal la o infrastructură robustă care include autostrăzi care se conectează la M43 din Ungaria prin Nădlac-Csanadpalota (Aradul fiind la 45 de minute de mers cu mașina), facilități aeroportuare bine dezvoltate în Timișoara (al 4-lea ca mărime la nivel național în 2022 cu peste 1 milion de pasageri și un centru logistic DHL), Oradea (al 9-lea ca mărime cu aproximativ 200.000 de pasageri) și un aeroport mai mic în Arad, alături de o rețea feroviară cuprinzătoare și terminalul intermodal feroviar internațional strategic important de la Curtici, cel mai mare și mai modern terminal de containere interioare din România și o facilitate cheie în regiunea Europei Centrale și de Est. În special, Aradul și Timișoara beneficiază de șosele de centură, fluidizând traficul greu de mărfuri, o caracteristică mai puțin obișnuită în alte orașe mari din România. Atractivitatea regiunii este sporită și de prezența Universității Politehnica din Timișoara, o instituție de învățământ superior foarte apreciată și principala sursă de absolvenți cu înaltă calificare tehnică în diverse discipline ingineresti. Infrastructura academică robustă a orașului, cuprinzând patru universități mari cu o populație studențească combinată de peste 40.000 de studenți, asigură o rezervă de talente constant bine calificată, disponibilă pentru sectorul auto. Multiculturalismul inerent al regiunii Banat, cu minorități semnificative de etnie maghiară, sârbă și germană, promovează un mediu multilingv în care o parte substanțială a populației posedă fluentă în cel puțin două-trei limbi, reprezentând un atu considerabil pentru operațiunile de afaceri internaționale. Primul Forum Auto (2014) a avut loc la Timișoara acum 10 ani, cu 100 de companii reprezentate, iar la acea vreme tema principală a fost cum să pregătească inginerii pentru nevoile viitoare ale

perspectivelor de dezvoltare ale industriei auto. Exportul de produse cu valoare adăugată ridicată contribuie direct la prosperitatea economică și la calitatea vieții îmbunătățită observate în zonele în care se află aceste companii auto. În ciuda acestor avantaje considerabile, regiunea de Vest se confruntă cu provocări. Rata excepțional de scăzută a șomajului, constant sub 1% (cu Sânnicolau Mare fiind renumit pentru că este singurul oraș din România cu 0% șomaj), creează dificultăți semnificative în recrutarea și reținerea personalului. Chiar și centrele urbane mai mari, cum ar fi Aradul și Timișoara, se confruntă cu o vânatoare de talente competitivă și o piață a muncii care favorizează angajații. Pentru a atenua aceste provocări legate de forța de muncă, companiile oferă adesea servicii extinse de transport și navetă pentru angajații care fac naveta de la distanțe de 50-100 de kilometri sau chiar din țările vecine (inclusiv lucrători non-UE în limita cotelor), încercând simultan să mențină loialitatea angajaților în mijlocul unei concurențe intense pentru talente. Importanța strategică a regiunii de Vest este amplificată și de prezența semnificativă a furnizorilor auto de top la nivel global. În 2022, trei dintre primii patru furnizori auto mondiali aveau o bază operațională puternică în această regiune (Bosch, Continental, ZF). Confluența dintre infrastructura rutieră excelentă (autostrada A1), feroviară (Centrul de Marfă Railport Arad – Curtici pentru transporturi intermodale) și aeriană (aeroporturile Timișoara, Oradea și Arad), împreună cu prezența unor parcuri industriale dedicate și un peisaj competitiv al furnizorilor de servicii logistice (inclusiv 3PL și depozitare), a stabilit ferm regiunea de Vest ca fiind cel mai mare centru logistic din România, atrăgând companii de transport semnificative. Traectoria remarcabilă de creștere a industriei auto românești în ultimele două decenii, de la aproximativ 3,8 miliarde de euro înainte de aderarea României la UE în 2007 la aproape 20 de miliarde de euro în 2015 și aproximativ 30 de miliarde de euro în 2022, subliniază importanța crescândă a regiunii și a națiunii în peisajul auto global, cu jucători majori precum Continental extinzându-și prezența alături de producătorii consacrați Dacia și Ford.

Capitolul 3 introduce modele și metode matematice care pot fi utilizate pentru a înțelege unele dintre principiile fundamentale folosite în managementul depozitelor și al logisticii. Subcapitolele următoare abordează unele dintre cele mai frecvent utilizate instrumente matematice care permit o înțelegere și o modelare mai ușoară a operațiunilor de depozitare, înainte de a proiecta scenarii care pot fi apoi analizate și simulate complet prin instrumente software și programe și pachete de optimizare adecvate. Acest capitol permite unui manager de logistică să își evalueze mai bine fluxurile operaționale și să obțină o înțelegere îmbunătățită și mai profundă a performanței generale a depozitului, precum și a indicatorilor săi individuali și pe zone. Acest al treilea capitol este împărțit în 4 subcapitole (Instrumente bazate pe date pentru decizii logistice precise, Limite pentru scalarea operațiunilor logistice, Modelarea proceselor dinamice pentru abordarea optimizării logistice și Analiza datelor pentru logistică eficientă), fiecare abordând setul său specific de instrumente matematice.

Deși modelarea matematică ar putea descrie o mare parte din logistica noastră internă a depozitului, schimbările frecvente și rapide în layout, operațiuni și constrângeri împiedică aplicarea practică și validarea modelelor de cercetare operațională, adesea făcând rezultatele rapid depășite (inaplicabile în condițiile noastre reale). Prin urmare, această secțiune prezintă

metode mai simple, mai direct relevante, utilizate în diferite măsuri, recunoscând complexitatea lor limitată datorită acestor schimbări operaționale dinamice. Interpolarea liniară, o tehnică fundamentală de estimare, generează aproximații prin conectarea punctelor de date existente, îmbunătățind astfel granularitatea datelor. Din punct de vedere matematic, este o metodă de ajustare a curbei care utilizează polinoame liniare pentru a prezice valori în intervalul unui set de date cunoscut. Acest instrument se dovedește valoros în operațiunile de logistică și depozitare pentru a informa deciziile, așa cum s-a demonstrat în aplicațiile noastre pentru analiza spațiului de depozitare și a utilizării echipamentelor (performanță internă), predicțiile volumului de manipulare a stocurilor (previziunea cererii și a stocurilor) și estimările costurilor de transport intrare-ieșire. Au fost explorate mai multe aplicații practice ale interpolării liniare pentru a îmbunătăți operațiunile de depozitare (optimizarea alocării spațiului de depozitare, utilizarea echipamentelor, în special a stivuitoarelor în perioadele de vârf de manipulare, planificarea proactivă a întreținerii, identificarea blocajelor, alocarea îmbunătățită a echipamentelor pentru creșteri anticipate ale volumului, previziunea cererii și a stocurilor). În cele din urmă, interpolarea liniară a ajutat la estimarea costurilor de transport pentru diverse distanțe și furnizori de servicii (analizarea costurilor pentru distanțe cunoscute de la diferiți transportatori, estimarea costurilor pentru rute intermediare, o planificare mai eficientă a rutelor și selectarea celor mai rentabile opțiuni de transport).

Pentru a formaliza și valida analiza noastră, rezultatele și progresul îmbunătățirilor din cadrul depozitului, am utilizat și funcția logistică. Acest instrument matematic este valoros pentru modelarea constrângerilor de capacitate și pentru proiectarea atât a traiectoriei de creștere, cât și a punctelor finale de saturație ale schimbărilor noastre operaționale. Utilizarea noastră inițială și principală a acestei funcții a implicat modelarea ratei de adoptare a noilor tehnologii, un subiect explorat mai detaliat într-un capitol ulterior. În mod specific, am aplicat funcția logistică pentru a aborda complexitățile asociate cu implementarea unui nou sistem de gestionare și depozitare a depozitului, AutoStore. Având în vedere noutatea sa în România și precedentul limitat pentru adoptarea la scară largă, în special în Europa de Est la acea vreme, obiectivul nostru a fost de a prognoza rata de asimilare a tehnologiei în fabrica noastră prin compararea cu exemple de implementare stabilite în industria mai largă. Funcția logistică s-a dovedit deosebit de potrivită pentru modelarea curbelor de adoptare, ilustrând eficient echipei de management al lanțului de aprovizionare progresul anticipat în timp. În special, funcția a estimat cu precizie nivelurile indicatorilor de productivitate pentru fiecare etapă critică de implementare – lansare, creștere și maturitate – în diverse puncte temporale, demonstrând o precizie remarcabilă în ciuda familiarității noastre inițiale limitate cu sistemul. Acest rezultat perspicace a jucat un rol crucial în procesul nostru decizional privind extinderea potențială a soluției AutoStore la noi zone de depozitare față de revenirea la o abordare mai convențională cu rafturi și stivuitoare. Dincolo de adoptarea tehnologiei, funcția logistică a oferit, de asemenea, informații valoroase în optimizarea layout-ului depozitului nostru, cu un accent specific pe minimizarea timpului de deplasare pentru personalul care colectează comenzi în secțiunea de depozitare pre-automatizată. Prin utilizarea funcției logistice pentru a modela relația dintre distanța parcursă de lucrători și numărul corespunzător de comenzi colectate, am putut calcula atât componentele de timp cu valoare adăugată, cât și cele fără valoare adăugată. Această analiză a facilitat identificarea strategiilor

optime de plasare a articolelor solicitate frecvent, permițând o înțelegere mai clară a capacității teoretice și reale de transport a depozitului.

Abordând provocări dincolo de optimizarea spațiului de depozitare, am întâmpinat probleme semnificative în rutarea vehiculelor, în special pentru sosirile camioanelor de intrare, și analiza sistemului de așteptare privind prioritizarea atât a livrărilor de materii prime, cât și a expedierilor de produse finite. Metodele analitice explicite proiectează direct starea viitoare a unui sistem din starea sa actuală. În schimb, metodele implicite implică rezolvarea ecuațiilor care includ atât stările actuale, cât și cele viitoare, oferind o reprezentare potențial mai precisă, dar și mai complexă a dinamicii sistemului. Selectarea unei metode numerice adecvate depinde de problemă. Metoda Euler, o tehnică iterativă, pas cu pas, permite calcularea traiectoriilor și oferă capacități de prognoză. Atunci când se utilizează metode implicite, metoda de divizare a operatorului prezintă adesea avantaje prin descompunerea operatorului diferențial în componente liniare și neliniare distincte. Metoda Euler, o abordare numerică fundamentală de ordinul întâi, oferă o aproximare simplă pentru rezolvarea ecuațiilor diferențiale ordinare pe un interval specificat. Atât implementările directe, cât și cele inverse ale metodei Euler oferă o estimare general acceptabilă a traiectoriei și magnitudinii soluției, prezentând o asemănare rezonabilă cu soluția reală chiar și atunci când sunt juxtapuse cu metode numerice mai complexe. Metoda Euler oferă o abordare practică pentru evaluarea diferitelor provocări de depozitare și operaționale. În contextul optimizării spațiului, această metodă poate prezice cerințele viitoare de spațiu de depozitare atunci când mărfurile sosesc la rate fluctuante. Prin modelarea acumulării de mărfuri pe baza ratei potențial variabile în timp a articolelor primite, metoda Euler oferă o estimare inițială utilă a capacității de depozitare necesare în diferite momente, facilitând planificarea proactivă pentru a preveni atât supraaglomerarea depozitului, cât și scenariile de epuizare a stocurilor. O provocare logistică recurentă implică simplificarea rutării vehiculelor. Camioanele de livrare care navighează prin mai multe locații se confruntă cu timpi de sosire variabili la porțile fabricii noastre din cauza priorităților și a întârzierilor neprevăzute. Prin modelarea schimbării lungimii cozii în timp, putem obține o estimare aproximativă a dinamicii cozii. Această analiză de bază a cozilor de așteptare (distinctă de tehnicile mai sofisticate ale teoriei cozilor) oferă o evaluare rapidă și simplă a volumelor de sosire și a strategiilor potențiale de programare pentru a atenua proactiv blocajele la rampele noastre de încărcare.

Managementul operațional al unui mediu de depozitare necesită în mod inerent un accent pe îmbunătățirea continuă sau optimizare, cuprinzând atât îmbunătățirea eficienței proceselor interne, cât și analiza cuprinzătoare a performanței generale. Algoritmii de optimizare a rețelei oferă instrumente puternice pentru eficientizarea circulației mărfurilor și a informațiilor atât în interiorul depozitului, cât și pe întregul lanț de aprovizionare. De exemplu, algoritmi de găsim a celui mai scurt drum, cum ar fi Dijkstra, excelează în identificarea celor mai eficiente rute între oricare două puncte dintr-o rețea. Această capacitate poate fi aplicată direct pentru optimizarea secvențelor de colectare a comenzilor sau a căilor pentru echipamentele de manipulare a materialelor din depozit. O altă categorie de algoritmi valoroși sunt algoritmi de construire a arborelui de acoperire minimă, exemplificat de algoritmul lui Prim. Acești algoritmi determină setul minim de conexiuni necesare pentru a lega toate nodurile dintr-o rețea. În contextul

depozitării, acest lucru poate fi utilizat pentru optimizarea layout-ului fizic al zonelor de depozitare și al stațiilor de lucru sau pentru proiectarea celei mai rentabile rețele de transport pentru logistica de intrare și ieșire. Analiza statistică furnizează indicatori cantitativi pentru evaluarea performanței operaționale și cuantificarea abaterilor de la obiectivele stabilite. Aceste metode permit examinarea datelor operațiunilor de depozitare pentru a discerne tendințele subiacente, modelele recurente și zonele care necesită îmbunătățiri. Tehnicile statistice comune utilizate includ analiza de regresie, analiza seriilor de timp și testarea ipotezelor. Integrarea acestor instrumente și tehnici matematice în cadrul nostru analitic a crescut nivelul de detaliu în înțelegerea operațiunilor noastre de depozitare și a facilitat identificarea zonelor potrivite pentru proiecte de optimizare a performanței.

Capitolul 4 prezintă unele dintre cele mai importante concepte și principii (management lean și managementul operațiunilor) utilizate în activitatea noastră zilnică din depozit, dar care sunt tipice și pentru comunicarea noastră cu colegii din producție și din zona atelierului, precum și cu întreaga echipă de logistică internă. Acest al patrulea capitol este împărțit în 4 subcapitole (Managementul layout-ului depozitului, Principiile fluxului de producție JIT, Impactul globalizării asupra managementului producției și Managementul vizual) și abordează un limbaj foarte comun pentru o fabrică tipică din industria auto.

Managementul lean al layout-ului depozitului se concentrează pe optimizarea fluxului și minimizarea deșeurilor, un efort continuu realizat prin îmbunătățiri incrementale ale depozitului și ale zonei de depozitare, unde manipularea, logistica internă și fluxurile de materiale se intersectează frecvent. Layout-ul ar trebui să susțină activități eficiente, cu valoare adăugată și să permită adaptări care îmbunătățesc performanța. Un layout eficient promovează înțelegerea proceselor și dezvăluie oportunități de reducere a costurilor și de eliminare a deșeurilor, adesea identificate de angajații implicați (îmbunătățirile sunt frecvent evidente și provin adesea de la angajați și muncitori), dând putere deciziilor informate ale managementului. Managementul modern al lanțului de aprovizionare în această industrie subliniază perspectiva lanțului valoric și principiile de optimizare globală, necesitând o viziune holistică asupra întregii rețele de furnizori verticali și orizontali pentru a asigura livrarea eficientă a valorii către consumatorul final. Industria auto operează într-un mediu extrem de competitiv, condus de progresele tehnologice rapide și de provocările continue ale gestionării creșterii și adaptării la cadrele de reglementare în evoluție.

Sistemul Just-In-Time (JIT) minimizează stocurile prin livrarea materialelor exact atunci când sunt necesare pentru producție, o abordare bazată pe cerere, axată pe reducerea deșeurilor prin "producerea numai atunci când este necesar". În managementul depozitului, principiile JIT optimizează capacitatea de stocare și îmbunătățesc circulația mărfurilor. Am adoptat o metodologie practică în 5 pași pentru a reduce costurile de stocare și a crește productivitatea depozitului: Optimizarea spațiului de depozitare, Îmbunătățirea fluxului de mărfuri, Reducerea deșeurilor, Vizualizare clară, Flexibilitate/Adaptabilitate. Adoptarea Just-In-Time (JIT) în managementul depozitului oferă un potențial substanțial de creștere a eficienței operaționale, de

reducere a costurilor și de îmbunătățire a satisfacției clienților. Sistemul japonez de producție auto, deși s-a inspirat din producția de masă a lui Ford, a deviat pentru a prioritiza flexibilitatea ca răspuns la nevoile schimbătoare ale pieței. Figuri cheie precum Taiichi Ohno, Shigeo Shingo și Kaoru Ishikawa au pledat pentru optimizarea fluxului intern de materiale, îmbunătățirea continuă și eliminarea deșeurilor, surprinse de filozofia "Mai puțin înseamnă mai mult". Concurența intensă din sectorul auto este demonstrată și de numărul tot mai mare de colaborări și alianțe. Aceste parteneriate urmăresc să partajeze costurile și să valorifice resursele, expertiza și profiturile combinate. Ca rezultat, numărul furnizorilor auto independenți a scăzut semnificativ în ultima jumătate de secol, alături de o reducere a furnizorilor direcți. Aceste relații complexe, multi-stratificate, alianțe și parteneriate de afaceri între producătorii auto definesc temeinic structurile de proprietate (control majoritar sau minoritar) și amploarea colaborării (joint ventures, fabrici de producție comune și integrarea anumitor mărci, modele și motoare între diferite mărci și modele din cadrul grupului sau alianței) pentru marile mărci auto globale.

Globalizarea producției auto a creat un peisaj complex, echilibrând piețele în expansiune cu obstacole operaționale și logistice complicate, care necesită o gestionare robustă pentru o eficiență și o performanță susținute ale costurilor. Perturbările globale au pus la încercare rețelele de furnizori dispersate, axate pe costuri tradiționale, evidențiind vulnerabilitățile și prioritizând reziliența lanțului de aprovizionare. Lanțurile de aprovizionare auto durabile necesită stimularea inovației, adoptarea tehnologiei și menținerea solidității financiare. Firmele auto trebuie să exceleze în calitatea furnizorilor (echilibrând excelența, costul și fiabilitatea), integrând tehnologii avansate pentru vehicule și adaptându-se la schimbările tehnologice din baza de furnizori, în special în tehnologia bateriilor. O strategie de afaceri eficientă este crucială, având un impact semnificativ asupra performanței și competitivității pe termen scurt și lung, influențând finanțele, lanțurile de aprovizionare (relațiile OEM-furnizori) și succesul general al afacerii. O abordare strategică rezilientă este vitală în mediul dinamic actual, depășind avantajele istorice, așa cum se observă în fuziunile din industrie. Evoluția ciclică a sectorului auto, cu schimbări continue ale pieței, necesită o adaptare rapidă, o competitivitate strictă a costurilor și o reziliență operațională pentru toți furnizorii. Cerințele crescânde ale clienților, reglementările mai stricte, complexitatea vehiculelor și ciclurile de viață mai scurte ale produselor amplifică provocările operaționale și logistice, alimentând concurența intensă din industrie.

Managementul vizual este esențial într-un depozit care manipulează produse electronice pentru industria auto datorită cerințelor stricte ale sectorului privind precizia, trasabilitatea și calitatea. Indicii vizuale clare eficientizează procesele complexe, asigurând că componentele corecte ajung la liniile de asamblare potrivite la momentul exact. Etichetarea codificată prin culori, locațiile de depozitare desemnate și ajutoarele vizuale pentru identificarea pieselor minimizează erorile în manipularea componentelor electronice diverse și adesea delicate. Lean caută constant să găsească echilibrul optim între maximizarea cantității de producție și fluiditatea fluxului de lucru pe de o parte, și asigurarea riguroasă a calității produselor sau serviciilor, prevenind în mod proactiv defectele, pe de altă parte. Instrucțiunile de lucru vizuale și diagramele de flux ale proceselor afișate la stațiile de lucru ghidează angajații prin proceduri complexe de manipulare, asigurând respectarea standardelor de calitate și minimizând

deteriorarea componentelor electronice fragile. Prin identificarea sistematică a cauzelor fundamentale ale acestor deșeuri și implementarea strategiilor ținute de eliminare, Lean eficientizează procesele operaționale, reduce semnificativ costurile asociate și accelerează timpii de livrare. În plus, instrumentele de management vizual, cum ar fi tablele Kanban sau afișajele electronice, pot oferi informații în timp real despre stocuri, prevenind lipsurile care ar putea opri producția sau supraaglomerarea cu piese electronice în evoluție rapidă. Indicatorii de performanță afișați vizual, cum ar fi ratele de colectare și numărul de erori, promovează o cultură a îmbunătățirii continue și a responsabilității în rândul personalului depozitului. Acest accent intens pe reducerea deșeurilor se traduce direct în capacitatea de a produce cantități mai mari mai eficient și asigură un flux de lucru mai fluid și mai previzibil pe tot parcursul producției sau al furnizării serviciilor. În cele din urmă, în mediul cu miză ridicată al depozitării componentelor electronice auto, un management vizual eficient se traduce prin eficiență sporită, erori reduse, control îmbunătățit al calității și un lanț de aprovizionare mai eficient și mai receptiv. Acest lucru poate fi menținut doar de angajații care cunosc și au rutina corectă atât pentru Kaizen, cât și pentru managementul vizual, ca tehnici complementare.

Capitolul 5 prezintă analiza cuprinzătoare care a fost realizată pentru a implementa primul sistem de depozitare automată (AutoStore) în cadrul unei fabrici din afara țării de origine a companiei multinaționale. Acest al cincilea capitol este împărțit în 7 subcapitole (Un studiu de caz privind automatizarea depozitului, Analiza fluxului de materiale (cererea actuală), Planificarea cererii pentru fluxul de materiale (cererea viitoare), Implementarea aAGV în atelier (studiu de caz), Layout-ul depozitului și procesele de depozitare a materialelor, Optimizarea performanței depozitului cu AutoStore și Modernizarea operațiunilor de logistică a depozitului) și prezintă studiul de caz doar cu datele pe care autorul le-a putut prezenta într-un document extern livrat, fără a fi supus încălcărilor legale și contractuale NDA.

Analiza a luat în considerare mai întâi zona fabricii, atât în exterior, cât și în interior, pentru a vedea cât de flexibil ar fi proiectul și dacă depozitul automat ar putea fi extins (în cazul unui ROI pozitiv și al unei performanțe sporite a depozitării) la nivel exterior, precum și la interior (densitate mai mare). Această parte a inclus, de asemenea, unele proiecții de vânzări și prognoze ale cererii viitoare pentru a estima mai bine un nivel optim real de utilizare pentru momentul în care proiectul ar fi operațional și ar funcționa la capacitate maximă.

Următorul pas a fost legat de analiza fluxului de materiale al fabricii (cererea actuală), inclusiv zona de depozitare. Scopul a fost de a vedea cât de mult volum ar mai putea fi mutat în interiorul fabricii din depozit în producție (atelier) pentru a câștiga spațiu cu valoare adăugată, precum și pentru a lua în considerare cerințele minime pentru zona de depozitare automată. Acest lucru a fost realizat cu multe seturi de date, atât cantitative, cât și calitative, simulări de scenarii și contribuții de la mai multe niveluri de management pentru a ne asigura că au fost luate deciziile și alegerile corecte înainte de a începe faza de implementare.

Odată ce cadrul a fost stabilit, a fost realizată o nouă rundă de estimări, proiecții și calcule în ceea ce privește planificarea cererii pentru fluxul de materiale (de data aceasta pentru cererea viitoare). Acest lucru a însemnat, de asemenea, actualizarea layout-ului, recalcularea fluxurilor operaționale și calcularea tipurilor de roboți și utilaje care ar putea fi utilizate, atât în zona de producție, cât și în depozit. Aceste calcule au fost, de asemenea, foarte importante, deoarece ar trebui să corespundă realității noilor zone de producție și de depozitare odată ce AutoStore ar fi operațional.

Între timp, un proiect inovator anterior era în curs de evaluare: implementarea aAGV în atelier (studiu de caz), astfel încât să putem utiliza aceste rezultate și lecții învățate pentru a proiecta mai bine zona AutoStore. În ceea ce privește aAGV-urile din zona de producție, experiența a fost pozitivă, deoarece majoritatea rezultatelor așteptate au fost atinse sau chiar au oferit rezultate superioare, cu unele ajustări minore de făcut pentru implementarea viitoare a unor astfel de proiecte în producție (HMI și PSS) – hansei din JIT.

Deoarece aceasta a fost prima dată când am realizat proiectul de depozitare automată, a trebuit să documentăm totul în ceea ce privește progresul proiectului: layout-ul depozitului și procesele de depozitare a materialelor au fost marcate, actualizate, modificate, notate, apoi corectate, până când versiunea finală a corespuns nevoilor reale de layout și configurație așteptate. Acest proces a fost foarte intens și ne-a învățat valoarea înțelegerii complete a fluxurilor noastre și a locurilor unde să căutăm în cazul unor probleme tehnice, permițând tuturor membrilor echipei să contribuie și să genereze idei și propuneri de îmbunătățire, similar unei întâlniri obeya din JIT.

Optimizarea performanței depozitului cu AutoStore, sau implementarea propriu-zisă, a fost foarte ușoară, deoarece sistemul a funcționat impecabil de la început. Singura provocare a fost legată de modul în care trebuia să reambalăm cu atenție componentele care trebuiau să intre în AutoStore (paleți speciali ESD) înainte de a intra în zona de producție. Deoarece acestea erau și materiale de valoare foarte mare, acest lucru a necesitat o atenție suplimentară, dar odată intrate în sistemul de depozitare automată, nivelul de productivitate a fost foarte ridicat, cu foarte puține erori minore din partea noastră în timpul testării și al primelor 6 luni de lucru cu sistemul.

Modernizarea operațiunilor de logistică a depozitului a adus, de asemenea, o echipă operațională mai conectată din producție (depozitare megalift și comandă e-kanban) și depozit (reambalare, AutoStore și expediere), deoarece acum ambele echipe s-ar confrunta cu provocări similare, iar munca lor ar influența sau ar fi influențată de ceilalți. În plus, au fost implementate unele proiecte externe în curte pentru o mai bună programare a sosirilor camioanelor, precum și ferestre de livrare și sisteme de înregistrare pentru o urmărire mai bună a materialelor și camioanelor noastre primite.

Capitolul 6 prezintă contribuțiile autorului pe parcursul studiilor sale de doctorat (lucrări de cercetare prezentate la evenimente științifice sub coordonarea conducătorului său de doctorat și a Comisiei Sale Doctorale Consultative) și contribuțiile sale personale în domeniu după peste

20 de ani de experiență în logistică și managementul lanțului de aprovizionare. Acest al șaselea capitol este împărțit în 4 subcapitole (Provocările reproiectării depozitului – Adaptarea layout-ului și îmbunătățirea fluxului de procese, Inovația în logistica depozitului – Câștiguri operaționale și de productivitate ale Industriei 4.0, Blocaje în industria auto: Termen de livrare, Exces de stoc și Provocări în organizarea producției și Impulsionarea excelenței operaționale: Abordarea Agile Lean pentru optimizarea managementului performanței depozitului) și prezintă rezultate intermediare prezentate la evenimente și conferințe științifice la care am participat în acești ani.

Competitivitatea puternică a furnizorilor auto din vestul României a generat o creștere semnificativă a afacerilor, fabrica din Timișoara obținând constant noi proiecte care îi validează performanța ridicată. Această activitate sporită necesită însă o producție mai mare atât pentru proiectele existente, cât și pentru cele noi, în aceleași limitări spațiale, necesitând o echilibrare atentă a liniilor de producție pentru a menține o productivitate optimă. Cerințele crescânde ale clienților, specificațiile tehnice complexe, cerințele personalizate și ciclurile de viață mai scurte ale proiectelor pun o presiune suplimentară asupra fabricii pentru a-și menține calitatea și rentabilitatea. Valorificând concepte inovatoare de reorganizare și principiile Industriei 4.0, fabrica și-a reproiectat cu succes layout-ul pentru a acomoda volumele crescute și a optimiza fluxurile de procese și materiale. Rezultatele inițiale indică o dublare a ratelor de ocupare a locațiilor, atingând 95% (aproape 20% peste țintă), un flux de trafic eficient în ciuda activității crescute (producție, viteză și siguranță mai mari) și un flux de procese consistent în noul layout (cu o îmbunătățire generală inițială de 7%, iar unele zone înregistrând câștiguri de 15-20%). Aceste rezultate încurajatoare demonstrează capacitatea fabricii de a gestiona lansarea anticipată pe termen mediu a noilor proiecte cu volumele și complexitățile asociate. Perspectivile de dezvoltare a afacerii fabricii și poziția sa competitivă în cadrul grupului se preconizează a rămâne puternice, cu condiția să continue să își adapteze operațiunile la provocări prin inovație și o strategie cuprinzătoare de îmbunătățire continuă, aliniindu-și realizările cu obiectivele generale ale companiei.

O inițiativă pionieră a unui furnizor auto german din vestul României de a-și spori capacitatea de depozitare și eficiența logistică a generat progrese semnificative. Conduasă de dinamica forței de muncă regionale (competențe ridicate, șomaj scăzut, presiuni salariale și fluctuații), de amploarea substanțială a proiectelor cu o creștere proiectată pe cinci ani (creșteri ale logisticii de intrare de aproximativ 15% până în 2021, peste 30% până în 2022 și depășind 60% până în 2024) și de limitările spațiale (care împiedică extinderea în timp ce zona de producție creștea, reducând spațiul de depozitare), compania a adoptat o soluție inovatoare implementată anterior în unitățile sale din Germania: un sistem de depozitare automată (AutoStore) aliniat cu Industria 4.0, conceput pentru a atinge obiectivele operaționale și de productivitate. Implementat în aprilie 2019, sistemul AutoStore și-a demonstrat eficacitatea în șase luni. Procesele de reambalare au atins o stabilitate cu 30% mai mare prin celule de lucru optimizate, preferate de angajați. Depozitarea materialelor a trecut la niveluri de paleți ESD, reducând traficul de stivuitoare și accelerând mișcările interne. Capacitatea de depozitare a depășit estimările inițiale cu peste 20%, în ciuda unei îmbunătățiri de 50% a raportului spațiu

depozit-producție, depășind reperele companiei cu aproape 10%. Caracteristicile AutoStore (depozitare compactă în cutii ESD, automatizare completă și integrare cu Industria 4.0) au dublat mai mult decât dublat rata de ocupare a locațiilor, ajungând la aproximativ 95%, o îmbunătățire de 20% față de obiective. Performanța de colectare a crescut, de asemenea, semnificativ, problemele interoperaționale scăzând cu 70% sub rata țintă. În general, sistemul AutoStore a atins o productivitate de aproximativ patru ori mai mare pentru comenzile regulate (80% din total) și o capacitate de reacție de până la zece ori mai bună pentru comenzile urgente (20%). Acest lucru a redus nevoia proiectată de depozitare externă la un nivel gestionabil de 10-20% pentru perioada 2019-2021 în cadrul layout-ului existent, permițând optimizări suplimentare pentru a acomoda creșterea viitoare. Succesul rapid al proiectului AutoStore subliniază câștigurile operaționale și de productivitate substanțiale realizabile prin concepte inovatoare de depozitare ale Industriei 4.0 în logistica depozitelor. De asemenea, consolidează rolul crucial al tehnologiei în îmbunătățirea fluxului de procese, a eficacității logistice, a valorii adăugate și a competitivității costurilor. În timp ce Industria 4.0 îmbunătățește operațiunile și calitatea fabricii, necesită o forță de muncă calificată pentru a implementa eficient principiile sale și a spori valoarea pentru clienți. În sectorul auto dinamic, succesul pe termen lung depinde de adaptabilitatea producătorilor și a partenerilor lor din lanțul de aprovizionare la schimbările pieței și la progresele tehnologice.

Datele noastre nu au stabilit o corelație clară între distanța de deplasare și nivelurile de stocuri în rândul furnizorilor analizați din cauza numeroșilor factori specifici implicați. Deși distanțele mai lungi ar putea crește intuitiv probabilitatea apariției unor evenimente neașteptate și, prin urmare, ar necesita stocuri mai mari pentru a amortiza lipsurile (s-a observat o corelație parțială), constatările contradictorii în setul nostru de date au împiedicat o confirmare definitivă. Cu toate acestea, rezultatele noastre au arătat în mod constant o corelație pozitivă între stocurile excedentare și ratele de rebut atât pentru procesele furnizorilor germani, cât și pentru cele europeni. O reducere semnificativă a stocurilor excedentare (71,14% pentru furnizorii germani, 68,29% pentru cei europeni) a corespuns cu o scădere substanțială a ratelor de rebut (71,22%, respectiv 57,01%). Deși o corelație pozitivă directă între stocurile excedentare și rebuturi în ambele grupuri de furnizori a fost susținută doar parțial de constatările noastre, o concluzie intermediară sugerează că nivelurile mai ridicate de stocuri excedentare cresc probabilitatea apariției unor rate de rebut mai mari în procesele de producție asociate. Implementarea modelului EOQ a dus la o reducere substanțială a stocurilor excedentare (71,14% pentru furnizorii germani, 68,29% pentru cei europeni). Această scădere a nivelurilor de stocuri în semestrul al doilea a coincis cu o îmbunătățire a performanței producției. Furnizorii germani au înregistrat o reducere de 71,22% a ratei generale de rebut și o scădere de 1,55 puncte procentuale a intervalului ratei de rebut între procesele frontend și backend. Furnizorii europeni au înregistrat o îmbunătățire de 57,02% a ratei de rebut, deși intervalul ratei de rebut frontend-backend a crescut ușor. În general, performanța producției s-a îmbunătățit cu peste 50% în procesele frontend și cu puțin peste 70% în procesele backend în aproximativ 26 de săptămâni. Datele analizate subliniază valoarea inițiativelor de îmbunătățire continuă, demonstrând că eforturile constante și regulate pot spori semnificativ indicatorii de performanță și rezultatele generale ale companiei. În cazul nostru, aplicarea modelului EOQ a redus nivelurile de stocuri de 3,31 ori la 10,69%, cu o reducere

corespunzătoare de 65,25% a ratei generale de rebut la nivelul tuturor celor 14 furnizori după implementarea metodei Kanban. Aceste rezultate reprezintă culminarea unui proiect complex de îmbunătățire care a sporit semnificativ performanța operațională, condițiile de muncă și a promovat un mediu de lucru mai echilibrat. Menținerea acestor schimbări este crucială pentru menținerea unei dinamici pozitive pentru forța de muncă, încurajarea inovației și a rezolvării problemelor și asigurarea unor niveluri de performanță durabile în cadrul companiei.

Partea finală este dedicată modului de abordare a mai multor probleme întâmpinate în depozit sau în orice context logistic din industria auto, cum ar fi echilibrul corect între cantitate și calitate (Analiza performanței operaționale (flux lean echilibrat)) și prezentarea generală a operațiunilor ulterioare (Managementul echilibrat al locului de muncă (flux eficient)), precum și cele mai relevante metode de monitorizare a KPI-urilor (Proiectarea indicatorilor de performanță ai depozitului), înainte de a putea standardiza și documenta totul pentru proceduri tehnice noi sau îmbunătățite care ar putea fi replicate în alte locații (Abordare Agile Lean pentru rutina de management). Figura finală este mai mult o prezentare generală și este cel mai bine înțeleasă după ce au fost deja parcurși pașii anteriori, deoarece această parte este practic un rezumat al abordărilor anterioare și adaugă o perspectivă de ansamblu (Ciclul lean integrat pentru logistica depozitelor auto).

Bazându-se pe experiența extinsă a autorului în managementul producției, logisticii și al fabricilor, sunt propuse următoarele subiecte suplimentare de cercetare pentru a aprofunda înțelegerea factorilor de performanță din industria auto și pentru a valida relevanța constatărilor prezentate în această lucrare:

- 1) Impactul automatizării avansate (cum ar fi AutoStore și utilizarea sporită a aAGV-urilor) asupra transformării forței de muncă și dezvoltării competențelor în industria auto: acest studiu de cercetare ar putea investiga efectele pe termen lung ale implementării tehnologiilor de automatizare sofisticate asupra rolurilor și seturilor de competențe necesare personalului de depozit din industria auto. Acest lucru este deosebit de relevant, deoarece automatizarea devine tot mai răspândită, necesitând o înțelegere mai profundă a impactului său societal și organizațional;
- 2) Aplicarea tehnologiei gemene digitale pentru optimizarea proactivă a depozitelor și atenuarea riscurilor în industria auto: această cercetare ar putea explora dezvoltarea și implementarea modelelor gemene digitale pentru depozitele auto. Investigarea modului în care aceste reprezentări virtuale pot fi utilizate pentru monitorizarea în timp real, întreținerea predictivă a sistemelor automatizate, simularea modificărilor de layout și identificarea proactivă a potențialelor perturbări (blocaje, defecțiuni ale echipamentelor și/sau defecțiuni, vârfuri de cerere) ar fi valoroasă pentru optimizarea eficienței și atenuarea riscurilor;
- 3) Dezvoltarea unui cadru dinamic și adaptiv pentru echilibrarea cantității și calității în operațiuni de depozitare extrem de variabile: extinzându-se asupra metodei propuse de gestionare a compromisului (în cadrul acestei teze), cercetările viitoare s-ar putea

concentra pe crearea unui cadru mai dinamic și adaptiv care ajustează automat echilibrul dintre cantitate și calitate pe baza datelor operaționale în timp real și a cererii fluctuante din depozitele auto;

- 4) Studiarea rolului metodologiilor lean și agile integrate în îmbunătățirea rezilienței și adaptabilității lanțurilor de aprovizionare auto post-perturbări: această cercetare ar putea examina efectele sinergice ale combinării principiilor lean cu metodologiile agile în consolidarea rezilienței și adaptabilității lanțurilor de aprovizionare auto în urma perturbărilor globale recente (pandemia Covid-19, lipsa de cipuri, inflația ridicată, criza energetică, războiul din Ucraina etc.);
- 5) Optimizarea proiectării indicatorilor de performanță ai depozitului pentru vizibilitate operațională holistică și analiză predictivă: cercetările viitoare ar putea aprofunda proiectarea unor indicatori de performanță ai depozitului mai cuprinzători și predictivi, adaptați nevoilor specifice ale industriei auto (explorând integrarea analizei datelor și a învățării automate pentru a depăși KPI-urile tradiționale și a dezvolta indicatori care oferă o viziune holistică asupra eficienței operaționale, identifică proactiv potențialele blocaje și prognozează tendințele viitoare de performanță);
- 6) Evaluarea impactului tehnologiilor Industriei 4.0 asupra agilității și capacității de reacție a logisticii de intrare și ieșire în industria auto: această cercetare ar putea investiga în mod specific modul în care adoptarea diferitelor tehnologii ale Industriei 4.0 (de exemplu, senzori IoT, analize bazate pe inteligență artificială, vehicule autonome) afectează agilitatea și capacitatea de reacție a logisticii de intrare (de la furnizor la fabrică) și ieșire (de la fabrică la client) în industria auto (impactul asupra timpilor de livrare, eficienței transportului, gestionării stocurilor și capacității de adaptare la cerințele fluctuante ale pieței, optimizarea performanței lanțului de aprovizionare end-to-end);
- 7) Dezvoltarea unui model de maturitate pentru implementarea lean în operațiunile de depozitare specifice industriei auto: evaluarea adoptării, impactului și durabilității: cercetările viitoare s-ar putea concentra pe crearea unui model de maturitate pentru a evalua nivelul de implementare Lean în depozitele auto (instrument practic pentru benchmarking și ghidarea eforturilor de îmbunătățire continuă);
- 8) Analizarea rezultatelor și a rolului optimizării rețelelor bazată pe date în îmbunătățirea eficienței și durabilității rețelelor de distribuție a pieselor auto: această cercetare ar putea explora aplicarea algoritmilor avansați de optimizare a rețelelor și a analizei datelor pentru a îmbunătăți eficiența și durabilitatea rețelelor de distribuție a pieselor auto.

Atunci când discutăm despre limitările tezei actuale și se sugerează subiecte de cercetare viitoare, este important să se ia în considerare următoarele aspecte: Cercetarea actuală s-a concentrat pe un anumit tip de depozit, un segment particular al lanțului de aprovizionare auto, care poate fi tipic pentru o regiune geografică limitată, cum ar fi România sau Europa de Est (sau nu). Cercetările viitoare ar putea extinde acest domeniu pentru a oferi constatări mai generalizabile. De exemplu, studiul s-ar fi putut concentra pe un furnizor de nivel unu; cercetările viitoare ar putea explora logistica de nivel doi sau de pe piața secundară (domeniul

studiului). Constatările ar putea fi specifice contextului culturii organizaționale specifice din compania în care am lucrat sau modului în care această cultură organizațională este aplicată în industria auto românească. Cercetările viitoare ar putea investiga transferabilitatea acestor constatări și a cadrelor propuse către alte regiuni geografice sau sectoare diferite din industria auto (generalizarea constatărilor). Analiza a fost limitată de disponibilitatea sau granularitatea datelor specifice (acest lucru nu este neapărat 100% adevărat, dar măsura în care am putut utiliza toate datele colectate a fost într-adevăr considerabil limitată). Cercetările viitoare ar putea viza colectarea de date mai detaliate sau longitudinale pentru a permite o analiză mai robustă și aplicarea unor tehnici statistice mai sofisticate. Accesul la datele proprietare ale mai multor companii ar putea fi, de asemenea, o limitare, deoarece majoritatea companiilor nu permit divulgarea datelor lor, sau dacă o fac, este de obicei pentru seturi de date generice care sunt rareori relevante în scopuri semnificative de cercetare (disponibilitatea și specificitatea datelor). Constatările cercetării reflectă o anumită perioadă (studiile mele de doctorat cu perioade intermitente de lucru intens). Cercetările viitoare ar putea examina impactul pe termen lung al schimbărilor implementate și evoluția tendințelor identificate pe o perioadă mai lungă de timp sau nu, deoarece ar putea lua în considerare o perioadă mai scurtă de analiză, cum ar fi 6-12 luni, pentru o întrebare de cercetare mai țintită (constrângeri de timp). Teza ar fi putut utiliza metodologii specifice (studii de caz, utilizare parțială și limitată a unor modele matematice specifice). Cercetările viitoare ar putea explora aplicarea unor metodologii alternative sau mixte pentru a oferi perspective diferite sau pentru a valida constatările. De exemplu, modelarea prin simulare ar putea fi utilizată pentru a testa robustețea soluțiilor propuse în diverse scenarii și pentru a încerca utilizarea modelelor sau software-ului de optimizare (alegeri metodologice). Cercetarea s-ar fi putut concentra în principal pe analiza cantitativă. Cercetările viitoare ar putea include colectarea de date calitative mai aprofundate (realizarea de interviuri și/sau focus grupuri) pentru a obține o înțelegere mai bogată a factorilor umani și organizaționali care influențează operațiunile de depozitare (aspecte calitative).

Până în luna aprilie 2025, autorul a scris, prezentat și publicat un număr de 4 lucrări de cercetare (dintre care 2 sunt indexate WoS, 1 este indexată Scopus și 1 este în curs de indexare – vezi documentul separat pentru detalii). Versiunea finală a tezei de doctorat conține 304 pagini, incluzând 42 de tabele și 172 de figuri, cu un număr total de 193 de referințe.

drd.ing. Michael PETRI