MINISTERUL EDUCAŢIEI
Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA Bucureşti

Școala Doctorală de
Inginerie Industrială și Robotică

Andrei Ștefan L. IACOB

TEZĂ DE DOCTORAT

DEZVOLTAREA UNUI SISTEM INTEGRAT DE OPTIMIZARE A PROCESELOR OPERAȚIONALE ŞI MONITORIZARE A COMPONENTELOR SISTEMULUI DE MUNCĂ

Conducător științific,
Prof.univ.dr.ing. Oana-Roxana CHIVU
(POLITEHNICA București)

- 2026 -

Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA Bucureşti

Decizie CSUD POLITEHNICA București nr. ..... din .....

Andrei Ștefan L. IACOB

TEZĂ DE DOCTORAT

DEZVOLTAREA UNUI SISTEM INTEGRAT DE OPTIMIZARE A PROCESELOR OPERAȚIONALE ŞI MONITORIZARE A COMPONENTELOR SISTEMULUI DE MUNCĂ

DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED SYSTEM FOR OPTIMIZING OPERATIONAL PROCESSES AND MONITORING OF WORK SYSTEM COMPONENTS

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof.univ.dr.ing. Catalin Gheorghe AMZA	Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA BUCUREȘTI
Conducător științific	Prof.univ.dr.ing. Oana-Roxana CHIVU	
Referent	Prof.univ.dr.ing. Dan Florin NIȚOI	
Referent	Prof.univ.dr.ing. Roland Iosif Moraru	Universitatea din Petroșani
Referent	CSP 1 dr.ing. Doru Costin DARABONT	INCDPM „Alexandru Darabont” - București

- 2026 -

Cuprins

	Teza	Rezumat
Cuvânt înainte	3	/3
Introducere	4	/4
Legendă	7	/6
Partea I. Stadiul actual al cercetărilor privind integrarea principiilor fundamentale şi proceselor de transformare digitală în domeniul securității și sănătății în muncă		
Capitolul 1. Integrarea digitalizării în sănătatea și securitatea în muncă	9	/8
1.1. Introducere	9	/8
1.2. Integrarea digitalizării în securitate şi sănătate în muncă	10	/8
1.3. Impactul digitalizării asupra securității și sănătății în muncă	14	/8
1.4 Sisteme digitale inteligente	23	/9
1.5. Concluzii	26	/9
Capitolul 2. Stadiul actual al dezvoltării sistemelor de monitorizare a SSM în domeniul transportului	27	/9
2.1. Importanţa transportului	27	/9
2.2. Transportul rutier în Uniunea Europeană şi România	27	/10
2.3. Sisteme inteligente de transport	29	/10
2.4. Principalele provocări în domeniul SSM pentru conducătorii auto	30	/10
2.4.1. Utilizarea insuficientă a tehnologiilor de monitorizare	31	/10
2.4.2. Gestionarea deficitară a vehiculelor și echipamentelor	31	/10
2.5. Neglijarea instruirii periodice	32	/10
2.5.1. Evaluări medicale incomplete	32	/10
2.5.2. Comunicarea deficitară	33	/10
2.6. Sisteme de monitorizare a SSM	34	/10
2.6.1. Elemente definitorii în evoluţia sistemelor de monitorizare a SSM	34	/10
2.6.2. Implementarea sistemelor de monitorizare a SSM	36	/10
2.6.3. Studiul sistemelor de monitorizare a SSM	37	/10
2.6.4. Clasificarea sistemelor de monitorizare a SSM	39	/10
2.7. Utilizarea principalelor sisteme de monitorizare a SSM	41	/11
2.7.1. Monitorizarea proactivă a SSM	41	/11
2.7.2. Monitorizarea reactivă a SSM	46	/11
2.8. Monitorizarea SSM şi nevoile specifice	48	/11
2.9. Riscurile și provocările sistemelor de monitorizare a SSM	49	/11
2.10. Concluzii	51	/11
Capitolul 3. Concluzii privind stadiul actual cercetărilor privind integrarea principiilor fundamentale şi proceselor de transformare digitală în domeniul securității și sănătății în muncă	54	/11
Partea a II - a. Contribuţii la dezvoltarea unui sistem integrat de optimizare a proceselor operaționale şi monitorizare a componentelor sistemului de muncă		
Capitolul 4. Direcţiile, obiectivul principal şi metodologia de cercetare-dezvoltare	57	/12
4.1. Direcţii de cercetare-dezvoltare	57	/12
4.2. Obiectivul principal al activităţii de cercetare-dezvoltare	58	/12
4.3. Metodologia de cercetare-dezvoltare	59	/13
Capitolul 5. Contribuţii privind dezvoltarea unui sistem integrat de planificare și optimizare a proceselor operaţionale și monitorizare a componentelor sistemului de muncă - SSM Online	62	/13
5.1. Descrierea platformei	62	/13
5.1.1. Descriere generală	62	/13
5.1.2. Arhitectura generală și stratificare	62	/13
5.1.3. Componente și tehnologii	63	/13
5.1.4. Fluxuri de comunicație și protocoale	66	/13
5.1.5. Scalare, performanță și distribuție	68	/13
5.1.6. Diagrama arhitecturii	69	/13

5.2. Inovație funcțională și contribuție la stadiul actual al domeniului..... 69 /14
5.3. Funcționalități de bază ale platformei..... 70 /15
5.4. Administrare angajați în platforma dedicată SSM/SU Online..... 72 /15
5.4.1. Accesul în platforma SSM-SU Online ..... 72 /15
5.4.2. Modalități de introducere si editare a angajaților..... 74 /15
5.4.3. Vizualizarea și semnarea fișelor SSM/SU Online..... 78 /15
5.5. Administrare angajați în platforma dedicată SSM-SU OnlinePortal..... 79 /16
5.6. Concluzii..... 86 16
Capitolul 6. Contribuții privind analiza și optimizarea proceselor de SSM prin Metoda Analizei Rezonanței Funcționale. Sinteză comparativă: proces tradițional vs. proces digital integrat ..... 89 /17
6.1. Analiza procesului tradițional de instruire SSM prin Metoda Analizei Rezonanței Funcționale 89 /17
6.1.1. Descrierea metodei FRAM și a procesului tradițional de instruire..... 89 /17
6.1.2. Etapa I. Identificarea și descrierea funcțiilor esențiale ale sistemului..... 90 /17
6.1.3. Etapa II – Caracterizarea variabilității funcțiilor..... 95 /17
6.1.4. Etapa III. Determinarea rezonanțelor funcționale..... 97 /17
6.1.5. Etapa IV. Recomandări privind monitorizarea și gestionarea variabilității..... 100 /17
6.2. Analiza procesului digital integrat potențial de instruire SSM ..... 103 /18
6.3. Sinteză comparativă FRAM: proces tradițional vs. proces digital integrat ..... 106 /18
6.4. Concluzii ..... 108 /19
Capitolul 7. Contribuţii privind evaluarea eficienței instruirii SSM în trei companii de transport rutier în care s-a implementat platforma digitală integrată ..... 110 /19
7.1. Fundamentarea aplicării Modelului Kirkpatrick pentru evaluarea eficienței platformei digitale de instruire SSM în transportul rutier..... 110 /19
7.2. Metodologia aplicată în evaluare ..... 114 /19
7.3. Nivel 1 – Satisfacția cursanților..... 117 /20
7.4. Nivel 2 – Cunoștințele dobândite..... 120 /20
7.5. Nivel 3 – Schimbarea comportamentului..... 123 /20
7.6. Nivel 4 – Rezultatele organizaționale..... 126 /21
7.7. Concluzii..... 128 /21
Capitolul 8. Contribuţii privind elaborarea și validarea unui cadru hibrid FRAM-Kirkpatrick pentru evaluarea eficacității instruirii digitale în domeniul SSM în sisteme socio-tehnice complexe ..... 131 /22
8.1. Introducere ..... 131 /22
8.2. Instruirea digitală în sisteme socio-tehnice complexe ..... 131 /22
8.3. Elaborarea cadrului hibrid FRAM-Kirkpatrick ..... 133 /22
8.4. Studiu de caz - aplicarea cadrului hibrid FRAM–Kirkpatrick în transportul rutier ..... 137 /23
8.4.1. Proiectarea analizei cantitative și ipotezele de lucru..... 137 /23
8.4.2. Descrierea sistemului socio-tehnic analizat..... 138 /23
8.4.3. Descrierea intervenției: instruire digitală în domeniul SSM..... 138 /23
8.4.4. Evaluarea instruirii – Date Kirkpatrick L2 și L3..... 139 /23
8.4.5. Calcularea eficienței instruirii..... 140 /23
8.4.6. Variabilitatea funcțională FRAM..... 142 /24
8.4.7. Corelarea eficienței instruirii cu performanța sistemului..... 142 /24
8.4.8. Corelarea variabilității funcționale cu rezultatele organizaționale..... 143 /24
8.5. Rezultate și discuții ..... 143 /25
8.6. Concluzii ..... 147 /25
Capitolul 9. Concluzii finale şi contribuţii principale ..... 149 /26
Bibliografie ..... 156 /28

Cuvânt înainte

Prezenta teză de doctorat, intitulată *„Dezvoltarea unui sistem integrat de optimizare a proceselor operaţionale şi monitorizare a componentelor sistemului de muncă”*, abordează problematica securității și sănătății în muncă dintr-o perspectivă sistemică și digitalizată, prin proiectarea și fundamentarea unui sistem integrat SSM online, adaptat cerințelor organizațiilor contemporane.

În contextul intensificării proceselor de digitalizare și al creșterii exigențelor legislative și organizaționale privind protecția lucrătorilor, activitatea de SSM nu mai poate fi tratată exclusiv ca o obligație formală sau administrativă, ci trebuie integrată organic în procesele operaționale ale organizației. Pornind de la această premisă, cercetarea de față își propune să ofere un cadru conceptual și aplicativ prin care managementul riscurilor profesionale, monitorizarea factorilor de muncă și optimizarea proceselor operaționale să fie corelate într-un sistem informatic unitar, accesibil și funcțional în mediul online.

Motivația elaborării acestei teze derivă din experiența practică acumulată în domeniul SSM și din constatarea existenței unor disfuncționalități frecvente în gestionarea documentației, evaluării riscurilor, instruirii lucrătorilor și monitorizării indicatorilor de performanță în domeniul securității și sănătății în muncă. Necesitatea unui instrument integrat, capabil să centralizeze, să analizeze și să optimizeze aceste activități în timp real, a constituit punctul de plecare al demersului științific.

Programul de doctorat a constat din pregătirea, prezentarea și susținerea examenelor și a rapoartelor științifice, aprofundarea studiului, propunerea și dezvoltarea unui cadru conceptual propriu care integrează performanța operațională, ergonomia și prevenirea riscurilor profesionale într-un sistem unitar de optimizare, realizarea și publicarea de lucrări științifice, precum și elaborarea prezentei teze de doctorat.

Realizarea acestei lucrări a fost posibilă datorită sprijinului şi îndrumării atente a coordonatorului științific, ***doamna prof.univ.dr.ing. Oana- Roxana CHIVU***, care m-a determinat în mod constant să caut noi abordări privind conceperea, dezvoltarea și validarea unei platforme web integrată destinată gestionării activităților de Securitate și Sănătate în Muncă, acceptând să îmi fie mentor și să mă ghideze pe tot parcursul pregătirii tezei de doctorat. Doresc să-i mulțumesc în mod special pentru sfaturile valoroase și pentru împărtășirea cunoștințelor în domeniul SSM, pentru ca m-a sustinut ori de câte ori am avut nevoie sau când m-am confruntat cu diverse probleme pe durata cercetărilor mele.

Mulțumesc de asemenea membrilor comisiei de îndrumare, *Conf. Dr. Ing. Claudia Borda* și *Șl. Dr. Ing. Marilena Gheorghe,* pentru ideile furnizate de-a lungul perioadei de pregătire a doctoratului și de elaborare a tezei.

În egală măsură, îi adresez mulțumiri doamnei cercetător ştiinţific *Alina Trifu* pentru sprijinul și îndrumarea oferite în procesul de publicare a articolelor științifice.

Nu în ultimul rând, le mulțumesc *părinților mei* pentru că au crezut întotdeauna în mine și mi-au oferit susținere și suport moral pe tot parcursul elaborării tezei de doctorat. Sprijinul și încurajările familiei au însemnat enorm pentru mine și sunt recunoscător că v-am avut alături de mine în acest demers provocator și plin de satisfacții.

Andrei Ştefan IACOB

Introducere

Integrarea principiilor managementului modern al riscului cu instrumente digitale avansate oferă oportunitatea dezvoltării unor sisteme inteligente capabile să monitorizeze în timp real componentele sistemului de muncă: lucrătorul, echipamentele, mediul de lucru, sarcina de muncă și fluxurile informaționale. În acest cadru, prezenta teză propune dezvoltarea unui sistem integrat SSM online, orientat către optimizarea proceselor operaționale prin corelarea permanentă a activităților de prevenire și protecție cu indicatorii de performanță organizațională.

Problema de cercetare este fundamentată pe existența unei discontinuități între activitatea operațională și managementul securității și sănătății în muncă. Deși legislația impune obligații clare privind evaluarea riscurilor, instruirea lucrătorilor, monitorizarea incidentelor și raportarea conformității, în practică aceste activități sunt adesea gestionate separat, fără integrare digitală și fără mecanisme eficiente de analiză predictivă.

Transformările rapide generate de digitalizare, automatizare și Industria 4.0 impun abordări integrate ale managementului proceselor operaționale. În practică, planificarea, optimizarea și monitorizarea componentelor sistemului de muncă sunt adesea tratate separat, ceea ce conduce la pierderi de eficiență, decizii suboptime și dificultăți în adaptarea la schimbări. Elaborarea unui sistem integrat răspunde acestei lacune, oferind un cadru unitar pentru coordonarea resurselor umane, tehnice și informaționale, cu impact direct asupra performanței organizaționale.

Dezvoltarea unui sistem integrat de planificare și optimizare, corelat cu monitorizarea continuă a componentelor sistemului de muncă, are potențialul de a genera contribuții originale atât la nivel teoretic, prin extinderea modelelor existente, cât și la nivel practic, prin aplicabilitatea directă în organizații industriale sau de servicii. O astfel de abordare susține obiectivele actuale privind eficiența operațională, reducerea consumului de resurse, îmbunătățirea condițiilor de muncă și creșterea sustenabilității proceselor.

* * *

Teza de doctorat este organizată în două părți principale: stadiul actual al cercetărilor și contribuții privind *Dezvoltarea unui sistem integrat de planificare, optimizare a proceselor operationale si monitorizare a componentelor sistemului de munca***,** și este structurată în nouă capitole, cuprinzând 169 pagini, 48 de figuri, 28 de tabele, 18 relații de calcul, 246 surse bibliografice, după cum urmează:

Capitolul 1 – "Integrarea digitalizării în sănătatea și securitatea în muncă", abordează orientările actuale în definirea conceptului SSM 4.0, evoluția procesului de digitalizare şi principalele componente ale tehnologiilor digitale utilizate în cadrul SSM 4.0. Rezultatele acestui capitol fundamentează necesitatea explorării unor metode avansate de evaluare a riscurilor, capabile să proceseze fluxurile de date generate de aceste noi sisteme inteligente.

Capitolul 2 – „**Stadiul actual al dezvoltării sistemelor de monitorizare a SSM în domeniul transportului"**, redă unele aspecte referitoare la gestionarea riscurilor în domeniul transportului rutier, considerații privind implementarea noilor sisteme de monitorizare a SSM , precum și aspecte privind legislația complexă și neactualizată, lipsa unor standarde adecvate, implicațiile în materie de costuri legate de dezvoltarea de noi tehnologii.

Capitolul 3 - "**Concluzii referitoare la stadiul actual al cercetărilor privind integrarea principiilor fundamentale si proceselor de transformare digitală în domeniul securității și sănătății în muncă**" , include o serie de concluzii importante desprinse din analiza stadiului actual al cercetării-dezvoltării în domeniu, inclusiv o analiză a tendințelor actuale privind dezvoltarea unor instrumente decizionale care să sprijine managementul operațional în condiții de incertitudine și dinamism crescut.

Partea a doua a tezei de doctorat este dedicată prezentării contribuțiilor privind dezvoltarea si implementarea unui sistem integrat de optimizare a proceselor operaţionale şi monitorizare a componentelor sistemului de muncă.

Capitolul 4 cuprinde **"Direcțiile, obiectivul principal și metodologia de cercetare - dezvoltare"** utilizate în cadrul prezentei teze de doctorat.

Capitolul 5 – "**Contribuţii privind dezvoltarea unui sistem integrat de planificare și optimizare a proceselor operaţionale și monitorizare a componentelor sistemului de muncă - SSM Online**" începe cu descrierea generală a platformei inteligentă, cloud-nativă și complet integrată, concepută pentru a automatiza procesele de lucru, a sprijini monitorizarea conformității în timp real și a oferi trasabilitate completă a acțiunilor și responsabilităților. Originalitatea sistemului propus constă în integrarea tehnologiilor emergente, Inteligenta

Artificială, telematică, VR, într-o singură platformă unificată. SSM Online introduce un cadru strâns conectat care îmbină datele operaționale reale cu intervenții de siguranță personalizate și o acoperire cuprinzătoare a cerințelor SSM. Ultimele subcapitole includ contribuții din perspectiva administrării resurselor umane, platforma oferind un cadru coerent pentru gestionarea angajaților, importul și validarea datelor, semnarea electronică a fișelor SSM/SU și arhivarea digitală a documentelor cu valoare legală.
Funcționalitățile de autentificare securizată (email/parolă, OTP, 2FA), jurnalizare a acțiunilor și control granular al accesului asigură conformitatea cu cerințele privind protecția datelor și securitatea informațiilor.

Capitolul 6 – "**Contribuții privind analiza și optimizarea proceselor de SSM prin Metoda Analizei Rezonanței Funcționale. Sinteză comparativă: proces tradițional vs. proces digital integrat***",* include analiza aprofundată a procesului de instruire în domeniul securității și sănătății în muncă din industria transportului rutier, prin aplicarea **FRAM.** Un rezultat esențial al cercetării constă în demonstrarea faptului că sistemul tradițional de instruire SSM este fragil din punct de vedere structural. Transformarea digitală, fundamentată pe modelarea FRAM, reprezintă nu doar o opțiune tehnologică, ci o necesitate strategică pentru creșterea rezilienței, eficienței și conformității organizaționale în industria transportului rutier. Astfel, teza validează ipoteza conform căreia integrarea digitală a proceselor de instruire SSM reduce variabilitatea negativă, consolidează trasabilitatea și transformă sistemul într-unul adaptiv, robust și orientat spre performanță sustenabilă.

Capitolul 7 **– "Contribuții privind evaluarea eficienței instruirii SSM în trei companii de transport rutier în care s-a implementat platforma digitală integrată"** prezintă modelul Kirkpatrick, recunoscut pe plan internațional drept unul dintre cele mai utilizate cadre conceptuale pentru analiza eficienței programelor de instruire, aplicat comparativ în trei companii de transport rutier cu profiluri organizaționale diferite, in care s-a implementat platforma SSM-Online. Modelul Kirkpatrick aplicat în context digital oferă un cadru valid și replicabil pentru evaluarea instruirii în domeniul transportului rutier, confirmând că platforma dezvoltată în cadrul tezei îndeplinește criteriile de noutate, aplicabilitate practică și valoare științifică, contribuind la dezvoltarea conceptului de Safety 4.0 – o abordare inteligentă, integrată și sustenabilă a securității și sănătății în muncă.

Capitolul 8 –*"***Contribuţii privind elaborarea şi validarea unui cadru hibrid FRAM-Kirkpatrick pentru evaluarea eficacității instruirii digitale în domeniul SSM în sisteme socio-tehnice complexe**", cuprinde activitatea doctorandului de a demonstra că eficacitatea instruirii în sisteme socio-tehnice complexe nu poate fi evaluată în mod semnificativ fără o perspectivă sistemică, motiv pentru care propune elaborarea unui cadru FRAM-Kirkpatrick, ce integrează Metoda de Analiză a Rezonanței Funcționale (FRAM) cu modelul de evaluare a instruirii Kirkpatrick. Cadrul FRAM-Kirkpatrick elaborat este aplicat printr-un studiu de caz multiplu în sectorul transportului rutier care implică trei companii și 47 de șoferi profesioniști. Rezultatele arată îmbunătățiri semnificative în învățare și comportament sigur, însoțite de o reducere substanțială a variabilității funcționale în cadrul funcțiilor critice ale sistemului.

Capitolul 9 – "**Concluzii finale și contribuții principale la dezvoltarea unui sistem integrat de planificare si optimizare a proceselor operationale si monitorizare a componentelor sistemului de munca**" sunt prezentate concluziile finale ale rezultatelor cercetării, contribuțiile personale aduse în domeniul studiat și direcțiile de dezvoltare pentru cercetările viitoare. Rezultatele obținute au potențial de diseminare prin publicații științifice și pot constitui baza pentru dezvoltarea unor ghiduri de bune practici în domeniul optimizării proceselor industriale cu integrarea sănătății și securității în muncă.

Importanţa ştiinţifică a prezentei teze de doctorat este susţinută de contribuţiile aduse la eficientizarea si automatizarea proceselor de SSM, SU, RSVTI si HR, reducerea riscului de accidentare la locul de munca prin planificare riguroasa, verificari periodice si monitorizare proactive, cresterea trasabilitatii, responsabilitatii si transparentei printr-o platforma digitala completa si adaptabila.

Importanţa practică a prezentei teze de doctorat rezidă în aceea că platforma digitală propusă, SSM Online, poate fi adaptată și implementată în diverse domenii de activitate, precum industrie, servicii sau administrație publică. Impactul său constă în creșterea competitivității organizațiilor și în îmbunătățirea condițiilor de muncă.

Legendă

Nr. crt.	Abrev.	Semnificație/ Significance
1.	AMS	Atrofia Musculară Spinală
2.	API	Interfață de programare a aplicațiilor / Application Programming Interface
3.	AR	Realitatea augmentată / Augmented Reality
4.	CCTV	Televiziune cu Circuit Închis / Closed-Circuit Television
5.	CI	Carte de identitate
6.	CMS	Sistem de Management al Conținutului
7.	COR	Clasificarea Ocupațiilor din România
8.	CNP	Cod numeric personal
9.	DMS	Sistem de Management al Documentelor / Document Management System
10.	ECM	Modul de Control Electronic / Electronic Control Module
11.	EIP	Echipamente individuale de protecție
12.	ERP	Planificarea resurselor întreprinderii /Enterprise Resource Planning
13.	ESENER	Sondajul european în rândul întreprinderilor privind riscurile noi și emergente/ European Survey of Enterprises on New and Emerging Risks
14.	EU-OSHA	Agenția Europeană pentru Securitate și Sănătate în Muncă
15.	FRAM	Metoda de analiză prin rezonanță funcțională / Functional Resonance Analysis Method
16.	GDPR	Regulamentul General privind Protecția Datelor /General Data Protection Regulation
17.	GPS	Sistem de Poziționare Globală / Global Positioning System
18.	HR	Resurse Umane / Human Resources
19.	HRM	Managementul Resurselor Umane / Human Resource Management
20.	IA	Inteligența artificială
21.	ID	Cod de identificarea personală
22.	IoT	Internetul dispozitivelor fizice/ Internet of Things
23.	IT	Tehnologia informației
24.	ITS	Sistemele inteligente de transport/ Intelligent Transport Systems
25.	LMS	Sistem de Management al Învățării / Learning Management System
26.	ML	Învățare automată /Machine learning
27.	ORM	Cartografiere obiect-relațională / Object Relational Mapping
28.	OTP	Parolă unică / One Time Password
29.	PDI	Platformă digitală integrată
30.	PM	Protecția Mediului
31.	PT	Proces tradițional
32.	REST	Transfer de stare reprezentativă /Representational State Transfer
33.	RFID	Tehnologii de identificare prin radiofrecvență
34.	RPA	Automatizarea Proceselor Robotizate /Robotic Process Automation
35.	RPC	Apel de procedură de la distanță / Remote Procedure Call
36.	RTLS	Sisteme de localizare în timp real/ Real-Time Location Systems
37.	RSVTI	Responsabil cu Supravegherea și Verificarea Tehnică a Instalațiilor.
38.	SLA	Acord privind Nivelul Serviciilor / Service Level Agreements

39.	Smart PPE	Echipament Individual de Protecție Inteligent/ Smart Personal Protective Equipment
40.	SSL	Protocol de securizare a comunicației prin Internet /Secure Sockets LayeR
41.	SSM	Securitate și sănătate în muncă
42.	STI	Sisteme Inteligente de Transport
43.	SU	Situații de urgență
44.	TIC	Tehnologia informației și comunicațiilor
45.	TLS	Securitatea stratului de transport /Transport Layer Security
46.	TMS	Sistemele de management al transporturilor
47.	UAS	Sistem de aeronave fără pilot / Unmanned Aircraft System
48.	UAV	Aeronavă fără pilot la bord / Unmanned Aerial Vehicle
49.	VR	Realitate virtuală
50.	WRMSD	Afecțiuni Musculo-scheletice Legate de Muncă/ Work-Related Musculoskeletal Disorders
51.	WSGI	Interfață Gateway Server Web și aplicație/ Web Server Gateway Interface
52.	WSN	Rețea fără fir de senzori / Wireless Sensor Network

Capitolul 1. Integrarea digitalizării în sănătatea și securitatea în muncă

1.1.Introducere

În industrii caracterizate prin dinamism ridicat, precum transporturile cargo, digitalizarea devine o prioritate strategică datorită cerințelor crescute de transparență, acuratețe și disponibilitate a informațiilor. Integrarea aplicațiilor organizaționale și interconectarea sistemelor clienților și furnizorilor permit centralizarea datelor într-o platformă unitară, facilitând trasabilitatea operațiunilor și sprijinind deciziile rapide.

Transformarea digitală este descrisă ca un proces care depășește adoptarea unor instrumente software, influențând fundamental interacțiunea dintre angajat și mediul de lucru. În SSM, această evoluție susține tranziția de la un management reactiv (axat pe analiza incidentelor produse) la un model proactiv și predictiv, în care pericolele pot fi identificate înainte de materializarea accidentelor.

1.2. Integrarea digitalizării în securitate şi sănătate în muncă

SSM este definită ca domeniu proactiv și multidisciplinar, orientat spre identificarea pericolelor și controlul riscurilor, având drept obiectiv protecția angajaților și asigurarea continuității organizației [H09]. Totuși, digitalizarea proceselor SSM nu produce efecte imediate asupra performanței globale, tehnologiile reunite sub conceptul de SSM 4.0 funcționând ca instrumente de suport pentru optimizarea activităților existente și reducerea riscurilor.[S10]

Deși digitalizarea creează numeroase oportunități, aceasta generează și o serie de provocări noi [T04]. În cursul acestui proces au început să apară lacune juridice în domeniul SSM, în special în raport cu noile forme de organizare a muncii și cu utilizarea tehnologiilor avansate [E14]. Prezentul studiu își propune să analizeze integrarea digitalizării în domeniul SSM, precum și efectele favorabile și nefavorabile asupra vieții profesionale și asupra angajaților.

Dispozitivele de monitorizare integrate în cadrul echipamentelor individuale de protecție inteligente permit supravegherea în timp real a pericolelor din mediul de lucru, generând avertizări timpurii privind expunerile nocive. Totodată, acestea pot furniza recomandări personalizate în timp real, cu scopul de a influența comportamentul angajaților și de a îmbunătăți nivelul de sănătate și securitate ocupațională [T04, C19].

Prin urmare, integrarea digitalizării în SSM este tratată ca necesitate critică pentru protecția vieții, continuitatea afacerilor și adaptarea la riscuri profesionale dinamice, care evoluează odată cu tehnologia.

1.3. Impactul digitalizării asupra securității și sănătății în muncă

Pe baza literaturii analizate, sunt sintetizate principalele provocări ale digitalizării pentru SSM: reglementări insuficiente pentru integrarea sigură a tehnologiilor complexe; eliminarea constrângerilor de timp și spațiu ale muncii și presiunea disponibilității permanente, care complică inspecția și controlul SSM; nivel scăzut de conștientizare managerială și evaluări inadecvate ale riscurilor în procese digitalizate; suprasolicitare și creșterea efortului cognitiv, cu efecte asupra implicării și stării de bine; dificultăți de colaborare internă și ambiguități privind responsabilitățile în noile procese digitale; deficiențe de transparență și vulnerabilități în protecția datelor și securitatea informației.

În vederea diminuării acestor provocări, se pot propune următoarele direcții de acțiune: stabilirea unui cadru etic și a unor norme comportamentale pentru digitalizare; dezvoltarea și actualizarea cadrului de reglementare privind obligațiile și responsabilitățile SSM; formarea continuă și schimbul bidirecțional de cunoștințe; reorganizarea serviciilor SSM pentru a acoperi noile forme de muncă; implicarea activă a angajaților în strategiile de digitalizare; adoptarea unei abordări „design for prevention” centrate pe utilizator; realizarea unor evaluări cuprinzătoare ale riscurilor; consolidarea culturii securității. Integrarea eficientă a tehnologiilor contemporane în SSM este condiționată de o abordare multidisciplinară și de cooperarea dintre mediul academic, industrie, parteneri sociali și autorități, fiind menționată și implicarea EU-OSHA în cercetări privind relația dintre digitalizare și SSM. [C19, A18]

1.4. Sisteme digitale inteligente

Sistemele digitale inteligente s-au dezvoltat foarte mult odată cu cea de-a patra revoluție industrială. Dezvoltarea și îmbunătățirea rapidă a sistemelor și tehnologiilor digitale a stimulat dezvoltarea de noi sisteme de monitorizare a sănătății și securității ocupaționale, ajutând astfel organizațiile să asigure un nivel eficient de siguranță pentru lucrători. S-a efectuat un studiu informativ în scopul de a identifica gradul de integrare a sistemelor digitale în cadrul organizațiilor din România, ponderea integrării sistemelor digitale în companiile analizate este prezentată în Fig.1.3.-Fig.1.6.

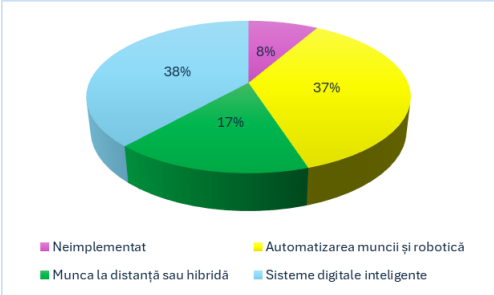


Fig. 1.3. Ponderea integrării sistemelor digitale în companiile mari.

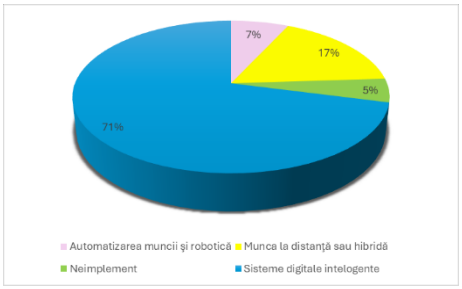


Fig. 1.4. Ponderea integrării sistemelor digitale în companiile medii.

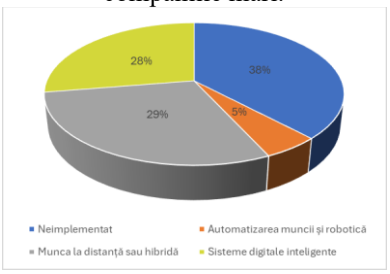


Fig. 1.5. Ponderea integrării sistemelor digitale în întreprinderile mici.

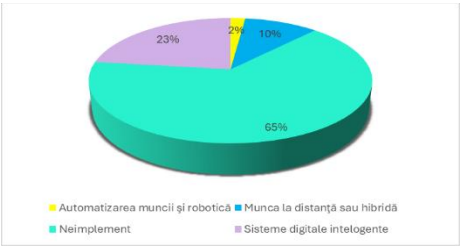


Fig. 1.6. Ponderea integrării sistemelor digitale în microîntreprinderi.

Succesul integrării digitalizării în sănătatea și securitatea în muncă depinde de un echilibru fragil între avansul tehnologic și factorul uman. Rezultatele acestui capitol fundamentează necesitatea explorării unor metode avansate de evaluare a riscurilor, capabile să proceseze fluxurile de date generate de aceste noi sisteme inteligente, subiect ce va fi detaliat în secțiunile următoare ale lucrării.

Capitolul 2. Stadiul actual al dezvoltării sistemelor de monitorizare a SSM în domeniul transportului

2.1. Importanţa transportului

Transporturile au un rol esențial în funcționarea economiei, în absența acestora activitățile umane fiind dificil de organizat și desfășurat. Accesul populației la bunuri și servicii este posibil, în mare măsură, datorită dezvoltării tehnologice în domeniul transporturilor. Transportul constituie o componentă integrantă a costului produselor, iar îmbunătățirea continuă a tehnologiilor de transport a determinat diminuarea acestor costuri și extinderea accesului la bunuri pentru un număr mai mare de utilizatori.

2.2. Transportul rutier în Uniunea Europeană şi România

La nivelul Uniunii Europene, aproximativ 44% din transportul de mărfuri este realizat pe cale rutieră, comparativ cu 39% prin transport maritim de scurtă distanță, 10% pe cale feroviară și 3% prin căi navigabile interioare. În ceea ce privește transportul de pasageri, transportul rutier reprezintă circa 81%, în timp ce transportul feroviar și cel aerian dețin ponderi de aproximativ 6%, respectiv 8% [B13].

În România, transportul rutier reprezintă principalul mod de transport, atât pentru deplasarea persoanelor, cât și pentru transportul mărfurilor. Ponderea acestuia pe piața transportului interurban și internațional este dominantă, atingând valori de aproximativ 81,69% în cazul transportului de mărfuri și 78,37% în cazul transportului de persoane. Evoluția traficului rutier la nivel național evidențiază o tendință de creștere susținută; astfel, numărul mediu de vehicule standard a fost estimat la aproximativ 11.000 în anul 2015, urmând să ajungă la circa 50.000 de vehicule standard în anul 2030.

2.3. Sisteme inteligente de transport

Prin utilizarea tehnologiilor digitale, elementele componente ale sistemului de transport pot dobândi caracteristici inteligente, prin integrarea de microcipuri, senzori și dispozitive de comunicație, care permit colectarea, procesarea și transmiterea datelor în timp real.

Sistemele inteligente de transport (ITS – *Intelligent Transport Systems*) pot fi definite ca ansambluri de aplicații avansate care integrează tehnologii de comunicații, electronică, navigație și procesare a informațiilor, având ca obiectiv optimizarea funcționării sistemelor de transport existente. Printre aplicațiile specifice ITS se regăsesc sistemele avansate de management al traficului, sistemele de informare a călătorilor, sistemele

electronice de taxare, sistemele avansate de control al vehiculelor și soluțiile dedicate transportului public inteligent [S09].

2.4. Principalele provocări în domeniul SSM pentru conducătorii auto

În practica organizațională din România au fost identificate, de-a lungul timpului, o serie de deficiențe recurente în aplicarea cerințelor SSM pentru conducătorii auto. Aceste deficiențe pot genera consecințe semnificative atât asupra securității lucrătorilor, cât și asupra performanței și responsabilității legale a companiilor.

Regulamentul (CE) nr. 561/2006 și Acordul European privind Munca Echipajelor de Vehicule stabilesc limite clare privind timpii de conducere, pauzele și perioadele de repaus, având ca obiectiv prevenirea oboselii și reducerea riscurilor asociate. În completarea acestora, tehnologiile avansate de asistență a conducătorului auto, precum frânarea automată de urgență, avertizarea la părăsirea benzii de circulație și monitorizarea unghiurilor moarte, pot contribui substanțial la diminuarea riscului de accidente și la creșterea nivelului general de siguranță în exploatarea vehiculelor.

2.5. Neglijarea instruirii periodice

O altă deficiență frecvent întâlnită în domeniul sănătății și securității în muncă este lipsa programelor de instruire periodică adecvate pentru conducătorii auto. Programele de instruire periodică nu au doar rolul de a reîmprospăta informațiile deja dobândite, ci și de a crește gradul de conștientizare privind riscurile noi sau emergente.

O deficiență frecvent întâlnită în managementul sănătății și securității în muncă pentru conducătorii auto o reprezintă realizarea unor evaluări medicale incomplete sau tratate strict formal.

Pentru asigurarea unei comunicări eficiente în domeniul securității și sănătății în muncă, este necesară implementarea unor strategii și practici bine structurate. Implementarea mecanismelor de feedback anonim, cum ar fi chestionarele online sau cutiile de sugestii, încurajează raportarea sinceră a problemelor fără teama de sancțiuni, favorizând identificarea rapidă a deficiențelor și adoptarea măsurilor corective adecvate.

2.6. Sisteme de monitorizare a SSM

Prezentul studiu are ca obiectiv identificarea principalelor tipuri, scopuri și domenii de utilizare ale sistemelor digitale inteligente de monitorizare a SSM. Totodată, analiza vizează evaluarea oportunităților, riscurilor și provocărilor asociate implementării acestor sisteme, în vederea îmbunătățirii nivelului de SSM al lucrătorilor [A12]. Datele sugerează că noile sisteme de monitorizare a SSM sunt încă în fază incipientă în unele cazuri, dar că tendința este spre o adoptare sporită din cauza creșterii gradului de conștientizare a nevoilor vechi și noi în materie de SSM în comparație cu trecutul recent și datorită oportunităților îmbunătățite oferite de sofisticarea tehnologică.

Noile sisteme de monitorizare a SSM sunt definite ca ansambluri de soluții care utilizează tehnologii digitale pentru colectarea și analiza datelor, în vederea identificării și evaluării riscurilor profesionale, prevenirii și/sau reducerii la minimum a efectelor nocive asupra lucrătorilor, precum și pentru promovarea unui nivel ridicat de securitate și sănătate în muncă. Printre aceste tehnologii se regăsesc, fără a se limita la acestea, tehnologia informației și comunicațiilor (TIC), camerele de monitorizare, inteligența artificială (IA), realitatea augmentată și/sau virtuală (AR/VR), Internet of Things, conectivitatea pe scară largă și aplicațiile big data, dispozitivele portabile, îmbrăcămintea inteligentă și echipamentele individuale de protecție, exoscheletele, sistemele aeriene fără pilot (UAV/UAS), precum și tehnologiile de identificare prin radiofrecvență (RFID).

În literatura de specialitate și în practica actuală pot fi identificate două abordări generale majore ale noilor sisteme de monitorizare a SSM: (i) o abordare **proactivă**, orientată spre prevenirea vătămărilor și promovarea sănătății; și (ii) o abordare **reactivă**, centrată pe gestionarea accidentelor și a situațiilor de urgență. Aceste noi sisteme pot sprijini incluziunea și diversitatea, pot ajuta lucrătorii să-și găsească și să rămână în câmpul muncii și să faciliteze sănătatea și protejarea împotriva vătămărilor la locul de muncă.

2.7. Utilizarea principalelor sisteme de monitorizare a SSM

2.7.1. Monitorizarea proactivă a SSM

Acesta este organizată în două scopuri principale: furnizarea de formare lucrătorilor și identificarea pericolelor și evaluarea timpurie a riscurilor pentru a preveni vătămarea. Vătămarea poate fi prevenită prin măsurarea în timp real a expunerii individuale / colective dăunătoare de rutină și non-rutină: căldură, presiune, zgomot, praf, substanțe chimice, agenți biologici, radiații, UV. Dronele, rețelele de senzori, AR, coboții și IA pot prelua

sarcini periculoase de monitorizare, întreținere și reparare a instalațiilor și spațiilor, care pot contribui la reducerea stresului profesional sau a consecințelor accidentelor și vătămărilor asupra sănătății mintale și a bunăstării.

2.7.2. Monitorizarea reactivă a SSM

Aceasta este organizată în două scopuri principale: reducerea la minimum a consecințelor accidentelor/situațiilor de urgență și raportarea și investigarea accidentelor. Atunci când prevenirea eșuează, sistemele și tehnologiile digitale de monitorizare a SSM permit angajatorilor să reacționeze rapid și eficient la situații de urgență, pot contribui la investigarea accidentului și pot oferi informații despre locul în care s-a produs accidentul, cine a fost prezent și cine au fost victimele, ce acțiuni și/sau condiții au condus la acesta și ce s-a întâmplat în timpul accidentului și al operațiunilor de salvare ulterioare.

2.8. Monitorizarea SSM şi nevoile specifice

Sistemele de monitorizare a SSM care trimit avertismente nu numai prin utilizarea alertelor acustice, ci și prin vibrații sau lumină prezintă oportunități pentru lucrătorii cu deficiențe de auz și pot fi, de asemenea, mai eficiente pentru toți lucrătorii de la locurile de muncă cu niveluri ridicate de zgomot. În plus, lucrătorilor migranți care au cunoștințe lingvistice scăzute pot avea acces mai ușor la materiale video și indicii vizuale decât la text – de exemplu, atunci când examinează accidentele înregistrate de camerele de luat vederi, în contextul formării.

2.9. Riscurile și provocările sistemelor de monitorizare a SSM

Sistemele de monitorizare a SSM pot avea efecte adverse și uneori un impact net negativ. De exemplu, exoscheletele prezintă o serie de riscuri potențiale. Interfețele om-mașină (față, gesturi, voce, mișcarea ochilor, semnale cerebrale) ar putea interpreta greșit semnalele modificate sau de putere scăzută – de exemplu, din cauza bateriilor descărcate, a interferențelor, a problemelor de limbă și pronunție.

Trecerea la managementul algoritmic poate prezenta riscuri psihosociale din cauza impactului asupra relațiilor de muncă, comunicării și încrederii. Managementul AI poate reduce contactul dintre management și lucrători, precum și între colegi.

Riscurile psihosociale ar putea explica, de asemenea, reticența generală a lucrătorilor în ceea ce privește introducerea de noi sisteme de monitorizare a SSM și a tehnologiilor respective la locul de muncă. În unele cazuri, unele sisteme sunt mai acceptabile decât altele.

Capitolul 3. Concluzii privind stadiul actual cercetărilor privind integrarea principiilor fundamentale şi proceselor de transformare digitală în domeniul securității și sănătății în muncă

Din analiza stadiului actual al cercetării-dezvoltării în domeniul sistemelor integrate de optimizare a proceselor operaţionale şi de monitorizare a componentelor sistemului de muncă, se desprind concluzii importante, după cum urmează.

- Transportul rutier este unul dintre cele mai importante sectoare economice din România, având un impact semnificativ asupra mobilității, comerțului și economiei naționale. Gestionarea riscurilor în domeniul transportului rutier devine astfel o prioritate, având în vedere numărul semnificativ de accidente de circulație și impactul acestora asupra vieților umane, dar și asupra economiei. (v. § 1.1).
- SSM 4.0 reprezintă un concept emergent care vizează optimizarea interacțiunii dintre om și mașină prin integrarea principiilor fundamentale ale Industriei 4.0 și ale proceselor de transformare digitală în domeniul SSM. (v. § 1.2).
- Sistemele digitale inteligente s-au dezvoltat foarte mult odată cu cea de-a patra revoluție industrială (Industry 4.0). Dezvoltarea și îmbunătățirea rapidă a sistemelor și tehnologiilor digitale a stimulat dezvoltarea de noi sisteme de monitorizare a sănătății și securității ocupaționale, ajutând astfel organizațiile să asigure un nivel eficient de siguranță pentru lucrători (v. § 1.4).
- În sectorul transportului rutier, acordarea unei atenții sporite condițiilor de desfășurare a activității la locul de muncă este esențială pentru prevenirea incidentelor periculoase și a accidentelor, precum și pentru menținerea unui nivel adecvat de satisfacție și motivație a lucrătorilor. Caracteristicile specifice acestui sector – mobilitatea permanentă, expunerea prelungită la factori de stres și dependența de infrastructură – fac ca gestionarea riscurilor de accidentare să fie mai dificilă comparativ cu alte domenii de activitate. (v. § 2.3).

• O altă deficiență frecvent întâlnită în domeniul sănătății și securității în muncă este lipsa programelor de instruire periodică adecvate pentru conducătorii auto. Totuși, evoluția continuă a tehnologiilor, modificările legislative și schimbările constante ale condițiilor de trafic impun actualizarea periodică a cunoștințelor și competențelor profesionale ale șoferilor (v. § 2.4).

• Noile sisteme de monitorizare a securității și sănătății în muncă au potențialul de a preveni vătămările (inclusiv problemele de sănătate) și de a minimiza consecințele unui accident. În plus, acestea pot avea un impact psihosocial pozitiv legat de: îmbunătățirea culturii SSM adaptată nevoilor lucrătorilor, reducerea stresului și creșterea semnificativității locului de muncă. (v. § 2.5.1).

• Tehnologiile digitale utilizate de sistemele de monitorizare a SSM oferă diverse oportunități de îmbunătățire a SSM. Tehnologiile digitale, senzorii și software-ul sunt adesea utilizate în combinație în noile sisteme de monitorizare a SSM (v. § 2.7).

Dezvoltarea unui sistem integrat de planificare și optimizare, corelat cu monitorizarea continuă a componentelor sistemului de muncă, are potențialul de a genera contribuții originale atât la nivel teoretic, prin extinderea modelelor existente, cât și la nivel practic, prin aplicabilitatea directă în organizații industriale sau de servicii.

Capitolul 4. Direcţiile, obiectivul principal şi metodologia de cercetare-dezvoltare

4.1. Direcţii de cercetare-dezvoltare

Pe baza celor desprinse din analiza stadiului actual, se apreciază a fi de actualitate următoarele direcţii de cercetare-dezvoltare privind dezvoltarea unui sistem integrat de optimizare a proceselor operaţionale şi monitorizare a componentelor sistemului de munca:

• identificarea unor soluții concrete la aspecte precum: dezvoltarea durabilă a managementului resurselor umane pentru a asigura dezvoltarea competențelor lucrătorilor, stimularea creativității, a abilităților de digitalizare și a motivației acestora;

• abordarea provocărilor și riscurilor identificate și maximizarea oportunităților, care depind în mare măsură de modul în care tehnologiile sunt utilizate, gestionate și reglementate;

• identificarea consecințelor (pozitive sau negative) asupra securității și sănătății lucrătorilor, pe care le presupune implementarea sistemelor digitale, pe baza analizei datelor și a literaturii științifice;

• impactului integrării acestor sisteme asupra securității și sănătății lucrătorilor.

4.2. Obiectivul principal al activităţii de cercetare-dezvoltare

S-a determinat ca obiectiv principal al activității de doctorat crearea și implemetarea unei platforme digitale, care să contribuie la creșterea eficienței, productivității și flexibilității organizaționale, avand drept scop:

- Eficientizarea şi automatizarea proceselor de SSM, SU, RSVTI şi HR.
- Reducerea riscului de accidentare la locul de muncă prin planificare riguroasă, verificări periodice şi monitorizare proactivă.
- Creşterea trasabilităţii, responsabilităţii şi transparenţei printr-o platformă digitală completă şi adaptabilă.

Analiza direcţiilor de cercetare – dezvoltare a condus la stabilirea următoarelor obiective specifice, în vederea atingerii obiectivului principal propus al tezei de doctorat:

- analiza conceptelor și metodelor de optimizare a proceselor operaționale;
- identificarea și evaluarea ineficiențelor existente în procesele analizate;
- definirea indicatorilor de performanță relevanți pentru componentele de muncă;
- demonstrarea vulnerabilităților metodelor traditionale de gestionare a SSM cu ajutorul FRAM;
- crearea unei platforme digitale integrate completă și adaptabilă diferitelor contexte organizaționale;
- implementarea sistemului conceput, aplicarea cadrului hibrid FRAM–Kirkpatrick în trei companii de transport rutier;
- testarea şi validarea eficienţei sistemului propus în procesului de instruire digital în sisteme socio-tehnice complexe.

În concluzie, tema tezei de doctorat privind dezvoltarea unui sistem integrat de planificare și optimizare a proceselor operaționale, corelată cu monitorizarea componentelor sistemului de muncă, se dovedește a fi necesară și oportună în contextul actual al creșterii complexității și dinamismului mediului organizațional.

4.3. Metodologia de cercetare-dezvoltare

Metodologia de cercetare – dezvoltare este concepută ca sistem original de analiză și optimizare a proceselor operaționale, centrată pe interacțiunea om–sistem–mediu. Metodologia include etape clare de identificare a riscurilor profesionale, evaluare ergonomică și corelare a acestora cu indicatorii de performanță operațională, pentru a realiza obiectivul principal al activității de doctorat, precum și dezvoltări viitoare.
Cercetarea propusă are un caracter aplicativ și interdisciplinar, îmbinând elemente din domeniul managementului proceselor, ingineriei industriale, analizei muncii și sistemelor informatice. Abordarea metodologică este una mixtă, incluzând:

- cercetare teoretică, prin analiza literaturii de specialitate;
- cercetare calitativă, prin studii de caz, observații directe și interviuri;
- cercetare cantitativă, prin colectarea și analiza datelor operaționale.

Această abordare permite înțelegerea profundă a proceselor existente și fundamentarea științifică a soluțiilor de optimizare propuse. Metodologia este structurată pe mai multe etape succesive:
Etapa 1 – Analiza literaturii de specialitate
Etapa 2 – Analiza proceselor operaționale și a riscurilor de SSM existente
Etapa 3 – Colectarea și prelucrarea datelor
Etapa 4 – Proiectarea sistemului de optimizare
Etapa 5 – Testarea și validarea sistemului

Metodologia de cercetare propusă oferă un cadru coerent și riguros pentru dezvoltarea unui sistem de optimizare a proceselor operaționale a componentelor de muncă. Prin îmbinarea analizei teoretice cu cercetarea aplicativă, teza urmărește obținerea unor rezultate relevante atât din punct de vedere științific, cât și practic, contribuind la eficientizarea activităților organizaționale și la susținerea procesului decizional.

Capitolul 5. Contribuţii privind dezvoltarea unui sistem integrat de planificare și optimizare a proceselor operaţionale și monitorizare a componentelor sistemului de muncă - SSM Online

În domeniile cu risc ridicat, cum ar fi transportul rutier, abordările convenționale pe hârtie sau semi-digitale pentru managementul securității și sănătății în muncă sunt insuficiente [I05, I06]. Pentru a aborda aceste provocări, SSM Online este propus ca o platformă inteligentă, cloud-nativă și complet integrată, concepută pentru a automatiza procesele de lucru, a sprijini monitorizarea conformității în timp real și a oferi trasabilitate completă a acțiunilor și responsabilităților [I07, I09].

5.1. Descrierea platformei

5.1.1. Descriere generală

SSM Online reprezintă o platformă web integrată destinată gestionării activităților de Securitate și Sănătate în Muncă, Situații de Urgență, Protecția Mediului și Resurse Umane. Sistemul a fost conceput pentru a oferi o soluție unitară și scalabilă, capabilă să răspundă cerințelor organizațiilor de orice dimensiune, inclusiv celor cu structură multi-site, multi-user și multi-lingual.[I09]
Aplicația este dezvoltată în regim cloud-based, fiind accesibilă direct din browser, fără instalări locale. Interfața grafică este intuitivă, responsivă și adaptată pentru utilizarea pe desktop, tabletă și dispozitive mobile, oferind o experiență unitară indiferent de mediu.

5.1.2. Arhitectura generală și stratificare

Platforma SSM Online este dezvoltată în limbajul Python, urmând principiile arhitecturii three-tier, structurată pe trei straturi principale:

1. Prezentare / Interfață Utilizator - reprezintă interfața utilizatorului, implementată în tehnologii moderne web (HTML5, CSS3, JavaScript, framework-uri reactive).
2. Aplicaţie / Fluxurile de lucru (Server + Module) - stratul intermediar care gestionează logica aplicației, regulile de afaceri și mecanismele de comunicare între utilizatori și baza de date.
3. Date / Persistență (PostgreSQL + Mecanisme de Securitate și Integrări) - stratul de persistență a datelor, construit pe o bază PostgreSQL robustă, cu suport pentru tranzacții sigure, criptare la nivel de coloană și replicare.

Prin această arhitectură stratificată și modulară, SSM Online oferă o bază solidă pentru extinderea funcționalităților viitoare, integrarea cu tehnologii emergente și susținerea proceselor digitale de conformare în organizațiile moderne.

5.1.3. Componente și tehnologii

Structura sistemului se bazează pe o arhitectură stratificată (three-tier), care separă clar nivelurile de interacțiune cu utilizatorul, logica aplicației și persistența datelor, peste care se suprapun două straturi transversale: securitate & compliance și integrări externe. Stratul UI oferă mecanisme de personalizare a experienței, permițând fiecărui utilizator să își configureze propriul tablou de bord, să definească filtre rapide sau să stabilească notificări vizuale în funcție de responsabilitățile sale.

Stratul de aplicație reprezintă miezul funcțional al sistemului, acolo unde se desfășoară procesele logice, fluxurile decizionale și acțiunile automate. Acesta este implementat în Python, limbaj de programare recunoscut pentru stabilitatea și claritatea sa. În centrul său se află motorul aplicației, construit pe un framework Python dotat cu ORM (Object Relational Mapping), care facilitează interacțiunea sigură și abstractizată cu baza de date.

5.1.4 Fluxuri de comunicație și protocoale

Funcționarea platformei SSM Online se bazează pe un sistem de fluxuri de comunicație atent proiectat, care asigură schimbul sigur, coerent și eficient de informații între componentele sale interne și sistemele externe.

Comunicarea dintre utilizator și sistem are loc prin intermediul browserului web, utilizând protocoalele standard HTTP și HTTPS. Toate cererile provenite de la client sunt direcționate către core-ul aplicației, care procesează solicitările și returnează răspunsurile în formate structurate, de tip JSON-RPC sau XML-RPC. Sistemul este conceput să ruleze într-o arhitectură multi-worker/multi-threaded, în care mai multe instanțe ale aplicației lucrează simultan, gestionând cereri, sarcini cron și procese automate. În acest mod, SSM Online poate procesa simultan cereri de la zeci de utilizatori care modifică aceleași tabele, păstrând totuși integritatea și consistența bazei de date.

5.1.5. Scalare, performanță și distribuție

Platforma SSM Online a fost proiectată pentru a funcționa eficient atât în medii de producție mici, cât și în infrastructuri complexe, distribuite la nivel național sau internațional. Pentru a asigura performanță constantă, stabilitate și disponibilitate ridicată, sistemul adoptă principii moderne de scalabilitate orizontală și verticală, susținute de mecanisme de echilibrare a sarcinii, replicare și recuperare automată în caz de avarie.

5.2. Inovație funcțională și contribuție la stadiul actual al domeniului

Originalitatea sistemului propus constă în integrarea tehnologiilor emergente, Inteligenta Artificială, telematică, VR, într-o singură platformă unificată. SSM Online introduce un cadru strâns conectat care îmbină datele operaționale reale cu intervenții de siguranță personalizate și o acoperire cuprinzătoare a cerințelor SSM.

(1) Integrarea datelor telematice și de la senzori. Platforma primește fluxuri continue de date telematice pentru vehicule (GPS, tahografe, senzori de oboseală și stres). Aceste date sunt utilizate de un motor bazat pe reguli și învățare automată pentru a adapta dinamic instruirea în materie de siguranță.

(2) Instruire imersivă bazată pe VR. Scenariile critice, coliziunile, urgențele de incendiu sunt reproduse în module VR interactive. Această abordare transformă instruirea pasivă în învățare experiențială, îmbunătățind reținerea cunoștințelor și conștientizarea situației.

(3) Asistent digital bazat pe inteligență artificială. Un motor de recomandări analizează istoricul instruirii, profilurile telematice și cerințele de reglementare pentru a genera planuri de instruire individualizate și a prognoza riscurile de conformitate.

(4) Audit digital în timp real. Platforma detectează automat înregistrările lipsă sau expirate, inconsecvențele și abaterile de la cerințele legale. Platforma generează, de asemenea, alerte automate și rapoarte de conformitate gata de depus.

(5) Accesibilitate transnațională. Prin intermediul interfețelor multilingve, traducerilor automate, ghidării vocale și a instrumentelor vizuale de învățare, platforma este utilizabilă de către șoferii și lucrătorii străini cu cunoștințe digitale scăzute.

5.3. Funcționalități de bază ale platformei

SSM Online integrează o suită extinsă de module operaționale care, împreună, oferă o gestionare completă, end-to-end, a activităților de SSM. Fiecare modul este conceput pentru a automatiza sarcinile administrative, a asigura conformitatea deplină cu cerințele legale și a sprijini luarea deciziilor în timp real în medii

organizaționale complexe. Modulul principal este modulul de Management Centralizat al Personalului, care sincronizează automat datele angajaților prin interfețe REST/JSON cu sistemele de resurse umane existente.

Formarea și dezvoltarea competențelor sunt abordate prin intermediul unei suite robuste de instruire digitală, care oferă videoclipuri instructive tematice, evaluări online, fluxuri de învățare adaptive și stocare digitală pe termen lung a înregistrărilor individuale de instruire.

Prin integrarea acestor funcționalități, platforma oferă un tablou de bord complet pentru conformitatea cu SSM, reduce sarcina administrativă și asigură disponibilitatea permanentă a documentelor critice. SSM Online reprezintă un ecosistem digital de ultimă generație care îmbină instruirea în domeniul SSM, telematica, învățarea imersivă, conformitatea automatizată și datele operaționale în timp real. Arhitectura sa cloud-nativă, automatizarea avansată și integrarea tehnologiilor emergente oferă o soluție robustă, scalabilă și inteligentă, adaptată pentru sectoare cu risc ridicat, cum ar fi transportul rutier.

5.4. Administrare angajați în platforma dedicată SSM/SU online

5.4.1. Accesul în platforma SSM-SU

Accesul în platforma securizată se realizează utilizând fie adresa de e-mail, fie codul numeric personal (CNP). În cazul în care utilizatorul nu are o adresă de e-mail declarată, este obligatorie completarea numărului de telefon mobil, deoarece toate comunicările ulterioare vor fi transmise exclusiv prin SMS.
Alegerea companiei se face ușor, dintr-o listă vizibilă după autentificare, exemplu în fig.5.3.
Pentru a accesa detaliile contului personal, utilizatorul trebuie să selecteze opțiunea **Contul dvs**. din colțul din dreapta sus al interfeței (fig.5.4.). Această secțiune oferă acces la informațiile personale și permite gestionarea setărilor contului (angajati, fișe SSM/SU, semnături).

După autentificare, utilizatorul poate naviga la secțiunea "Angajați" din meniul principal. Fiecare angajat are asociată o acțiune de management ce permite editarea datelor acestuia sau vizualizarea detaliilor suplimentare, cum ar fi calificările, autorizațiile și fișele SSM/SU.

5.4.2. Modalități de introducere si editare a angajaților

Pentru a gestiona utilizatorii din platforma, există două metode principale:

1. accesul manual prin interfața platformei
2. importul de angajați folosind fișiere Excel

După completarea tuturor câmpurilor obligatorii, utilizatorul poate salva informațiile prin butonul „Adăugare angajat”.Acest proces asigură că atât șeful direct, cât și inspectorul SSM verifică și aprobă activitatea angajatului, conform normelor interne și legale.
Pentru importul în masă al angajaților, utilizatorul trebuie să acceseze opțiunea „Import angajați”. În acest meniu, se poate încărca un fișier Excel ce conține datele necesare pentru a adăuga mai mulți angajați simultan.

5.4.3. Vizualizarea și semnarea fișelor SSM/SU

Platforma permite gestionarea și semnarea fișelor SSM/SU într-un mod eficient, asigurând conformitatea cu reglementările de securitate și sănătate la locul de muncă, precum și cu normele privind situațiile de urgență. Utilizatorii pot accesa și semna aceste fișe atât pentru ei înșiși, cât și pentru angajații companiei, prin intermediul interfeței platformei (fig.5.7).
Utilizatorii pot deschide fiecare fișă pentru a vedea detalii specifice legate de conținutul acesteia, inclusiv instrucțiunile privind măsurile de siguranță necesare, normele aplicabile și alte informații relevante despre sănătatea și siguranța în muncă. După ce utilizatorul a vizualizat fișa, acesta poate semna electronic documentul pentru a confirma că a citit și înțeles cerințele SSM/SU. Semnătura electronică este obligatorie pentru validarea fișei, asigurându-se astfel că toți angajații au fost informați corespunzător cu privire la măsurile de securitate la locul de muncă.

Platforma permite, de asemenea, generarea de rapoarte detaliate privind statusul semnăturilor și progresul completării fișelor SSM/SU, utile în cazul inspecțiilor sau auditurilor. Această funcționalitate face ca gestionarea fișelor SSM/SU să fie eficientă și bine organizată, oferind companiilor o soluție completă pentru respectarea obligațiilor legale și menținerea unui mediu de lucru sigur și conform.

5.5. Administrare angajați în platforma dedicată SSM-SU OnlinePortal

Portalul este o platformă digitală dedicată instruirii angajaților în ceea ce privește regulile și procedurile de siguranță la locul de muncă și gestionarea situațiilor de urgență [I10].La începutul colaborării, fiecare salariat primește un e-mail de activare pentru accesul în platformă. Acest e-mail conține un link pentru setarea parolei personale necesare pentru autentificare .

În pasul următor al procesului de înscriere în platforma de instruire în reglementările de securitate la locul de muncă, angajatul trebuie să își adauge prima semnătură electronică. Aceasta este o etapă finală, prin care angajatul își exprimă consimțământul și își asumă angajamentul de a urma cursurile și de a respecta regulile de siguranță la locul de muncă și pentru a se familiariza cu modalitatea de semnare a fișelor. După ce angajatul și-a completat profilul și a semnat, următorul pas este accesarea cursurilor disponibile pe platforma de instruire pentru securitate și sănătate în muncă. Pașii necesari pentru vizualizarea cursurilor sunt:

Accesarea secțiunii „Cursuri”:

- În meniul principal al platformei, în partea de sus a paginii, selectați opțiunea **„Cursuri”**.
- Acest lucru vă va duce la pagina unde sunt afișate cursurile disponibile pentru dvs.

Vizualizarea cursului:

- Pe pagina „Cursurile mele”, căutați cursul dorit. În exemplul de față, apare cursul **„Instruire Introductivă Generală SSM”**
- Faceți clic pe cursul dorit pentru a începe instruirea.

Navigarea în curs:

- După ce ați selectat un curs, veți putea accesa materialele de instruire. Urmați indicațiile din fiecare secțiune pentru a finaliza modulele și pentru a asimila informațiile prezentate.

În finalul procesului de instruire în portal, angajatul trebuie să confirme că a parcurs toate modulele necesare și că este familiarizat cu regulile de securitate și sănătate în muncă prin semnarea fișei de instruire periodică. După finalizarea modulelor de curs, ultima secțiune din meniul din stânga conține, de obicei, pagina destinată semnării fișei de instruire.

5.6. Concluzii

Un prim rezultat major al cercetării îl reprezintă definirea unei arhitecturi tehnice scalabile, bazate pe modelul three-tier, care separă clar stratul de prezentare, stratul aplicațional și stratul de date, completate de straturi transversale dedicate securității și integrărilor externe.

Un al doilea element de contribuție constă în modelarea fluxurilor operaționale end-to-end, care transformă procesele SSM din activități reactive, declanșate de incidente sau controale, în procese proactive, monitorizate continuu și susținute de mecanisme automate de notificare, validare și raportare.

Originalitatea sistemului este evidențiată prin integrarea tehnologiilor emergente într-o platformă unificată. Introducerea datelor telematice și a senzorilor (GPS, tahografe, indicatori de oboseală) permite corelarea comportamentului operațional cu nevoile de instruire. Platforma propusă introduce, de asemenea, un model de audit digital în timp real, în care documentele, fișele SSM/SU, autorizațiile și termenele limită sunt monitorizate continuu.

Capitolul 6. Contribuții privind analiza și optimizarea proceselor de SSM prin Metoda Analizei Rezonanței Funcționale. Sinteză comparativă: proces tradițional vs. proces digital integrat

Aplicarea FRAM (Functional Resonance Analysis Method) în cercetarea de față are rolul de a evidenția vulnerabilitățile procesului tradițional de instruire SSM din industria transportului rutier, unde instruirile se realizează, în majoritatea cazurilor, față-în-față, iar documentația aferentă se păstrează exclusiv pe suport de hârtie. Acest cadru metodologic oferă o imagine realistă asupra limitărilor actuale și constituie punctul de plecare pentru justificarea unei platforme digitale integrate (Platforma SSM_Online) care să reducă variabilitatea nedorită și să crească reziliența organizațională.

6.1. Analiza procesului tradițional de instruire SSM prin Metoda Analizei Rezonanței Funcționale

6.1.1. Descrierea metodei FRAM și a procesului tradițional de instruire

Spre deosebire de metodele clasice de analiză a riscului, care se bazează pe cauzalități liniare și pe relații de tip „eroare-efect”, FRAM abordează complexitatea prin identificarea funcțiilor esențiale ale unui sistem și prin caracterizarea interacțiunilor lor [H02].

Metoda FRAM are la bază definirea funcțiilor esențiale ale sistemului, fiecare funcție fiind caracterizată prin șase aspecte fundamentale [H04]:

- Intrări (I) – ce declanșează funcția;

- Rezultate (O) – rezultatul funcției;
- Precondiții (P) – condițiile care trebuie îndeplinite înainte de realizarea funcției;
- Resurse (R) – ce este necesar pentru ca funcția să se realizeze;
- Control (C) – mecanismele care guvernează și reglementează funcția;
- Timp (T) – constrângeri temporale.

6.1.2. Etapa I. Identificarea și descrierea funcțiilor esențiale ale sistemului

Pentru procesul tradițional de instruire SSM în transportul rutier, au fost identificate următoarele funcții esențiale (fig. 6.1).

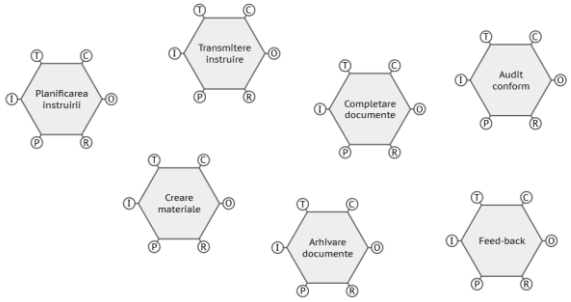


Fig. 6.1. Funcțiile esențiale procesului tradițional de instruire (faza inițială - identificarea), create cu ajutorul softului FRAM Model Visualizer

6.1.3. Etapa II – Caracterizarea variabilității funcțiilor

Analiza funcțională realizată prin metoda FRAM evidențiază faptul că, în practică, fiecare funcție a sistemului de instruire în SSM prezintă un anumit grad de variabilitate, influențat de factori organizaționali, umani și contextuali.Interacțiunea lor cumulativă poate genera rezonanțe funcționale negative, adică perturbări sistemice care afectează coerența, eficiența și conformitatea procesului. Prin urmare, sistemul tradițional de instruire SSM, bazat pe procese manuale și documente pe suport fizic, este vulnerabil structural, iar digitalizarea și integrarea proceselor devin esențiale pentru reducerea variabilității și creșterea rezilienței organizaționale.

6.1.4. Etapa III. Determinarea rezonanțelor funcționale

Rezonanța funcțională apare atunci când variabilitatea mai multor funcții se combină, amplificând efectele. Metoda FRAM scoate în evidență nu doar funcțiile izolate ale unui sistem socio-tehnic, ci mai ales modul în care acestea se influențează reciproc. Analiza de față a identificat cinci tipuri majore de rezonanțe (R1–R5), care constituie principalele vulnerabilități sistemice.

Rezonanța R1 – „Întârziere în planificare → semnături lipsă → neconformitate”. Dacă planificarea nu este realizată la timp, instruirile se desfășoară cu întârziere sau în serii parțiale. Acest lucru duce la situații în care o parte din angajați nu participă la sesiunea programată și rămân neinstruiți în perioada de referință.

Rezonanța R2 – „Materiale neactualizate → instruire irelevantă → audit formal”. În sistemul tradițional, materialele sunt tipărite și distribuite manual. Dacă între timp apar modificări legislative, acestea trebuie integrate rapid în conținut.

Rezonanța R3 – „Volum mare de hârtie și erori → arhivă opacă → imposibilitate de probare”. Documentarea instruirilor SSM generează un volum mare de hârtii: fișe individuale, registre, rapoarte de participare. În sistemul tradițional, toate acestea sunt păstrate în dosare fizice. Efectul final: întârzieri mari la audit, risc de sancțiuni pentru documente lipsă, pierderea încrederii în sistemul de evidențe.

Rezonanța R4 – „Fluctuații de prezență → recuperări ad-hoc → degradarea calității instruirii”.Șoferii sunt adesea pe traseu atunci când sunt programate instruirile. Astfel, participarea la sesiunile față-în-față este foarte variabilă. Efectul final: calitatea instruirii scade constant, lucrătorii nu rețin informațiile esențiale, iar riscurile în trafic rămân ridicate.

Rezonanța R5 – „Dependența de persoană cheie”. În multe companii de transport rutier, întreaga responsabilitate pentru SSM revine unei singure persoane. Aceasta este o rezonanță tipică pentru organizațiile cu resurse limitate: dependența de un singur individ face ca întregul sistem să fie fragil și ușor de destabilizat. Efectul final: vulnerabilitate operațională ridicată, risc sistemic și imposibilitatea menținerii continuității procesului de instruire și documentare.

6.2. Analiza procesului digital integrat potențial de instruire SSM

Analiza FRAM a platformei digitale integrate arată că variabilitatea, departe de a fi o sursă de erori, devine acum un factor de inovație și adaptabilitate. Automatizarea planificării, actualizarea centralizată, generarea automată a documentelor, instruirea VR și auditul digital creează rezonanțe funcționale pozitive care transformă radical procesul de instruire SSM.

6.3. Sinteză comparativă FRAM: proces tradițional vs. proces digital integrat

Aplicarea metodei FRAM asupra celor două scenarii – PT (proces tradițional, față-în-față, documente pe hârtie) și PDI – a scos în evidență diferențe fundamentale în modul de funcționare a sistemului de instruire SSM (tabelul 6.3.). Analiza proceselor de instruire SSM în companiile de transport rutier, realizată prin metoda FRAM, a arătat două imagini contrastante. Prima imagine, cea a procesului tradițional (PT), este caracterizată de fragilitate, variabilitate necontrolată și rezonanțe funcționale negative. A doua imagine, cea a procesului digital integrat (PDI), dezvăluie o arhitectură robustă, cu rezonanțe funcționale pozitive care sprijină nu doar conformitatea legală, ci și performanța organizațională pe termen lung.

Tabelul 6.3.Sinteză comparativă – Tradițional vs. Digital

Funcție FRAM	Sistem tradițional (PT)	Sistem digital integrat (PDI)
Planificare instruire	Manuală, dependentă de responsabilul SSM; întârzieri frecvente	Automată, calendar și notificări generate; flexibilitate pentru toți angajații
Materiale de instruire	Tipărite, actualizare lentă; versiuni multiple paralele	Centralizate, unice; actualizare instantanee și distribuire digitală
Transmitere conținut	Față-în-față; participare variabilă (șoferi plecați în curse)	Online/VR, disponibil 24/7; acces de oriunde, participare ridicată
Evaluare	Teste scrise, corectare manuală, subiectivitate	Teste digitale, corectare automată, evaluare adaptivă
Documentare	Fișe și registre completate manual; erori de transcriere, semnături lipsă	Generare automată de fișe și registre digitale, semnătură electronică
Arhivare	Fizică, dosare greu de gestionat; risc de pierdere	Digitală, securizată, trasabilitate completă, căutare instantanee
Audit conformitate	Periodic, dificil, bazat pe documente incomplete	Continuă, digitală, rapoarte instantanee, alerte în timp real
Feedback și îmbunătățire	Sporadic, informal, rar valorificat	Sistematic, bazat pe IA; recomandări personalizate și actualizare dinamică
Tip de rezonanță	Negativă: întârzieri, erori, neconformități	Pozitivă: eficiență, conformitate, reziliență

Această secțiune comparativă are rolul de a sintetiza rezultatele celor două analize și de a arăta modul în care digitalizarea nu este doar o opțiune tehnologică, ci o veritabilă reproiectare structurală a sistemului de instruire și management documentar.

6.4. Concluzii

Cercetarea din acest capitol a avut ca obiectiv analiza aprofundată a procesului de instruire în domeniul SSM din industria transportului rutier, prin aplicarea Metodei Analizei Rezonanței Funcționale.

Un rezultat esențial al cercetării constă în demonstrarea faptului că sistemul tradițional de instruire SSM este fragil din punct de vedere structural. Ajustările punctuale nu pot elimina vulnerabilitățile fundamentale, deoarece acestea sunt generate de însăși arhitectura procesului.

Din perspectivă teoretică, contribuția majoră a lucrării constă în aplicarea sistematică a metodei FRAM într-un domeniu insuficient explorat – instruirea SSM în transportul rutier – și în demonstrarea utilității acesteia ca instrument strategic de proiectare organizațională, nu doar de analiză a incidentelor.

Din perspectivă practică, cercetarea oferă un model aplicabil companiilor de transport rutier care doresc să își modernizeze sistemul SSM. Implementarea unei platforme digitale integrate conduce la: reducerea riscului de sancțiuni; optimizarea timpului alocat activităților administrative;creșterea transparenței și a trasabilității; îmbunătățirea calității instruirii; consolidarea culturii organizaționale orientate spre prevenție.

În concluzie, analiza comparativă realizată demonstrează că procesul tradițional de instruire SSM, bazat pe documente pe suport fizic și pe intervenții manuale, prezintă limite structurale semnificative, care favorizează apariția rezonanțelor funcționale negative. Astfel, teza validează ipoteza conform căreia integrarea

digitală a proceselor de instruire SSM reduce variabilitatea negativă, consolidează trasabilitatea și transformă sistemul într-unul adaptiv, robust și orientat spre performanță sustenabilă.

Capitolul 7. Contribuţii privind evaluarea eficienței instruirii SSM în trei companii de transport rutier în care s-a implementat platforma digitală integrată

În acest capitol, modelul Kirkpatrick este aplicat comparativ în trei companii de transport rutier cu profiluri organizaționale diferite: Compania A - o companie mare de logistică internațională, cu aproximativ 1200 de angajați, Compania B - un operator de transport regional de persoane, cu circa 250 de angajați, și Compania C - o firmă mică de transport marfă pe distanțe scurte, cu 40 de angajați. Această selecție permite evaluarea eficienței platformei digitale integrate în contexte variate, de la organizații complexe, multi-sit și multi-naționale, până la microîntreprinderi cu resurse limitate. Analiza comparativă oferă astfel o perspectivă clară asupra scalabilității, adaptabilității și impactului real al instruirii digitale SSM în transportul rutier.

7.1. Fundamentarea aplicării Modelului Kirkpatrick pentru evaluarea eficienței platformei digitale de instruire SSM în transportul rutier

Modelul Kirkpatrick a fost adaptat unor multiple contexte tehnologice și culturale, inclusiv instruiri e-learning, programe de dezvoltare a leadershipului, traininguri VR/AR, dar și domenii tehnice, cum este securitatea și sănătatea în muncă. Aplicarea modelului Kirkpatrick în cercetările efectuate în această lucrare de doctorat este justificată printr-o serie de rațiuni care reflectă atât complexitatea procesului de instruire în domeniul securității și sănătății în muncă, cât și necesitatea unei evaluări obiective a efectelor platformei digitale implementate.

7.2. Metodologia aplicată în evaluare

Evaluarea platformei s-a realizat printr-un proces etapizat, care acoperă toate cele patru niveluri ale modelului Kirkpatrick, utilizând instrumente de cercetare combinate: chestionare, teste online, interviuri, observații și analize de date organizaționale. Pentru a asigura consistența analizei, evaluarea a fost derulată pe o perioadă extinsă, care a cuprins două faze distincte: o etapă pre-intervenție, de 12 luni, în care s-au colectat datele de referință, și o etapă post-intervenție, cu o durată de 24 de luni.

Tabelul 7.1 Corelația dintre nivelurile modelului Kirkpatrick și indicatorii platformei digitale

Nivel Kirkpatrick	Indicatori măsurați în platformă / organizație	Sursa datelor	Frecvență
1. Reacție	Satisfacție, utilitate percepută, interactivitate, grad de implicare	Chestionare online	După fiecare modul
2. Învățare	Scoruri test, progres module, rată finalizare, performanță VR	Platforma digitală	Automat
3. Comportament	Utilizare EIP, pauze respectate, condus preventiv, verificări zilnice	Observații, KPI manageri	Lunar
4. Rezultate	Număr accidente, zile pierdute, amenzi, conformitate 100%	Rapoarte SSM, HR, audit	Trimestrial

Prin includerea tuturor celor patru niveluri ale modelului Kirkpatrick, evaluarea oferă o perspectivă completă asupra eficienței platformei: de la reacția cursanților, la consolidarea comportamentelor sigure și, în final, la îmbunătățirea performanței organizaționale.

7.3. Nivel 1 – Satisfacția cursanților

Pentru măsurarea satisfacției în cele trei companii analizate, platforma digitală a utilizat un chestionar standardizat aplicat la finalul fiecărui modul. Chestionarul a conținut întrebări pe o scală Likert (1 = „deloc satisfăcut”, 5 = „foarte satisfăcut”), grupate pe următoarele dimensiuni:

1. Relevanța conținutului („Informațiile au fost utile pentru activitatea mea”).
2. Claritatea prezentării („Materialele au fost ușor de înțeles”).

3. Interactivitatea („Mi-au plăcut modul de prezentare și exercițiile”).
4. Flexibilitatea („Am putut accesa instruirea atunci când am avut timp”).
5. Utilitatea percepută („Consider că ceea ce am învățat îmi va fi de folos”).

Datele au fost colectate electronic și analizate statistic pentru a identifica tendințele generale și diferențele între companiile A, B și C. Comparând cele trei companii, observăm câteva tendințe clare (tabelul 7.3).

Tabelul 7.3. Rezultate comparative

Companie	Satisfacție instruire tradițională	Satisfacție instruire digitală	Creștere %
A (mare)	58%	92%	+34%
B (medie)	65%	88%	+23%
C (mică)	55%	95%	+40%

Astfel, nivelul 1 al Modelului Kirkpatrick confirmă că platforma digitală a generat un **salt calitativ major în percepția angajaților** asupra instruirii SSM.

7.4. Nivel 2 – Cunoștințele dobândite

Al doilea nivel din modelul Kirkpatrick este centrat pe măsurarea învățării efective care a avut loc în urma instruirii. Platforma digitală propusă integrează două mecanisme de evaluare a învățării:

1. teste online standardizate (cu feedback imediat),
2. simulări VR și scenarii interactive, care măsoară capacitatea de aplicare a cunoștințelor.
3. Comparând cele trei companii, observăm câteva tendințe clare prezentate în tabelul 7.5.

Tabelul 7.5. Rezultate comparative

Companie	Scor mediu tradițional	Scor mediu digital	Creștere %	Rată promovare digitală
A (mare)	58%	78%	+20%	85%
B (medie)	72%	83%	+11%	92%
C (mică)	40%	80%	+40%	95%

Rezultatele confirmă ipoteza teoretică: satisfacția crescută (nivelul 1) a creat premise favorabile pentru învățarea efectivă (nivelul 2). Atunci când angajații au perceput instruirea ca fiind relevantă și flexibilă, implicarea a crescut, iar scorurile la evaluări au urmat aceeași tendință.

7.5. Nivel 3 – Schimbarea comportamentului

Al treilea nivel al modelului Kirkpatrick răspunde la întrebarea*: „Aplică participanții ceea ce au învățat?”*. Dacă nivelul 1 (satisfacția) și nivelul 2 (cunoștințele dobândite) se pot măsura imediat după instruire, schimbarea comportamentului necesită o perioadă de observație, pentru a vedea dacă angajații își modifică efectiv modul de lucru. Pentru cele trei companii analizate, schimbarea comportamentului (tabelul 7.6.) a fost măsurată printr-o combinație de:

1. *Observații directe ale managerilor/supervizor/responsabil SSM* (checklisturi).
2. *KPI (indicatori de performanță) organizaționali* (numărul de incidente raportate, respectarea verificărilor obligatorii, utilizarea echipamentelor).
3. *Compararea datelor înainte și după introducerea platformei*

În companiile mari (A), schimbarea comportamentului este mai greu de obținut, dar impactul numeric este foarte mare. În companiile medii (B), comportamentele critice (evacuare pasageri) au fost mult îmbunătățite, ceea ce reduce riscul de incidente grave. În companiile mici (C), schimbarea a fost rapidă și spectaculoasă, datorită relației directe manager-lucrător (tabelul 7.8.).

Analiza celor trei companii arată că platforma digitală: determină creșteri semnificative ale comportamentelor corecte, reduce abaterile (nerespectarea EIP, verificări incomplete, erori de procedură), stimulează raportarea proactivă a riscurilor. Astfel, instruirea digitală nu se oprește la nivelul de „cunoștințe teoretice”, ci produce schimbări observabile și măsurabile în comportamentul angajaților, ceea ce reprezintă fundamentul pentru atingerea nivelului 4, rezultatele organizaționale.

Tabelul 7.8. Sinteza rezultatelor

Companie	Comportament observat	Rezultat înainte de implementarea platformei	Rezultat după implementarea platformei	Schimbare
A (mare)	Respectare EIP, reacție în urgențe	65% conformitate EIP	90% conformitate EIP	+25%

B (medie)	Proceduri evacuare pasageri	60% aplicare corectă	85% aplicare corectă	+25%
C (mică)	Verificări zilnice vehicule	40% verificări corecte	85% verificări corecte	+45%

7.6. Nivel 4 – Rezultatele organizaționale

Nivelul 4 al modelului Kirkpatrick răspunde la întrebarea: „Ce beneficii concrete are instruirea asupra organizației?”. Cele trei companii implicate în evaluarea platformei digitale de instruire SSM au evidențiat, prin rezultate concrete, eficiența și adaptabilitatea sistemului la nevoile și particularitățile fiecărui tip de organizație. Deși punctul de plecare și nivelul de maturitate în domeniul securității și sănătății în muncă au fost diferite, toate cele trei companii au demonstrat îmbunătățiri semnificative, atât în planul siguranței, cât și al performanței operaționale.Analiza comparativă a rezultatelor nivelului 4 pentru cele trei companii este redată în tabelul 7.9.

Tabelul 7.9. Sinteza rezultatelor

Companie	Conformitate	Accidente (pe an)	Absențe (%)	Amenzi	Productivitate
A (mare)	100%	30 → 24 (-20%)	5,2 → 3,9	0	+8%
B (medie)	100%	-15% incidente	4,8 → 3,9	0	+6%
C (mică)	100%	6 → 0 (-100%)	6 → 2	0	+12%

Astfel, nivelul 4 confirmă pe deplin valoarea strategică a platformei digitale: aceasta nu este doar un instrument de instruire, ci un mecanism de management organizațional al riscului și performanței.

7.7.Concluzii

Prin analiza Kirkpatrick, s-a demonstrat că intervenția tehnologică nu se limitează la eficientizarea instruirii, ci generează efecte sistemice, măsurabile pe termen lung. Aplicarea modelului Kirkpatrick în cele trei companii demonstrează că digitalizarea instruirii în SSM transformă modul în care organizațiile înțeleg, practică și măsoară siguranța. Platforma nu este doar un instrument informatic, ci un catalizator de schimbare culturală și organizațională, capabil să producă îmbunătățiri reale și durabile.

Rezultatele cantitative – reducerea accidentelor, creșterea productivității și conformității – sunt dublate de efecte calitative, precum creșterea încrederii angajaților, asumarea responsabilității și apariția unei culturi a învățării continue.Astfel, modelul Kirkpatrick aplicat în context digital oferă un cadru valid și replicabil pentru evaluarea instruirii în domeniul transportului rutier, confirmând că platforma dezvoltată în cadrul tezei îndeplinește criteriile de noutate, aplicabilitate practică și valoare științifică, contribuind la dezvoltarea conceptului de Safety 4.0 – o abordare inteligentă, integrată și sustenabilă a securității și sănătății în muncă.

Capitolul 8. Contribuţii privind elaborarea şi validarea unui cadru hibrid FRAM-Kirkpatrick pentru evaluarea eficacității instruirii digitale în domeniul SSM în sisteme socio-tehnice complexe

8.1. Introducere

Pentru a demonstra că eficacitatea instruirii în sisteme socio-tehnice complexe nu poate fi evaluată în mod semnificativ fără o perspectivă sistemică, doctorandul propune Cadrul FRAM-Kirkpatrick, ce integrează Metoda de Analiză a Rezonanței Funcționale (FRAM) cu modelul de evaluare a instruirii Kirkpatrick.

8.2. Instruirea digitală în sisteme socio-tehnice complexe

În cadrul FRAM, fiecare funcție este caracterizată de șase aspecte fundamentale (*Intrări*, *Rezultate*, *Precondiții*, *Resurse*, *Control* și *Timp*). Riscurile apar atunci când variabilitatea mai multor funcții se combină și se amplifică, generând rezonanță funcțională negativă.

Modelul Kirkpatrick este unul dintre cele mai utilizate cadre pentru evaluarea eficacității formării, este format din patru niveluri: Nivelul 1 (L1) - răspunsul participanților, Nivelul 2 (L2) - învățare, Nivelul 3 (L3) - schimbare comportamentală și Nivelul 4 (L4) - rezultate organizaționale.

8.3.Elaborarea cadrului hibrid FRAM-Kirkpatrick

Studiul adoptă un design de tip mixt, combinând analiza funcțională FRAM, evaluarea cantitativă a instruirii folosind modelul Kirkpatrick și analiza comparativă pre-intervenție și post-intervenție. Cadrul propus este organizat într-un ciclu iterativ de evaluare și optimizare, în care instruirea digitală, analiza funcțională FRAM și evaluarea empirică Kirkpatrick sunt interconectate într-o relație bidirecțională.

Funcțiile FRAM sunt identificate printr-o analiză complexă a proceselor operaționale, interviuri cu experți în SSM, documentație procedurală, observații ale activității reale (lucrări efectuate). Exemple de funcții sunt: „Conducerea în siguranță", „Gestionarea oboselii", „Respectarea procedurilor de SSM". Fiecare funcție f este descrisă prin setul:

$$f = \{ I , O , P , R , C , T \} \quad (8.1)$$

unde: I = *Intrări*, O = *Rezultate*, P = *Precondiții*, R = *Resurse*, C = *Control*, T = *Timp*

Variabilitatea totală V_f a unei funcții FRAM este calculată ca:

$$V_f = \sum_{i=1}^{n} wi \, \Delta Pi \quad (8.2)$$

unde: ΔPi = variația parametrului funcțional i; wi = ponderea parametrului funcțional i.

Această formulă permite atât comparația înainte/după instruire, cât și analiza efectului instruirii asupra stabilității funcționale. Integrarea celor două modele se realizează prin corelarea nivelurilor de evaluare Kirkpatrick cu elementele structurale ale unei funcții FRAM. Această mapare permite asocierea indicatorilor de evaluare a instruirii cu surse de variabilitate funcțională (Tabelul 8.1.).

Tabelul 8.1. Corelația nivelurilor Kirkpatrick cu componentele FRAM

Nivelul Kirkpatrick	**Obiectiv de evaluare**	**Componentă FRAM**	**Indicatori asociați**
Nivelul 1 - Reacție	Acceptarea instruirii	*Precondiții*	Indicele de satisfacție, utilitatea percepută
Nivelul 2 - Învățare	Dobândirea de cunoștințe	*Resurse* / *Control*	Reținerea cunoștințelor, scorurile la teste
Nivelul 3 - Comportament	Transfer în practică	*Rezultate*	Schimbarea comportamentului
Nivelul 4 - Rezultate	Impact sistemic	*Rezonanță funcțională*	Performanța sistemului

Prin corelarea sistematică a nivelurilor Kirkpatrick cu componentele FRAM, cadrul propus permite cuantificarea efectului instruirii asupra variabilității funcționale. Indicatorii Kirkpatrick devin variabile de intrare pentru recalcularea variabilității funcțiilor FRAM, iar modificările observate pot fi exprimate numeric prin indicele de variabilitate totală V_f.

8.4. Studiu de caz - aplicarea cadrului hibrid FRAM–Kirkpatrick în transportul rutier

8.4.1. Proiectarea analizei cantitative și ipotezele de lucru

În acest studiu, eficiența instruirii a fost operaționalizată ca un indicator compozit derivat din Nivelurile Kirkpatrick 2 (Învățare) și 3 (Comportament). [K02, B02] În timp ce Nivelurile 2 și 3 reflectă efectele directe ale instruirii asupra dobândirii de cunoștințe și a schimbării comportamentale, Nivelul 4 reprezintă un rezultat organizațional influențat de mai mulți factori contextuali. În consecință, Nivelul 4 a fost utilizat pentru a valida impactul sistemic al instruirii prin reducerile observate ale variabilității funcționale și ale evenimentelor de siguranță.

8.4.2. Descrierea sistemului socio-tehnic analizat

Analiza cantitativă a Cadrului FRAM-Kirkpatrick a fost realizată printr-un studiu de caz multiplu aplicat în trei companii de transport rutier de mărfuri. Organizațiile au fost selectate pe baza unor criterii comune, inclusiv operarea unei flote de peste 50 de vehicule grele, desfășurarea de activități de transport internațional pe distanțe lungi, implementarea unui program de formare digitală în domeniul securității și sănătății în muncă și disponibilitatea datelor operaționale relevante pentru siguranță.

8.4.3. Descrierea intervenției: instruire digitală în domeniul SSM

Pentru fiecare companie, a fost construit un model FRAM al activității de conducere în siguranță, incluzând funcții precum: F1 - Planificarea călătoriei; F2 - Conducerea vehiculului; F3 - Gestionarea oboselii; F4 - Respectarea procedurilor SSM; F5 - Reacția la situații neprevăzute. Fiecare funcție a fost descrisă prin cele șase aspecte FRAM, iar variabilitatea parametrilor a fost estimată prin date telematice, rapoarte SSM, observații operaționale, opinie experți.

8.4.4. Evaluarea instruirii – Date Kirkpatrick L2 și L3

Figura 8.1 și Tabelul 8.2 sintetizează valorile medii pre- și post-instruire, care au fost ulterior utilizate ca variabile de intrare în analiza cantitativă din cadrul FRAM-Kirkpatrick. Evaluarea L2 a fost realizată prin intermediul testelor digitale standardizate, integrate în platforma de instruire utilizată de companiile participante.

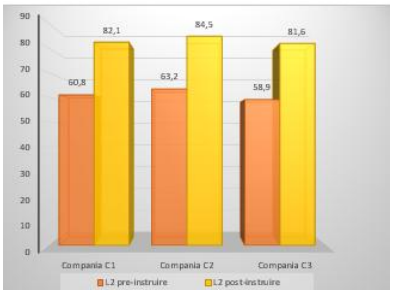


Fig. 8.1. Valorile medii pentru L2 pre- și post- instruire

Evaluarea L3 s-a bazat pe indicatori operaționali obiectivi, extrași din sistemele telematice și rapoartele interne de sănătate și securitate în muncă. Figura 8.2 și Tabelul 8.3 prezintă valorile comparative pre- și post-instruire utilizate în analiza cantitativă ulterioară în cadrul Cadrului FRAM-Kirkpatrick.

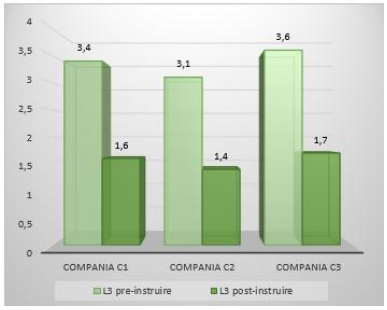


Fig. 8.2. Valori comparative ale L3 pre- și post- instruire

8.4.5. Calcularea eficienței instruirii

Eficacitatea instruirii a fost calculată prin definirea unui indicator compozit Et, care integrează rezultatele nivelurilor Kirkpatrick L2 (Învățare) și L3 (Comportament), conform relației:

$$Et = 0{,}5 \cdot L2 + 0{,}5 \cdot L3 \tag{8.5}$$

Pentru L3 am transformat deviațiile într-un scor pozitiv și am ales valoarea de referință pentru pragul maxim acceptat.

$$D_{max} = \max(D_{pre}, D_{post}) \tag{8.8}$$

Pentru evaluarea Nivelului 3 (Comportament) Kirkpatrick, deviațiile comportamentale relevante pentru siguranță au fost cuantificate ca număr mediu de evenimente de abatere per șofer pe lună, derivate din datele telematice și rapoartele interne de SSM. În acest scop, o limită superioară empirică D_{max} a fost definită ca valoarea maximă a deviației observate în toate companiile și perioadele de observație. Scorul comportamental normalizat a fost apoi calculat ca:

$$L3_{norm} = 1 - \frac{D}{D_{max}} \tag{8.9}$$

asigurându-se că valorile mai mari corespund unei performanțe comportamentale mai sigure.

Tabelul 8.5 prezintă valorile agregate ale eficienței instruirii calculate pentru fiecare companie participantă.

Tabelul 8.5 Eficiența instruirii pe companii

Companie	$L2_{norm}$	$L3_{norm}$	Et
C1	0,821	0,556	**0,689**
C2	0,845	0,611	**0,728**
C3	0,816	0,528	**0,672**

Valoarea ridicată a lui Et indică faptul că instruirea a produs atât învățare, cât și schimbare comportamentală semnificativă.

8.4.6. Variabilitatea funcțională FRAM

Tabelul 8.6 prezintă valorile variațiilor parametrilor FRAM pentru perioada pre- și post-instruire, împreună cu ponderile asociate acestora. Compararea valorilor ΔPi^{pre} și ΔPi^{post} a permis calcularea variabilității funcționale agregate, rezultând o reducere de la Vf^{pre}=0.391 la Vf^{post}=0.215. Diferența ΔVf=0.176 exprimă o diminuare semnificativă a variabilității nedorite a funcției analizate, valoare utilizată ulterior pentru corelarea cu indicatorii de eficiență ai instruirii în cadrul FRAM - Kirkpatrick Framework.

Tabelul 8.6 Variabilitate FRAM (medii agregate)

Parametrii FRAM	**w_i**	**ΔP_i^{pre}**	**ΔP_i^{post}**
Timp	0,25	0,34	0,19
Resurse	0,15	0,30	0,15
Control	0,25	0,46	0,23
Precondiții	0,20	0,38	0,26
Rezultate	0,15	0,47	0,25

8.4.7. Corelarea eficienței instruirii cu performanța sistemului

Eficiența instruirii a fost exprimată prin indicatorul compozit Et, calculat pe baza nivelurilor Kirkpatrick L2 și L3. Performanța sistemului a fost reprezentată prin variația variabilității funcționale ΔVf, obținută din analiza FRAM. Pentru a evalua relația dintre aceste două variabile, a fost calculat coeficientul de corelație Pearson, definit prin relația:

$$r(E_t, \Delta V_f) = \frac{\sum(E_t - \bar{E}_t)(\Delta V_f - \overline{\Delta V}_f)}{\sqrt{\sum(E_t - \bar{E}_t)^2 \sum(\Delta V_f - \overline{\Delta V}_f)^2}} \quad (8.15)$$

Coeficientul rezultat, r(Et,ΔVf)=0,71, indică o asociere pozitivă puternică între eficiența instruirii și reducerea variabilității funcționale, valoare utilizată ulterior în analiza integrată a cadrului de lucru FRAM-Kirkpatrick.

8.4.8. Corelarea variabilității funcționale cu rezultatele organizaționale (L4)

Pentru a extinde analiza la nivelul rezultatelor organizaționale, a fost evaluată relația dintre reducerea variabilității funcționale ΔVf și modificările indicatorilor de rezultat Kirkpatrick L4.

În acest caz, a fost utilizat și coeficientul de corelație Pearson, conform relației:

$$r(\Delta V_f, \Delta L4) = \frac{\sum(\Delta V_f - \overline{\Delta V_f})(\Delta L_4 - \overline{\Delta L_4})}{\sqrt{\sum(\Delta V_f - \overline{\Delta V_f})^2 \sum(\Delta L_4 - \overline{\Delta L_4})^2}} \quad (8.17)$$

Valoarea obținută, $r(\Delta V_f, \Delta L4)$=0,58, reflectă o asociere moderată între stabilizarea performanței funcționale și îmbunătățirea rezultatelor organizaționale. Această corelație susține utilizarea variabilității funcționale FRAM ca variabilă intermediară între eficacitatea instruirii și rezultatele siguranței la nivel de sistem.

8.5. Rezultate și discuții

Rezultatele analizei FRAM evidențiază o reducere substanțială a variabilității funcționale a funcției critice analizate după implementarea instruirii digital. Valoarea agregată a variabilității funcționale a scăzut de la V_f^{pre}=0,391 (în perioada pre-intervenție) la V_f^{post}=0,215 (în perioada post-intervenție), corespunzând unei reduceri relative de 45%. Această scădere reflectă scăderea amplitudinii variațiilor asociate parametrilor FRAM cu un impact major asupra siguranței.

Rezultatele prezentate în figura 8.3 evidențiază o reducere clară și consistentă a frecvenței evenimentelor nesigure per șofer și per lună după implementarea instruirii digitale pentru toate cele trei companii.

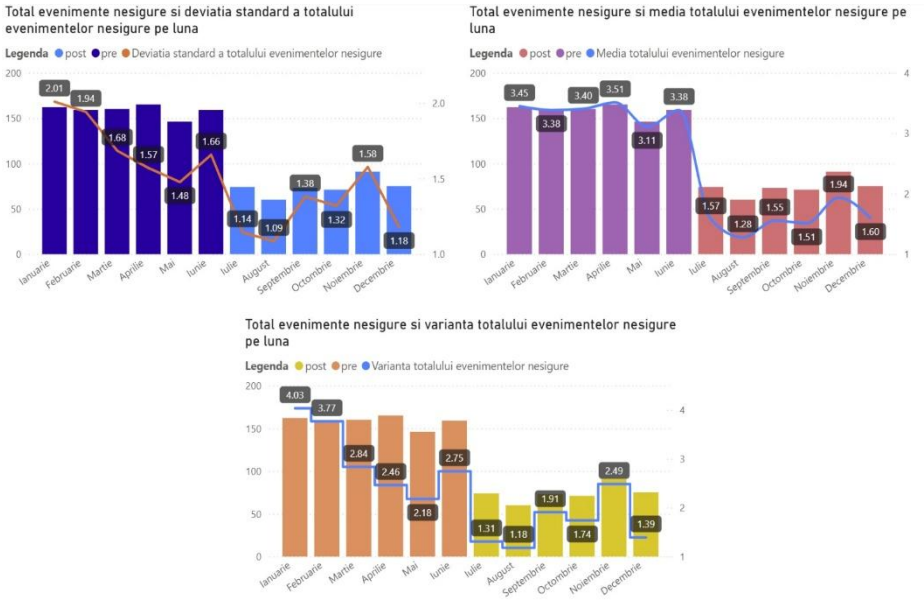


Fig.8.3. Distribuția evenimentelor nesigure per șofer per lună înainte și după instruirea digitală

O contribuție importantă este validarea empirică a utilizării FRAM ca instrument de evaluare a intervențiilor, nu doar ca metodă explicativă pentru accidente. Prin introducerea unor indicatori cantitativi ai variabilității și corelarea acestora cu rezultatele evaluării instruirii, studiul demonstrează că FRAM poate fi utilizat într-o manieră riguroasă și clară pentru a analiza impactul intervențiilor organizaționale, inclusiv al instruirii digitale.

Capitolul 9. Concluzii finale şi contribuţii principale la dezvoltarea unui sistem integrat de planificare şi optimizare a proceselor operaţionale şi monitorizare a componentelor sistemului de muncă

9.1. Concluzii finale

Principalele concluzii referitoare la activitatea de cercetare-dezvoltare desfășurată în cadrul doctoratului, în vederea îndeplinirii obiectivului central, și corelate cu reperele metodologice utilizate, sunt prezentate în continuare.

○ Dezvoltarea unui sistem integrat de planificare și optimizare, corelat cu monitorizarea continuă a componentelor sistemului de muncă, are potențialul de a genera contribuții originale atât la nivel teoretic, prin extinderea modelelor existente, cât și la nivel practic, prin aplicabilitatea directă în organizații industriale sau de servicii.

○ SSM Online reprezintă o platformă web integrată destinată gestionării activităților de Securitate și Sănătate în Muncă, SU, PM și Resurse Umane. Sistemul a fost creat pentru a da o soluție unitară și scalabilă, capabilă să răspundă cerințelor organizațiilor de orice dimensiune, inclusiv celor cu structură multi-site, multi-user și multi-lingual.

○ Unul dintre cele mai însemnate beneficii ale sistemului integrat de optimizare a proceselor operaţionale şi monitorizare a componentelor sistemului de muncă este eliminarea dependenței de documentele fizice și de munca administrativă repetitivă.

○ Procesele de instruire în domeniul SSM sunt, prin natura lor, expuse unui nivel ridicat de variabilitate funcțională.Modelarea prin FRAM permite identificarea nodurilor critice unde pot apărea variații care, propagându-se în sistem, afectează performanța organizațională, conformitatea legală și siguranța lucrătorilor (v. § 6.1.5).

○ Analiza FRAM confirmă că platforma digitală integrată propusă nu este doar o soluție tehnologică, ci o reproiectare de bază a procesului de instruire SSM, care transformă un sistem fragil și vulnerabil într-un sistem robust, adaptiv și rezilient (v. § 6.2.2).

○ Aplicarea modelului Kirkpatrick în evaluarea platformei digitale de instruire SSM a demonstrat că digitalizarea nu este doar o modificare de formă, ci o transformare de fond. Cele patru niveluri ale modelului

au oferit o perspectivă completă asupra impactului, de la percepția lucrătorilor până la rezultate organizaționale măsurabile, confirmând eficiența, scalabilitatea și sustenabilitatea platformei. (v. § 7.4).

- Prin integrarea evaluării instruirii cu analiza funcțională a sistemului, cadrul hibrid FRAM-Kirkpatrick depășește abordările liniare clasice ale evaluării instruirii. Acesta permite validarea empirică a intervențiilor FRAM și oferă suport decizional pentru proiectarea instruirii digitale orientate spre siguranță (v. § 8.7)

Într-un moment în care transformarea digitală nu mai este o opțiune, ci o nevoie esențială, implementarea unei platforme precum SSM Online reprezintă un pas firesc pentru orice organizație care dorește să își gestioneze eficient activitățile din domeniul securității și sănătății în muncă, situațiilor de urgență, RSVTI și Mediu. Dincolo de funcționalități tehnice, această platformă schimbă modul în care sunt privite și administrate procesele interne, aducând mai multă claritate, ordine și control.

9.2. Contribuţii personale

În procesul de realizare a obiectivului central al cercetării doctorale, teza de față formulează mai multe contribuții științifice, dintre care cele mai semnificative sunt evidențiate în cele ce urmează.

- Conceperea, dezvoltarea și validarea unei platforme web integrată destinată gestionării activităților de SSM; platforma are ca obiectiv principal digitalizarea proceselor de conformare și management operațional în domeniile SSM, SU, PM și HR, facilitând colaborarea între toți actorii implicați: angajatori, angajați, specialiști interni, consultanți externi și autorități de control.
- SSM Online reprezintă un ecosistem digital de ultimă generație care îmbină instruirea în domeniul SSM, telematica, învățarea imersivă, conformitatea automatizată și datele operaționale în timp real.
- Integrarea semnăturii digitale este un pas important către modernizare și conformitate. Posibilitatea de a semna documentele direct în platformă simplifică mult procesul și elimină necesitatea unor proceduri suplimentare.
- Componenta de raportare și monitorizare aduce un plus de transparență și control managerial. Dashboard-urile și statisticile oferă o imagine clară asupra progresului, a gradului de conformitate și a eventualelor întârzieri. Astfel, managementul poate avea o perspectivă de ansamblu, iar deciziile pot fi fundamentate pe date concrete, nu doar pe estimări.
- Arhivarea electronică securizată oferă liniștea că documentele sunt ţinute în condiții sigure și pot fi consultate oricând este necesar. Backup-urile și măsurile de securitate protejează informațiile sensibile și contribuie la respectarea normelor privind protecția datelor.
- Automatizarea notificărilor și a alertelor pentru termene limită sau neconformități reduce semnificativ riscul de omisiuni. Sistemul „amintește” utilizatorilor ce au de făcut, contribuind la menținerea disciplinei procedurale.
- Utilizarea metodei FRAM pentru a evidenția vulnerabilitățile procesului tradițional de instruire SSM din industria transportului rutier, unde instruirile se realizează, în majoritatea cazurilor, față-în-față, iar documentația aferentă se păstrează exclusiv pe suport de hârtie.
- O transformare fundamentală adusă de platformă este modul de predare. În loc de sesiuni față-în-față cu prezență variabilă, lucrătorii beneficiază de module online și simulări VR.
- Planificarea instruirilor nu mai depinde exclusiv de responsabilul SSM, ci este gestionată de un motor software care integrează cerințele legale, profilurile angajaților și istoricul instruirilor.
- Realizarea unei sinteze comparativă FRAM: proces tradițional vs. proces digital integrat.
- Evaluarea eficienței instruirii SSM în trei companii de transport rutier care utilizează platforma digitală integrată, folosind modelul lui Donald Kirkpatrick, recunoscut pe plan internațional drept unul dintre cele mai utilizate cadre conceptuale pentru analiza eficienței programelor de instruire.
- Pentru măsurarea satisfacției în cele trei companii analizate, platforma digitală a utilizat un chestionar standardizat aplicat la finalul fiecărui modul. Chestionarul a conținut întrebări pe o scală Likert (1 = „deloc satisfăcut”, 5 = „foarte satisfăcut”).
- Modelul Kirkpatrick aplicat în context digital oferă un cadru valid și replicabil pentru evaluarea instruirii în domeniul transportului rutier, confirmând că platforma dezvoltată în cadrul tezei îndeplinește criteriile de noutate, aplicabilitate practică și valoare științifică.
- A fost dezvoltat și aplicat Cadrul FRAM–Kirkpatrick, un cadru hibrid care integrează Metoda de Analiză a Rezonanței Funcționale cu modelul Kirkpatrick de evaluare a formării.

- O contribuție importantă este validarea empirică a utilizării FRAM ca instrument de evaluare a intervențiilor, prin introducerea unor indicatori cantitativi ai variabilității și corelarea acestora cu rezultatele evaluării instruirii.
- Prin conectarea instruirii la structura funcțională a muncii reale, cadrul propus ajută la depășirea abordărilor orientate exclusiv spre conformitate și susține managementul proactiv și adaptiv al siguranței.

* * *

Această teză de doctorat, prin tematica sa, felul în care este tratată şi concluziile obţinute, crează un cadru conceptual propriu care integrează performanța operațională, ergonomia și prevenirea riscurilor profesionale într-un sistem unitar de optimizare. SSM Online este propus ca o platformă inteligentă, cloud-nativă și complet integrată, concepută pentru a automatiza procesele de lucru, a sprijini monitorizarea conformității în timp real și a oferi trasabilitate completă a acțiunilor și responsabilităților.

Insemnătatea ştiinţifică a tezei de doctorat este menţinută la un nivel înalt de transformările inovatoare aduse la eficientizarea şi automatizarea proceselor de SSM, SU, RSVTI si HR, reducerea riscului de accidentare la locul de muncă prin planificare riguroasă, verificări periodice şi monitorizare proactive, creşterea trasabilităţii, responsabilităţii şi transparenţei printr-o platformă digitală completă şi adaptabilă.

Caracterul practic al acestei teze de doctorat constă în faptul că platforma digitală propusă, SSM Online, poate fi adaptată și implementată în diverse domenii de activitate, precum industrie, servicii sau administrație publică. Impactul său constă în creșterea competitivității organizațiilor și în îmbunătățirea condițiilor de muncă.

9.3. Perspective

În acord cu principiile Industriei 5.0, cercetările viitoare pot aprofunda dimensiunea uman-centrică a platformei dezvoltate, prin integrarea unor mecanisme de personalizare adaptivă a interfeței și a fluxurilor informaționale. O altă direcție de cercetare o poate reprezenta integrarea platformei SSM cu indicatori de sustenabilitate și performanță ESG. Nu în ultimul rând, o direcție strategică de cercetare vizează analiza rezilienței sistemului digital dezvoltat în raport cu perturbări majore (crize sanitare, blocaje logistice, modificări legislative). Evaluarea capacității platformei de a susține continuitatea operațională și de a adapta rapid procesele interne la schimbări externe reprezintă un element esențial în tranziția către organizații inteligente și reziliente, conform viziunii Industry 5.0.

În concluzie, cercetările viitoare pot extinde rezultatele prezentei teze prin integrarea tehnologiilor emergente, aprofundarea dimensiunii uman-centrice și dezvoltarea unor modele predictive și multi-criteriale, contribuind la transformarea sistemelor de securitate și sănătate în muncă din transportul rutier într-un pilon strategic al performanței organizaționale sustenabile.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVA

[A01] Almeida, F., Santos, J. D., Monteiro, J. A. (2022), The challenges and opportunities in the digitalization of organizations: Cloud computing and collaborative platforms, Future Internet, 14(6).

[A02] Accou B, Reniers G (2019) Developing a method to improve safety management systems based on accident investigations: the SAfety FRactal ANalysis. Saf Sci 115:285–293.

[A12] Adjiski, V., Despodov, Z., Mirakovski, D. și Serafimovski, D. (2019). Arhitectura sistemului pentru a aduce echipamente inteligente de protecție personală, dispozitive portabile și senzori pentru a transforma siguranța la locul de muncă în industria minieră subterană. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 34*(1), 37-44.

[A20] Adochitei N., IACOB Andrei Ștefan, Mărgărita I. A., Bobocea M.G., Gheorghe M., Borda C., *The impact of digitalisation on health and safety in retail*, Fiabilitate si Durabilitate - Fiability & Durability No 1/ 2024 ,Editura "Academica Brâncuşi" , Târgu Jiu, ISSN 1844 – 640X, pp 212-218

[B01] Bates, R. (2004). A critical analysis of evaluation practice: The Kirkpatrick model and the principle of beneficence. *Evaluation and Program Planning*, *27*(3), 341-347.

[B05] Boylan, J., Meyer, D., Chen, W. S. (2024). A systematic review of the use of in-vehicle telematics in monitoring driving behaviours. *Accident Analysis & Prevention, 199*, 107519.

[B14] Badri, A., Boudreau-Trudel, B. și Souissi, A. S. (2018). Sănătatea și securitatea ocupațională în era industriei 4.0: Un motiv de îngrijorare majoră? *Știința siguranței, 109*, 403-411.

[B23] Bobocea M.G., Chivu O.R., Dediu E.C., Marinescu M., Butu L., IACOB Andrei Ștefan, *Development and implementation of a predictive model of accident risk on construction sites*, Annals of the „Constantin Brancusi" University of Targu Jiu, Engineering Series , No. 4/2025, [C03] Camden, M. C., Soccolich, S. A., Hickman, J. S., Hanowski, R. J. (2019). Reducing risky driving: Assessing the impacts of an automatically-assigned, targeted web-based instruction program. Journal of safety research, 70, 105-115.
[C06] Cagno, E., Masi, D., Leão, C. P. de Ambroggi, M. (2024). Digital solutions for workplace safety: an empirical study on manufacturing companies. Safety Science. 177, 106598.
[C10] Cocca, P., Marciano, F. și Alberti, M. (2016). Sisteme de supraveghere video pentru îmbunătățirea siguranței la locul de muncă: un studiu de caz. *Știința siguranței, 84*, 140-148.
C25] Cană A., Chivu O.R., IACOB Andrei Ștefan, Țepure Ș.T., Gheorghe M., Petrescu D., *Design of an assistance system for accident detection and prevention in automotive servicing: concept and architecture*, Annals of the „Constantin Brancusi" University of Târgul Jiu, Engineering Series, No. 4/2025
[C26] Ciobanu C.M., Chivu O.R., Cîrțînă L.M., IACOB Andrei Ștefan, Marinescu M., Butu L., *Cyber threats evolution in industrial environments and foundations of cybersecurity integration into risk management*, Annals of the „Constantin Brancusi" University of Targu Jiu, Engineering Series, No. 4/2025, pp 175 -182
[C27] Chivu O.R., IACOB Andrei Ștefan, Costoiu M., Trifu A., Moraru R., Gheorghe M., Digital Transformation of Occupational Safety and Health Processes in the Road Transport Industry: An Integrated Workforce Safety, Training, Compliance, and Vehicle Monitoring Digital Platform, Scientific Reports, Quartile 1
[D01] Desai, M., Phadke, A. (2017). Internet of Things based vehicle monitoring system. In 2017 fourteenth international conference on wireless and optical communications networks (WOCN)
[D07] Dodoo, J. E., Cao, Q., Xu, X., Dai, Y. (2024). Digital innovations for occupational safety and health: opportunities and challenges in the era of Industry 4.0. Workplace Safety. 72, 84-95.
[E02] European Commission (2022), Digitalisation of Transport – EU Strategy and Policy Framework, Publications Office of the European Union.
[E03] EU – European Union, "Council Directive of 12 June 1989 on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work (89/391/EEC) ", consolidated version as per 3/2008.
[E04] EU OSHA – European Agency for Safety and Health at Work, "Assessment, elimination and substantial reduction of occupational risks", prevention report, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg 2009
[E09] EU-OSHA – Agenția Europeană pentru Securitate și Sănătate în Muncă, *Inteligența artificială pentru managementul lucrătorilor: o prezentare* generală, 2022.
[E11] EU-OSHA – Agenția Europeană pentru Securitate și Sănătate în Muncă, *Infecția cu COVID-19 și covidul lung – ghid pentru lucrători*, (2021). https://osha.europa.eu/en/publications/covid-19-infection-and-long-covid-guide-workers
[G02] Guillen, M., Nielsen, J. P., Ayuso, M., Pérez-Marín, A. M. (2019). The use of telematics devices to improve automobile insurance rates. Risk analysis, 39(3), 662-672.
[G07] Ghid, C.: Campania "Locuri de muncă sigure și sănătoase" 2023-2025 Ghidul campaniei "Siguranță și sănătate"Muncă (2023). https://doi.org/10.2802/525935
[G09] Gheorghe M., Chivu O.R., Nițoi D., IACOB Andrei Ștefan, Borda C., Bobocea M.G., *Burnout as an occupational safety challenge in industry 4.0 context*, Manufacturing Science and Education 2025, ACTA TECHNICA NAPOCENSIS, Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering Vol. 68, Issue Special III, August, 2025, ISSN 1221-5872, pp 1081-1093,
[H01] Hollnagel, Erik. *FRAM: the functional resonance analysis method: modelling complex socio-technical systems*. Crc Press, 2017.
[H02] Hollnagel, Erik. *Safety-I and safety-II: the past and future of safety management*. CRC press, 2018.
[I01] Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B. (2019), The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. International Journal of Production Research, 57(3), 829–846.
[I05] **IACOB A. Ș.**, Gheorghe M., Borda C., Enache C., Marinescu M., Constantin R., Chivu O.R., *The Impact of Digitalization on Workers' Safety and Health*, Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering Vol. 68, Issue IV, November, 2025, ACTA TECHNICA NAPOCENSIS, pp. 1131-1138
[I06] **IACOB A.Ș.**, Moise A., Chivu O.R., Borda C., Luchian C., *Monitoring study of the work system aiming to reduce the risk of workplace injuries*, Fiabilitate si Durabilitate - Fiability & Durability No 1/ 2024 , Editura "Academica Brâncuşi", Târgu Jiu, ISSN 1844 – 640X, pp 168-174

[I07] **IACOB A.Ș.**, Chivu O.R., Trifu A., Bujor C., Moraru R., Enache I.C., *Human resources processes digitalization system based on RPA and IA technologies*, Annals of the „Constantin Brancusi" University of Targu Jiu, Engineering Series, No. 4/2025, pp195-210.
[I08] **IACOB A. Ș.**, Chivu O.R., Costoiu M., Trifu A., Moraru R., Adrian Bibiș A., *A hybrid FRAM-Kirkpatrick framework for evaluating OSH digital training effectiveness in complex socio-technical systems,* International Journal of Education and Information Technologies, 2026, în curs de indexare.
[I09] **IACOB A. Ș.**, Chivu O.R., Diță C., Nițoi D.F., Ghimiși Ș.S., *Digitization of occupational health and safety processes: design and implementation of an integrated software module,* Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering, ACTA TECHNICA NAPOCENSIS.
[I10] **IACOB A.Ș.**, Chivu O.R., Enache C., Merloi N., Bobocea M.G., Nitoi D., Trifu A., Gheorghe M., *Smart digital monitoring systems for occupational safety in smart manufacturing. Are they safe?* Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering, ACTA TECHNICA NAPOCENSIS
[K02] Kirkpatrick, D. L., Kirkpatrick, J. D. (2007). Implementing the four levels: A practical guide for effective evaluation of training programs. *Performance Improvement*, *46*(7), 8-13.
[K03] Kirkpatrick, J. D., Kirkpatrick, W. K. (2016). *Kirkpatrick's four levels of training evaluation*. ATD Press.
[K15] Kotianová, Z.: Impactul digitalizării asupra sănătății și securității la locul de muncă. Int. Sci. J. "Industria 4.0" 200 (5), 198–200 (2023)
[L01] Li, S., Xu, L. D., Zhao, S. (2015). The internet of things: a survey. Information systems frontiers, 17(2), 243-259.
[L17] Legea nr. 319/2006 a securității și sănătății în muncă,
[L21] Lenaerts, K., Waeyaert, W., Gillis, D., Smits, I., Hauben, H.: Lucrul pe platforme digitale șiSecuritate și sănătate în muncă: prezentare generală a reglementărilor, politicilor. (2022)
[M05] Mantouka, E. G., Barmpounakis, E. N., Vlahogianni, E. I. (2019). Identifying driving safety profiles from smartphone data using unsupervised learning. Safety Science, 119, 84-90.
[M09] Merloi N., Nițoi D.F., Țăpîrdea A., Mustață V., IACOB Andrei Ștefan, Tucă P., *Technological solutions for safe evacuation at cultural events in unconventional spaces: swift analysis and gps applications*, Fiabilitate si Durabilitate - Fiability & Durability No 1/ 2025, Editura "Academica Brâncuşi" , Târgu Jiu, ISSN 1844 – 640X,pp 182-189.
[M10] Moise A., IACOB Andrei Ștefan, Cană A., Țepure Ș., Bobocea M.G., Gheorghe M., *The current stage regarding the risks of accidents through surprising the shores*, Fiabilitate si Durabilitate - Fiability & Durability No 1/ 2024, Editura "Academica Brâncuşi", Târgu Jiu,
[P03] Priyadharshini, G., Ferni Ukrit, M. (2022). An empirical evaluation of importance-based feature selection methods for the driver identification task using OBD data. International Journal of System Assurance Engineering and Management, 1-12.
[P08] Polak-Sopinska A, Wisniewski Z, Walaszczyk A, Maczewska A, Sopinski P. Impactul industriei 4.0 asupra sănătății și securității ocupaționale. AHFE 2019.
[S08] Sestino, A., Prete, M. I., Piper, L., Guido, G. (2020), Internet of Things and Big Data as enablers for business digitalization strategies, Technovation, 98, 102–173.
[S11] Svertoka, E., Saafi, S., Rusu-Casandra, A., Burget, R., Marghescu, I., Hosek, J., et al.: Wear - ables for industrial work safety: a survey. Senzori 21(11), 1–25 (2021).
[T02] Tepe S. Impactul industriei 4.0 asupra sănătății și securității ocupaționale. Int J Adv Eng Pure Sci 2021;33:122-30
[T06] Trenerry, B., Chng, S., Wang, Y., Suhaila, Z.S., Lim, S.S., Lu, H.Y., et al.: Pregătirea locurilor de muncă pentru transformarea digitală: o revizuire integrativă și un cadru al factorilor pe mai multe niveluri. Front. Psihol. 12, 1–24 -2021
[W03] Winlaw, M., Steiner, S. H., MacKay, R. J., Hilal, A. R. (2019). Using telematics data to find risky driver behaviour. Accident Analysis and Prevention, 131, 131-136.
[W04] World Health Organization. (2019). Global status report on road safety 2018. World Health Organization