Rezumatul tezei de doctorat

Universitatea Babeș-Bolyai

Facultatea de Științe Economice și Gestiunea Afacerilor

Școala Doctorală de Științe Economice și Gestiunea Afacerilor

Doctorand: Andrei Chiș

Conducător de doctorat: Prof. Dr. Robert Andrei Buchmann

Cluj-Napoca, 2026

Universitatea Babeș-Bolyai

Facultatea de Științe Economice și Gestiunea Afacerilor

Școala Doctorală de Științe Economice și Gestiunea Afacerilor

Informatică economică

Metode de modelare ca suport pentru Model-Driven GraphRAG în structurarea și valorificarea cunoștințelor organizaționale

Doctorand: Andrei Chiș **Conducător de doctorat:** Prof. Dr. Robert Andrei Buchmann

Cluj-Napoca, 2026

Mulțumiri

Această teză nu ar fi fost posibilă fără sprijinul necondiționat al familiei și al mentorilor mei, care mi-au îndrumat parcursul academic încă de la început, când am scris primul meu articol științific, în urmă cu șapte ani.

Le mulțumesc părinților mei pentru sprijinul, dragostea și îndrumarea oferite. Încurajările lor au însemnat enorm pentru mine în fiecare zi, pe parcursul tuturor activităților academice și antreprenoriale pe care le-am desfășurat de-a lungul carierei.

Îi sunt deosebit de recunoscător conducătorului meu de doctorat, domnul Prof. univ. dr. Robert Buchmann, care a avut un rol esențial în formarea mea academică în ultimii șapte ani. A fost întotdeauna disponibil atunci când am avut nevoie de îndrumare sau de sprijin în cercetare și mi-a oferit libertatea de a-mi contura propria identitate de cercetător, explorând temele care m-au interesat cel mai mult în domeniul sistemelor informaționale și al informaticii economice.

Îi mulțumesc domnului Prof. univ. dr. Gheorghe Silaghi, membru al comisiei mele de îndrumare, pentru sprijinul acordat și pentru încrederea de a-mi încredința susținerea seminarelor la disciplinele sale.

Le mulțumesc doamnei Conf. univ. dr. Virginia Niculescu și domnului Conf. univ. dr. Adrian Sterca pentru participarea în comisia mea de îndrumare și pentru sfaturile valoroase oferite pe parcursul studiilor doctorale.

În încheiere, le adresez sincere mulțumiri tuturor membrilor personalului Facultății de Științe Economice și Gestiunea Afacerilor din cadrul Universității Babeș-Bolyai, care m-au sprijinit în diverse situații pe parcursul anilor de doctorat.

Rezumat

Această teză de doctorat propune conceptul de Model-Driven GraphRAG, reprezentând o contribuție metodologică în domeniul managementului cunoștințelor organizaționale. Contribuția are la bază un cadru de referință pentru dezvoltarea unor metode de modelare destinate captării, structurării și valorificării cunoștințelor la nivel enterprise, situat la intersecția dintre mediile tradiționale de modelare diagramatică și arhitecturile moderne de tip GraphRAG. Cadrul propus a fost instanțiat cu succes sub forma a două metode de modelare specifice unor domenii de aplicare și a unei metode generice de modelare a cunoștințelor. Din perspectiva procedurii de utilizare, această clasă de metode urmărește să susțină un proces operațional hibrid: (a) pe de o parte, să sprijine actorii cu un nivel mai redus de pregătire tehnică, oferindu-le un spațiu de proiectare diagramatică aliniat unor domenii de expertiză selectate; (b) pe de altă parte, să sprijine ingineria sistemelor de inteligență artificială prin integrarea reprezentării vizuale a cunoștințelor, orientată către utilizatorul uman, cu mecanisme GraphRAG orientate către procesarea automată, fundamentate pe cunoștințele captate prin modelare vizuală.

Domeniile de aplicare ale celor trei metode demonstrative instanțiate pe baza cadrului propus sunt: (a) managementul sistemelor de lucru, fundamentat pe Work System Framework, care oferă o conceptualizare specifică practicii, consacrată în științele managementului; (b) maparea amenințărilor cibernetice, printr-o abordare bazată pe BPMN, DFD și taxonomii ale amenințărilor și măsurilor de mitigare din domeniul securității cibernetice; și (c) managementul generic al grafurilor de cunoștințe, fundamentat pe conceptualizarea specifică tehnologiei Resource Description Framework (RDF). Pentru fiecare dintre aceste domenii au fost dezvoltate metode și instrumente de modelare care permit crearea unor grafuri de cunoștințe adaptate utilizării drept cunoștințe organizaționale contextualizate în cadrul arhitecturilor GraphRAG. Astfel, sunt facilitate noi tipuri de fluxuri ale cunoașterii în cadrul paradigmei Hybrid Intelligence: reprezentările diagramatice deja familiare specialiștilor în modelare organizațională și inginerilor de cunoștințe pot contribui direct la mecanismele de ingestie a cunoștințelor care se conturează în contextul adoptării inteligenței artificiale la nivel organizațional.

Având în vedere caracterul lucrării, centrat pe dezvoltarea de artefacte, cercetarea a fost desfășurată în conformitate cu procesul Design Science Research, în timp ce dezvoltarea metodelor și a instrumentelor de modelare a urmat cadrul Agile Modeling Method Engineering (AMME). În ceea ce privește strategiile de evaluare, pentru diferitele metode instanțiate, lucrarea prezintă o combinație echilibrată de evaluări centrate pe utilizator, comparații între instrumente și analize ale deciziilor interne de proiectare asociate interoperabilității cu arhitecturile GraphRAG.

Lista abrevierilor utilizate în teza de doctorat

AI Artificial Intelligence
AKM Active Knowledge Modeling
AMME Agile Modeling Method Engineering
BPMN Business Process Model and Notation
DFD Data Flow Diagram
DSL Domain-Specific Language
DSML Domain-Specific Modeling Language
DSR Design Science Research
EA Enterprise Architecture
GPML General Purpose Modeling Language
ISDM Information Systems Development Methodology
KG Knowledge Graph
LLM Large Language Model
ML Machine Learning
RAG Retrieval Augmented Generation
RDF Resource Description Framework
RDFS Resource Description Framework Schema
SECI Socialization, Externalization, Combination, Internalization
SME Situational Method Engineering
TOGAF The Open Group Architecture Framework
UML Unified Modeling Language
URI Uniform Resource Identifier
W3C World Wide Web Consortium
WSF Work System Framework
WSM Work System Method
WST Work System Theory
XML eXtensible Markup Language

Cuprinsul tezei de doctorat

Mulțumiri ..... **iii**
Rezumat în limba engleză ..... **iv**
Rezumat în limba română ..... **v**
Lista abrevierilor ..... **vi**
Lista figurilor ..... **x**
Lista tabelelor ..... **xii**
1 Introducere **1**
2 Preambul — fundamente, definiții de lucru și încadrarea conceptuală a cercetării **6**
2.1 Introducere în Model-Driven GraphRAG 6
2.2 Domenii științifice care converg către contribuția propusă 9
2.2.1 Ingineria metodelor 9
2.2.2 Situational Method Engineering 10
2.2.3 Ingineria metodelor de modelare 10
2.2.4 Metamodelarea 14
2.2.5 Limbaje de modelare specifice domeniului și ingineria limbajelor 15
2.2.6 Modelarea cunoștințelor 17
2.3 Domenii de aplicare ale contribuției 19
2.3.1 Reprezentarea cunoștințelor prin standardul RDF 19
2.3.2 Work System Theory 24
2.3.3 Maparea amenințărilor cibernetice și a măsurilor de mitigare centrată pe procese 27
2.3.4 Modurile SECI de conversie a cunoștințelor 30
3 Formularea problemei și metodologia cercetării **32**
3.1 Contextul problemei — sisteme de management al cunoștințelor în era Hybrid Intelligence și întrebările de cercetare 32
3.2 Metodologia cercetării — Design Science Research 37
3.3 Procesul hibrid Design Science – Agile Modeling Method Engineering 44
3.4 Încadrarea conceptuală a contribuției 52
4 Prezentarea generală a contribuțiilor **55**
4.1 Un cadru de referință pentru metode de modelare care susțin Model-Driven GraphRAG 55
4.2 Adaptarea SECI printr-un model Hybrid Intelligence pentru modelarea și managementul cunoștințelor 57
5 Analiza literaturii de specialitate **64**
5.1 Literatura privind proiectarea sistemelor prin Work System Framework 64
5.2 Literatura privind metodele secure by design centrate pe procese 66
5.3 Literatura privind mediile de construire a grafurilor de cunoștințe 72
5.4 Literatura privind Model-Driven GraphRAG 74
6 Metodele de modelare instanțiate și dezvoltate **78**
6.1 Metoda instanțiată pentru proiectarea sistemelor de lucru 78
6.1.1 Cerințe 81

6.1.2 Proiectarea metodei instanțiate 83
6.1.3 Exemple ilustrative 98
6.1.4 Experimente de evaluare 102
6.2 Metoda de mapare a amenințărilor cibernetice și a măsurilor de mitigare centrată pe procese 118
6.2.1 Cerințe 119
6.2.2 Proiectarea metodei instanțiate 121
6.2.3 Exemple ilustrative 133
6.2.4 Experimente de evaluare 138
6.3 Metoda instanțiată pentru construirea vizuală a grafurilor de cunoștințe 158
6.3.1 Cerințe 159
6.3.2 Proiectarea metodei instanțiate 162
6.3.3 Exemple ilustrative 172
6.3.4 Experimente de evaluare 175
7 Discuții și implicații 189
7.1 Sinteză 189
7.2 Discutarea întrebărilor de cercetare 193
7.2.1 RQ1: Cum pot fi captate cunoștințele organizaționale tacite prin intermediul metamodelelor, care acționează ca mediatori specifici domeniului în transferurile de cunoștințe dintre actorii organizaționali și sistemele AI augmentate prin recuperare de informații? 193
7.2.2 RQ2: Cum poate fi facilitată dezvoltarea grafurilor de cunoștințe organizaționale pentru modelatorii familiarizați cu conceptualizări specifice domeniului și cu modelarea organizațională, dar care nu dețin competențe tehnice în domeniul grafurilor de cunoștințe? 194
7.2.3 Cum se compară descrierile tradiționale nestructurate ale conținutului organizațional cu descrierile diagramatice bazate pe DSML, din perspectiva calității răspunsurilor LLM-urilor, utilizând diferite strategii de recuperare pentru conținutul bazat pe modele? 196
7.3 Discutarea contribuției principale de tip artefact 197
7.4 Discutarea rezultatelor evaluării 198
7.5 Implicații teoretice 199
7.5.1 Implicații pentru managementul cunoștințelor și SECI 199
7.5.2 Implicații pentru Hybrid Intelligence 200
7.5.3 Implicații pentru ingineria metodelor de modelare 201
7.6 Implicații practice 201
7.6.1 Implicații pentru managementul cunoștințelor organizaționale 201
7.6.2 Implicații pentru manageri și practicienii sistemelor de lucru 202
7.6.3 Implicații pentru analiștii de securitate cibernetică 202
7.6.4 Implicații pentru inginerii de cunoștințe 203
7.7 Implicații tehnice și arhitecturale 203
7.8 Implicații metodologice pentru Design Science Research 204
7.9 Limite 205
8 Concluzii și direcții viitoare de cercetare 208
Diseminarea rezultatelor cercetării doctorale 211

Articole în reviste **211**
Articole în volumele conferințelor **212**
Bibliografie **216**
Anexă **240**

Lista figurilor din teza de doctorat

Fig. 1. Exemplu de flux RAG 7
Fig. 2. Exemplu de flux GraphRAG 7
Fig. 3. Componentele principale ale metodelor de modelare (Karagiannis & Kühn, 2002) 12
Fig. 4. Cadrul Agile Modeling Method Engineering (Karagiannis, 2015) 13
Fig. 5. Exemplu de metamodel 15
Fig. 6. Principalele diferențe dintre DSML-uri și GPML-uri (Frank, 2011) 16
Fig. 7. Reprezentarea spațiilor de la date la cunoștințe (Lillehagen & Krogstie, 2008) 18
Fig. 8. Exemplu de graf de cunoștințe 21
Fig. 9. Work System Framework (Alter, 2006) 26
Fig. 10. Hybrid Intelligence în contextul inteligenței artificiale și umane (reprodusă din Jarrahi et al. (2022)) 34
Fig. 11. Modurile de conversie a cunoștințelor din SECI în contextul Hybrid Intelligence și al modelării conceptuale (inspirată din Nonaka (1994)) 35
Fig. 12. Delimitarea cercetării în contextul SECI și Hybrid Intelligence 36
Fig. 13. Modelul tipic al procesului Design Science Research (Peffers et al., 2006) 40
Fig. 14. Perspectiva celor trei cicluri asupra Design Science Research (Hevner, 2007) 41
Fig. 15. Cadrul SEQUAL revizuit (Krogstie et al., 2006) 43
Fig. 16. Ciclul hibrid AMME–DSR (Dolha et al., 2025) 46
Fig. 17. Poziționarea contribuției de cercetare în raport cu domeniile relevante 53
Fig. 18. Cadrul de referință al metodelor de modelare adaptat pentru Model-Driven GraphRAG (adaptată după Karagiannis & Kühn (2002)) 55
Fig. 19. Fluxul de procesare al cadrului de referință pentru metodele de modelare 56
Fig. 20. Perspectiva arhitecturală asupra cadrului de referință pentru metodele de modelare 57
Fig. 21. Modurile de conversie a cunoștințelor din SECI adaptate pentru Hybrid Intelligence (inspirată din Nonaka & Takeuchi (1995)) 63
Fig. 22. Metamodelul ADOxx al DSML-ului din WSF4ADO 84
Fig. 23. Atribute la nivel de model ale unei diagrame Work System Overview în WSF4ADO 85
Fig. 24. Atribute la nivel de instanță ale unui element WorkSystemSnapshot (stânga) și atribute specifice agenților AI ale unui SimpleWSTElement (dreapta) 86
Fig. 25. Fragment din ontologia de bază care susține captarea cunoștințelor în diagrame Work System Framework 87
Fig. 26. Arhitectura unui sistem de cunoștințe WSF bazat pe modele 91
Fig. 27. Mecanisme și funcționalități implementate în WSF4ADO 93
Fig. 28. Fragment din scriptul de conversie a diagramelor WSF în grafuri RDF 96
Fig. 29. Arhitecturile fluxurilor GraphRAG din WSF4ADO 98
Fig. 30. Exemple de diagrame WSF4ADO 99

Fig. 31. Subsisteme de lucru ca tip particular de subproces BPMN pentru a facilita explorarea pe niveluri de detaliu 100
Fig. 32. Tipare RDF derivate din reprezentări diagramatice ale sistemelor de lucru..... 101
Fig. 33. Bază de cunoștințe construită dintr-o singură diagramă pentru un caz de utilizare din sectorul bancar..... 102
Fig. 34. Rezultatele evaluării cantitative privind timpii de creare și serializare în WSF4ADO 104
Fig. 35. Metamodelul DSML-ului hibrid implementat în CTM4ADO (BPMN nu este inclus, cu excepția constructului de subproces utilizat pentru conectare) (Chiș et al., 2026) 122
Fig. 36. Atribute la nivel de model (sus) și la nivel de element (jos) în CTM4ADO (Chiș et al., 2026) 124
Fig. 37. Arhitectura propusă pentru fluxurile de cunoștințe bazate pe DSML din CTM4ADO (Chiș et al., 2026) 129
Fig. 38. Fragment din serializarea diagramelor în grafuri de cunoștințe RDF pentru CTM4ADO (Chiș et al., 2026) 129
Fig. 39. Fragment din ontologia de ghidare a CTM4ADO (Chiș et al., 2026) 130
Fig. 40. Calculul scorurilor de audit de securitate în CTM4ADO (Chiș et al., 2026) 131
Fig. 41. Exemplul ilustrativ utilizat în CTM4ADO (Chiș et al., 2026) 135
Fig. 42. Arhitectura recuperării cu număr dinamic de hop-uri în CTM4ADO (Chiș et al., 2026) 147
Fig. 43. Exemplu OWASP de modelare a amenințărilor (Chiș et al., 2026) 153
Fig. 44. Metamodelul DSML-ului din GRAPHxx (Chiș et al., 2025a) 163
Fig. 45. Atribute la nivel de model în GRAPHxx (Chiș et al., 2025a) 164
Fig. 46. Atributele ThingIdentifier (stânga) și atributele RelatedTo (dreapta) (Chiș et al., 2025a).... 165
Fig. 47. Perspectivă duală asupra gestionării relațiilor în mod vizual sau tabelar (sus) și fragment AdoScript pentru generarea nodurilor de clasă (jos) (Chiș et al., 2025a) 167
Fig. 48. Perspectivă arhitecturală asupra integrării cu sisteme externe bazate pe RDF (Chiș et al., 2025a) 169
Fig. 49. Fragment din scriptul de conversie a elementelor diagramelor în serializare RDF (Chiș et al., 2025a) 170
Fig. 50. Fragment din scriptul Python pentru integrarea LLM-urilor prin LangChain (Chiș et al., 2025a) 172
Fig. 51. Exemplu de graf de cunoștințe distribuit în două diagrame interconectate în GRAPHxx (Chiș et al., 2025a)..... 173
Fig. 52. Proiectarea vizuală a unui fragment de graf pentru SEO (stânga) și un extras din serializarea sa JSON-LD (dreapta) (Chiș et al., 2025a) 175
Fig. 53. Reprezentarea în PowerPoint a unui exemplu de graf utilizat în sarcinile de evaluare (sus), echivalentul său narativ (stânga jos) și echivalentul Turtle (dreapta jos) (Chiș et al., 2025a)..... 177
Fig. 54. Interogarea AQL (stânga) și rezultatele sale (dreapta) (Chiș et al., 2025a)..... 185
Fig. 55. Rezultatele evaluării cantitative privind timpii de creare și export (Chiș et al., 2025a)..... 186
Fig. 56. Metodele instanțiate în contextul Hybrid Intelligence..... 193

Lista tabelelor din teza de doctorat

Tabelul 1. Clasificarea tipurilor de GraphRAG 8
Tabelul 2. Corespondența dintre spirala SECI și contribuțiile tezei 61
Tabelul 3. Conceptele de modelare din WSF4ADO și notațiile vizuale 88
Tabelul 4. Reguli și verificări de consistență 92
Tabelul 5. Măsurători cantitative pentru evaluarea scalabilității WSF4ADO 103
Tabelul 6. Măsurători cantitative pentru primul experiment de evaluare centrată pe utilizator în WSF4ADO 105
Tabelul 7. Măsurători cantitative pentru al doilea experiment de evaluare centrată pe utilizator în WSF4ADO 106
Tabelul 8. Rezultatele experimentului de round-trip semantic pentru WSF4ADO 107
Tabelul 9. Categoriile de întrebări pentru scenariul companiei IT în WSF4ADO 113
Tabelul 10. Timpii medii de execuție și costurile medii, agregate pe strategii de recuperare pentru WSF4ADO 114
Tabelul 11. Procentajul mediu al răspunsurilor din fiecare categorie, agregat pe strategii de recuperare printr-o abordare LLM-as-Judge pentru WSF4ADO 114
Tabelul 12. Metricile RAGAS globale, agregate pe strategii de recuperare pentru WSF4ADO 115
Tabelul 13. Similaritatea cosinus globală, agregată pe strategii de recuperare pentru WSF4ADO 117
Tabelul 14. Conceptele de modelare din CTM4ADO și atributele lor (Chiș et al., 2026) 125
Tabelul 15. Elementele de bază DFD din exemplul ilustrativ CTM4ADO (Chiș et al., 2026) 136
Tabelul 16. Categoriile de întrebări pentru scenariul de comerț electronic din primul experiment CTM4ADO (Chiș et al., 2026) 148
Tabelul 17. Timpii medii de execuție și costurile medii, agregate pe strategii de recuperare pentru primul experiment CTM4ADO (Chiș et al., 2026) 149
Tabelul 18. Procentajul mediu al răspunsurilor corecte, parțial corecte și incorecte, agregat pe strategii de recuperare printr-o abordare LLM-as-Judge pentru primul experiment CTM4ADO (Chiș et al., 2026) 149
Tabelul 19. Metricile RAGAS globale, agregate pe strategii de recuperare pentru primul experiment CTM4ADO (Chiș et al., 2026) 150
Tabelul 20. Categoriile de întrebări pentru setul de testare din domeniul medical al celui de-al doilea experiment CTM4ADO (Chiș et al., 2026) 154
Tabelul 21. Timpii medii de execuție și costurile medii, agregate pe strategii de recuperare pentru al doilea experiment CTM4ADO (Chiș et al., 2026) 154
Tabelul 22. Procentajul mediu al răspunsurilor corecte, parțial corecte și incorecte, agregat pe strategii de recuperare printr-o abordare LLM-as-Judge pentru al doilea experiment CTM4ADO (Chiș et al., 2026) 154
Tabelul 23. Metricile RAGAS globale, agregate pe strategii de recuperare pentru al doilea experiment CTM4ADO (Chiș et al., 2026) 155
Tabelul 24. Similaritatea cosinus globală, agregată pe strategii de recuperare pentru primul experiment 157

Tabelul 25. Similaritatea cosinus globală, agregată pe strategii de recuperare pentru al doilea experiment 157
Tabelul 26. Conceptele de modelare din GRAPHxx (Chiș et al., 2025a) 164
Tabelul 27. Sinteza rezultatelor evaluării GRAPHxx (Chiș et al., 2025a) 179
Tabelul 28. Relația dintre metodele instanțiate și AKM 190
Tabelul 29. Acoperirea caracteristicilor Hybrid Intelligence de către artefactele de modelare 191
Tabelul 30. Metrici agregate pentru 1–4 hop-uri în primul experiment CTM4ADO 206

1 Introducere

Această teză de doctorat aduce o contribuție metodologică, susținută de artefacte demonstrative, la captarea, structurarea și valorificarea cunoștințelor organizaționale între mediile de modelare organizațională și arhitecturile GraphRAG. Concret, propunerea tezei consolidează rolul modelării conceptuale și organizaționale în sistemele de inteligență artificială care valorifică cunoștințe organizaționale structurate. Premisa centrală este că diagramele organizaționale nu ar trebui tratate exclusiv ca suport pentru comunicare, documentare sau analiză. Atunci când sunt create cu ajutorul unor limbaje de modelare explicite și guvernate de metamodele adecvate, acestea pot deveni și surse structurate de cunoștințe pentru mecanismele de recuperare bazate pe grafuri de cunoștințe și pentru modelele lingvistice de mari dimensiuni (LLM-uri). În consecință, teza propune Model-Driven GraphRAG ca punte metodologică între captarea diagramatică a cunoștințelor, orientată către utilizatorul uman, și recuperarea cunoștințelor, orientată către procesarea automată.

Cunoștințele există în două forme principale: tacite și explicite. Cunoștințele tacite sunt înțelese ca fiind interiorizate de persoanele care le dețin, fără a avea un format în care să poată fi stocate într-un sistem de management al cunoștințelor sau accesate de alți utilizatori. Cunoștințele explicite sunt cele stocate în diverse sisteme de management al cunoștințelor, documente, depozite informaționale etc. Potrivit spiralei de conversie a cunoștințelor propuse de Nonaka (1994), există patru moduri principale prin care cunoștințele sunt produse și utilizate:

- Socializarea: cunoștințele rămân în formă tacită și sunt transmise prin interacțiuni directe între persoanele care le dețin;
- Externalizarea: cunoștințele tacite sunt transformate în cunoștințe explicite; pentru captarea și stocarea lor sunt utilizate diverse sisteme de management al cunoștințelor;
- Combinarea: sistemele de management al cunoștințelor sintetizează cunoștințe explicite provenite din surse și reprezentări diferite, cu scopul de a le îmbogăți;
- Internalizarea: persoanele dobândesc cunoștințe noi prin utilizarea diverselor sisteme de management al cunoștințelor, extinzându-și astfel cunoștințele tacite prin valorificarea formelor explicite.

Cercetarea abordează o problemă persistentă la nivel organizațional: cunoștințele relevante sunt dispersate între persoane (cunoștințe tacite), documente, sisteme informaționale, descrieri de procese, baze de date și depozite de modele (cunoștințe explicite). Aceste surse diferă substanțial prin structură, expresivitate și publicul căruia i se adresează. Deși organizațiile se bazează de mult timp pe sisteme de management al cunoștințelor pentru a coordona crearea, păstrarea, descoperirea și reutilizarea acestora, apariția inteligenței artificiale generative impune cerințe suplimentare privind structurarea și accesarea cunoștințelor organizaționale.

Recuperarea textului pe baza similarității semantice poate identifica pasaje relevante, dar nu păstrează întotdeauna relațiile explicite dintre activități de afaceri, resurse, sisteme, actori sau decizii. În consecință, un serviciu AI poate genera răspunsuri plauzibile fără a recupera relațiile precise din domeniu pe care le solicită o întrebare.

Demersul acestei teze a vizat în principal externalizarea și combinarea cunoștințelor, ca mijloace de captare a cunoștințelor tacite prin reprezentări diagramatice și de structurare semantică a acestora în grafuri de cunoștințe, pentru fluxuri Model-Driven GraphRAG în organizații moderne pregătite pentru adoptarea AI.

Teza distinge între captarea cunoștințelor, înțeleasă ca proces de colectare, documentare și stocare a informațiilor și expertizei organizaționale valoroase, și structurarea și valorificarea cunoștințelor, înțelese ca organizare și optimizare a stocării, partajării și accesului la acestea. De asemenea, distinge între cunoștințele explicite, care pot fi articulate și codificate, și cunoștințele tacite, care rămân încorporate în experiența și practica individuală (Becerra-Fernandez & Sabherwal, 2014; Merali & Davies, 2001). Provocarea metodologică centrală nu constă în a presupune că toate cunoștințele tacite pot fi stocate, ci în a le permite actorilor cu expertiză să externalizeze părți utile ale înțelegerii lor prin activități de modelare relevante și ancorate în context.

Soluția propusă este un cadru de referință reutilizabil pentru metode de modelare care susține transformarea continuă a cunoștințelor. Experții de domeniu își exprimă cunoștințele în diagrame, utilizând concepte familiare activității lor. Limbajele de modelare și metamodelele impun constrângeri acestor descrieri, păstrează distincțiile dintre tipurile de concepte și relații și oferă o bază pentru transformarea deterministă. Mecanisme dedicate serializează apoi structurile captate în grafuri de cunoștințe Resource Description Framework (RDF). Aceste grafuri pot fi stocate în depozite RDF, accesate prin SPARQL și furnizate drept dovezi contextuale sistemelor de răspuns la întrebări bazate pe LLM-uri, urmând tipare GraphRAG. Astfel, același efort de modelare susține atât interpretarea umană, cât și valorificarea computațională a cunoștințelor organizaționale.

Contribuția este demonstrată în trei contexte de modelare diferite. Metoda instanțiată pentru proiectarea sistemelor de lucru, implementată în WSF4ADO, sprijină managerii și alți actori care analizează activitatea organizațională prin prisma Work System Theory și Work System Framework (Alter, 2006; Alter, 2013). Metoda instanțiată pentru maparea amenințărilor cibernetice și a măsurilor de mitigare, centrată pe procese și implementată în CTM4ADO, sprijină analiza amenințărilor, măsurilor de mitigare, proceselor de afaceri, fluxurilor informaționale și granițelor de încredere. Metoda instanțiată pentru construirea vizuală a grafurilor de cunoștințe, implementată în GRAPHxx, oferă un mediu mai generic, specific tehnologiei, pentru crearea vizuală a grafurilor orientate către RDF. Aceste aplicații sunt în mod deliberat diferite: prima pornește de la o conceptualizare managerială, a doua abordează

un domeniu specializat al securității cibernetice, iar a treia vizează însăși tehnologia de reprezentare a cunoștințelor. Împreună, ele oferă dovezi că aplicabilitatea cadrului nu se limitează la o singură notație definită restrictiv sau la un singur scenariu de afaceri.

Un aspect distinctiv al tezei este rolul atribuit paradigmei Hybrid Intelligence (Akata et al., 2020, Dellermann, Ebel et al., 2019, Jarrahi et al., 2022). Cercetarea nu susține transferarea către AI a responsabilității pentru înțelegerea organizației. Participanții umani stabilesc ce este semnificativ, definesc relațiile relevante și apreciază adecvarea unei reprezentări, iar sistemele AI îi asistă în recuperarea, combinarea și comunicarea conținutului reprezentat. Această orientare este corelată cu modelul spiralei de conversie a cunoștințelor propus de Nonaka, în special cu modurile de externalizare și combinare (Nonaka, 1994; Akata et al., 2020). Diagrama devine un mijloc accesibil de articulare a cunoștințelor, graful de cunoștințe devine o reprezentare procesabilă automat a cunoștințelor selectate, iar GraphRAG oferă un mijloc de valorificare a acestei reprezentări prin interacțiune în limbaj natural.

Teza se înscrie în Design Science Research (Wieringa, 2014), deoarece contribuția sa principală constă în artefacte proiectate și evaluate, nu doar în propoziții formulate pe baza observației. Ingineria celor trei metode instanțiate urmează Agile Modeling Method Engineering (AMME), permițând rafinarea iterativă a conceptelor de modelare, notațiilor, funcționalităților, mapărilor semantice și integrărilor (Karagiannis, 2015; Wieringa, 2014). În consecință, evaluarea este multidimensională: studiul examinează utilizabilitatea și efortul de modelare, păstrarea semanticii, scalabilitatea tehnică, întrebările de competență bazate pe ontologii și calitatea răspunsurilor produse prin diferite strategii de recuperare. Această combinație de demers metodologic și empiric susține argumentul principal al tezei: metodele de modelare pot fi dezvoltate ca mijloace de captare, structurare și valorificare a cunoștințelor pentru organizații pregătite să adopte AI, consolidând externalizarea și combinarea cunoștințelor (Nonaka, 1994), în loc să rămână instrumente izolate de reprezentare destinate exclusiv utilizatorilor umani.

2 Preambul — fundamente, definiții de lucru și încadrarea conceptuală a cercetării

2.1 Introducere în Model-Driven GraphRAG

Al doilea capitol stabilește vocabularul tehnic și conceptual necesar explicării contribuției propuse. Retrieval-Augmented Generation (RAG) completează un LLM cu informații relevante recuperate din surse externe cunoștințelor codificate în parametrii modelului în timpul antrenării. Logica sa de bază combină o etapă de recuperare, în care este selectat conținutul relevant, cu o etapă de generare, în care acest conținut este utilizat pentru fundamentarea unui răspuns. Această abordare poate îmbunătăți actualitatea și adecvarea contextuală a răspunsurilor și poate reduce anumite riscuri de halucinație, fără a garanta însă corectitudinea factuală (Lewis et al., 2020). Implementările convenționale operează frecvent asupra unor pasaje de text indexate prin reprezentări vectoriale de tip embedding.

GraphRAG extinde acest tipar prin utilizarea informațiilor organizate relațional ca parte importantă a contextului de recuperare. În loc să trateze fiecare fragment de document recuperat ca pe o dovadă în mare măsură independentă, un sistem GraphRAG poate valorifica entități, proprietăți, căi, vecinătăți, subgrafuri sau reprezentări derivate din graf. După cum arată literatura analizată în teză, GraphRAG nu desemnează o singură arhitectură uniformă. Acesta include traversarea grafurilor, interogări formale asupra grafurilor, text derivat din grafuri, embedding-uri, abordări de învățare pe grafuri și combinații hibride ale acestor mecanisme. Distincția esențială constă în faptul că structura grafului contribuie efectiv la identificarea și organizarea dovezilor, în loc să servească doar la vizualizarea documentelor (Han et al., 2025; Pan et al., 2024).

Fluxurile GraphRAG pot utiliza grafuri de cunoștințe RDF și interogări SPARQL. RDF exprimă cunoștințele prin enunțuri de forma subiect–predicat–obiect și permite combinarea enunțurilor provenite din surse diferite prin identificatori și vocabulare comune. SPARQL oferă un mecanism formal pentru selectarea, construirea și inspectarea conținutului grafurilor. Împreună, acestea permit o recuperare constrânsă de tipurile entităților și de relațiile dintre ele, o capacitate importantă atunci când întrebările vizează dependențe organizaționale, nu doar relevanță tematică (W3C, 2014a; W3C, 2008).

Teza acordă o atenție deosebită GraphRAG bazat pe conversia limbajului natural în SPARQL, prin fluxuri în care intrările în limbaj natural sunt transformate în interogări SPARQL centrate pe entitățile de interes din grafuri de cunoștințe RDF. De asemenea, analizează recuperarea bazată pe traversarea grafurilor prin SPARQL, utilizând fluxuri în care entitățile de interes sunt identificate în intrările în limbaj natural, urmate de extinderea vecinătății până la n hop-uri prin parcurgere în lățime, pentru extragerea cunoștințelor relevante.

Teza definește Model-Driven GraphRAG ca o formă de GraphRAG în care structurile de cunoștințe subiacente provin dintr-un demers de modelare diagramatică. Această definiție deplasează atenția către etapele anterioare interogării: de la modul în care este interogat un graf de cunoștințe la modul în care cunoștințele organizaționale devin, în primul rând, un astfel de graf. Mediile de modelare reprezintă punctele de intrare; metamodelele specifice domeniului definesc conceptele și relațiile permise; transformarea modelelor produce structuri RDF; depozitele de triplete (triplestores) le fac interogabile; iar mecanismele de recuperare selectează dovezile relevante pentru interacțiunea bazată pe LLM-uri. Utilizarea unei transformări deterministe din model în graf este importantă deoarece semnificații esențiale pot fi cuprinse în adnotările elementelor, hyperlinkurile dintre modele și referințele tipizate, pe care simpla interpretare vizuală a unei diagrame nu le-ar recupera în mod fiabil.

2.2 Domenii științifice care converg către contribuția propusă

Ingineria metodelor oferă fundamentul disciplinar pentru construirea și adaptarea unor modalități sistematice de lucru, în locul dependenței de instrumente ad-hoc. Definițiile clasice privesc metoda ca pe un ansamblu coordonat de activități, reguli, tehnici și produse ale dezvoltării, în timp ce ingineria metodelor vizează proiectarea, construirea și adaptarea acestor ansambluri (Brinkkemper, 1996). Situational Method Engineering extinde această abordare, subliniind că metodele trebuie adaptate caracteristicilor contextului de aplicare, în loc să fie utilizate ca prescripții universale (Harmsen et al., 1994; Henderson-Sellers et al., 2014).

Această orientare este deosebit de importantă în activitățile organizaționale bazate pe cunoștințe, deoarece vocabularul unui manager care descrie un sistem de lucru diferă de cel al unui analist de securitate cibernetică care analizează amenințări și de cel al unui inginer de cunoștințe care creează structuri RDF. O singură interfață generică de editare nu ar facilita neapărat captarea cunoștințelor pentru toate cele trei categorii. Prin urmare, teza tratează specificitatea metodologică drept o opțiune de proiectare: limbajul de modelare ar trebui să corespundă conceptualizărilor deja cunoscute de utilizatori, în timp ce cunoștințele rezultate ar trebui să rămână utilizabile în cadrul unei familii comune de arhitecturi AI orientate către grafuri.

Disciplina mai specifică a ingineriei metodelor de modelare vizează metode ale căror artefacte centrale sunt reprezentări simbolice ale unor aspecte selectate ale realității. Potrivit lui Karagiannis și Kühn (2002), o metodă de modelare este alcătuită dintr-un limbaj de modelare, o procedură de modelare și mecanisme sau algoritmi care operează asupra modelelor rezultate. Limbajul de modelare include sintaxa, semantica și notația. Procedura ghidează construirea și utilizarea modelelor. Mecanismele și algoritmii oferă funcții precum verificarea, transformarea, interogarea, navigarea și alte operații. Teza pornește de la această descompunere consacrată, extinzând însă mecanismele către generarea RDF și utilizarea cunoștințelor cu sprijinul AI.

Capitolul poziționează metamodelarea ca sursă de rigoare deosebit de importantă. Un metamodel definește tipurile de elemente de modelare, atribute, asocieri și constrângeri disponibile. Astfel, acesta susține un vocabular de modelare controlat și previne conexiunile arbitrare sau inconsistente semantic. Acest lucru este util atât pentru modelatorii umani, care primesc îndrumare prin mediul de modelare, cât și pentru reprezentarea ulterioară a cunoștințelor, unde tipul și semnificația unei entități nu ar trebui să depindă exclusiv de aspectul grafic al modelului. Metamodelele funcționează ca mediatori între conceptualizarea domeniului și structurile formale de cunoștințe.

Teza distinge între limbajele de modelare de uz general și limbajele de modelare specifice domeniului (DSML-uri). Notațiile de uz general urmăresc o aplicabilitate largă; DSML-urile prioritizează conceptele, operațiile și constrângerile unui domeniu sau ale unei practici delimitate. Avantajul lor nu se reduce la diminuarea complexității. Simbolurile specifice domeniului pot îmbunătăți comunicarea cu actorii care dețin expertiză, pot facilita detectarea erorilor de modelare și pot păstra semantica relevantă a domeniului, care altfel ar putea fi relegată la adnotări în text liber (Frank, 2011; Frank, 2013). Limita lor constă în faptul că specificitatea trebuie proiectată și întreținută, iar domeniile diferite necesită opțiuni conceptuale diferite.

Agile Modeling Method Engineering oferă baza ciclurilor de dezvoltare iterativă utilizate pe parcursul tezei (Karagiannis, 2015). Principiul AMME produce–use conectează proiectarea unei metode de modelare cu utilizarea și evaluarea sa practică. În etapa de conceptualizare sunt colectate cerințele relevante, sunt proiectate metamodelul și limbajul, sunt formalizate notațiile, sunt dezvoltate funcționalitățile tehnice, iar metoda este implementată și pusă la dispoziția utilizatorilor. În etapa de utilizare, modelatorii folosesc mediul rezultat, generează modele și artefacte derivate și furnizează dovezi pentru rafinarea ulterioară. Platforma ADOxx (BOC GmbH, n.d.) este utilizată ca mediu de metamodelare și implementare deoarece susține limbaje vizuale adaptate, depozite de modele, scripting și transformări din modele în date (Fill & Karagiannis, 2013).

Modelarea cunoștințelor este prezentată ca un proces prin care conceptele, relațiile și ipotezele contextuale relevante sunt făcute explicite. În acest sens, teza se bazează pe tradiția Active Knowledge Modeling (AKM), care tratează modelele ca artefacte potențial operaționale, utilizate în activități organizaționale contextualizate, nu ca simplă documentație pasivă (Lillehagen & Krogstie, 2008). Evoluția tehnică a standardelor Semantic Web și a recuperării asistate de LLM-uri face acest obiectiv mai ușor de pus în practică: un model poate fi transformat în enunțuri formale, interogat în timpul activității și utilizat pentru fundamentarea explicațiilor generate. Aceasta nu înseamnă că diagrama, ontologia sau graful surprinde toate dimensiunile unei organizații, ci că o reprezentare selectată și guvernată este pusă la dispoziție pentru reutilizare.

2.3 Domenii de aplicare ale contribuției

Primul domeniu de aplicare este reprezentarea cunoștințelor prin RDF. Capitolul introduce abordarea RDF de bază pentru reprezentarea resurselor identificabile, a tipurilor, proprietăților și relațiilor acestora. Standardele conexe, inclusiv RDFS și OWL, susțin descrierile la nivel de schemă și raționamentul, în timp ce serializări precum Turtle, TriG și JSON-LD oferă forme procesabile automat. Distincția dintre cunoștințele orientate către schemă (descrise frecvent ca TBox) și aserțiunile la nivel de instanță (ABox) este relevantă pentru proiectarea GRAPHxx. O cerință esențială este susținerea unor grafuri de cunoștințe a căror construire nu trebuie să pornească de la o ontologie completă, reducând astfel bariera de acces pentru aplicații exploratorii sau educaționale.

Al doilea domeniu de aplicare este Work System Theory (WST). Un sistem de lucru reprezintă un ansamblu în care participanți umani și/sau mașini desfășoară procese și activități utilizând informații, tehnologii și alte resurse pentru a furniza produse sau servicii clienților. Work System Framework oferă o perspectivă managerială pentru înțelegerea acestor ansambluri, incluzând componentele lor interne și contextul extern (Alter, 2006; Alter, 2013). Spre deosebire de limbajele de arhitectură cu un grad ridicat de tehnicitate, WST propune termeni accesibili multor manageri și actori din mediul de afaceri. Cercetarea identifică oportunitatea de a transforma descrierile sistemelor de lucru din șabloane slab structurate în diagrame cu elemente tipizate, care susțin descompunerea, verificarea consistenței, trasabilitatea și interogarea semantică.

Al treilea domeniu de aplicare vizează maparea amenințărilor cibernetice și a măsurilor de mitigare, centrată pe procese. Teza combină notația proceselor de afaceri, modelarea fluxurilor de date și taxonomiile de modelare a amenințărilor pentru a descrie atât modul de funcționare a sistemelor informaționale, cât și punctele în care apar probleme de securitate și măsurile de mitigare aplicabile. BPMN reprezintă contextul proceselor; diagramele de flux de date (DFD-uri) reprezintă componentele sistemului, schimburile de informații, depozitele de date, entitățile externe și granițele de încredere; scheme de modelare a amenințărilor precum STRIDE și LINDDUN clasifică amenințările relevante (Kohnfelder & Garg, 1999; Wuyts et al., 2020). Perspectiva combinată rezultată urmărește să conecteze raționamentul privind securitatea la obiectivele de afaceri și la proiectarea sistemelor, în loc să mențină amenințările în liste deconectate.

Capitolul detaliază și spirala SECI de conversie a cunoștințelor propusă de Nonaka, ca fundament teoretic pentru înțelegerea circulației cunoștințelor. În formularea sa inițială, cunoștințele se dezvoltă prin socializare, externalizare, combinare și internalizare, printr-o interacțiune continuă între formele tacite și explicite (Nonaka, 1994; Nonaka & Takeuchi, 1995). În teză, modelarea diagramatică oferă un mijloc de externalizare a unor cunoștințe personale selectate în reprezentări conceptuale partajate, în timp ce transformarea modelelor în

RDF și interogarea bazată pe grafuri consolidează combinarea cunoștințelor explicite. Accesul mediat de LLM-uri poate ajuta persoanele să interpreteze și să internalizeze aceste cunoștințe în activitatea lor.

Distincția dintre aceste moduri previne o interpretare excesiv de tehnologică a managementului cunoștințelor. Socializarea depinde de interacțiunea umană; externalizarea depinde de ceea ce persoanele pot și aleg să articuleze; operațiile formale asupra grafurilor depind de calitatea acestei articulări; iar internalizarea rămâne un proces de învățare umană. Aceste fundamente conduc la poziționarea centrală a cercetării: valoarea Model-Driven GraphRAG se bazează pe cooperarea dintre modelarea umană adaptată domeniului, structurile semantice explicite și accesul la cunoștințe bazat pe AI.

3 Formularea problemei și metodologia cercetării

3.1 Contextul problemei — sisteme de management al cunoștințelor în era Hybrid Intelligence și întrebările de cercetare

Al treilea capitol definește problema de cercetare în contextul managementului cunoștințelor organizaționale și al Hybrid Intelligence. În acord cu Maier (2007), un sistem de management al cunoștințelor este înțeles ca un ansamblu sociotehnic care integrează resurse de cunoștințe, mecanisme de comunicare, persoane, procese și tehnologii. Scopul său depășește stocarea documentelor sau a datelor; acesta trebuie să păstreze contextele în care cunoștințele au semnificație și pot fi utilizate în acțiune. Prin urmare, cunoștințele organizaționale sunt eterogene prin natura lor, iar orice încercare de a le valorifica prin AI trebuie să abordeze atât achiziția conținutului, cât și organizarea semantică și proveniența acestuia.

Hybrid Intelligence oferă o orientare normativă importantă acestui demers. Paradigma pune accentul pe forme de colaborare în care inteligența umană și cea artificială se completează și învață prin interacțiune, fără ca tehnologia să înlocuiască judecata contextuală umană (Dellermann, Ebel et al., 2019; Akata et al., 2020). Teza își aliniază raționamentul de proiectare la principiile colaborării, adaptabilității, responsabilității și explicabilității. Modelatorii organizaționali rămân responsabili pentru identificarea conceptelor relevante din domeniu și pentru menținerea unor reprezentări corecte; mecanismele automatizate transformă și interoghează aceste reprezentări; LLM-urile transformă dovezile recuperate în răspunsuri accesibile. Această distribuire a responsabilității este deosebit de valoroasă atunci când rezultatele AI pot influența deciziile manageriale sau analiza de securitate cibernetică.

Teza își organizează demersul în jurul a trei întrebări de cercetare:

RQ1: Cum pot fi captate cunoștințele organizaționale tacite prin intermediul metamodelelor, care acționează ca mediatori specifici domeniului în transferurile de cunoștințe dintre actorii organizaționali și sistemele AI augmentate prin recuperare de informații?

RQ2: Cum poate fi facilitată dezvoltarea grafurilor de cunoștințe organizaționale pentru modelatorii familiarizați cu conceptualizări specifice domeniului și cu modelarea organizațională, dar care nu dețin competențe tehnice în domeniul grafurilor de cunoștințe?

RQ3: Cum se compară descrierile tradiționale nestructurate ale conținutului organizațional cu descrierile diagramatice bazate pe DSML, din perspectiva calității răspunsurilor LLM-urilor, utilizând diferite strategii de recuperare pentru conținutul bazat pe modele?

Prima întrebare vizează natura medierii. Modelatorii nu introduc triplete brute într-o bază de date de grafuri; ei lucrează prin intermediul unui limbaj familiar, al cărui metamodel încorporează constrângeri specifice domeniului. A doua întrebare privește condițiile practice ale adoptării: o metodă sprijină managementul cunoștințelor numai dacă utilizatorii vizați pot

crea, inspecta și întreține conținutul fără un efort tehnic disproporționat. A treia întrebare privește efectele reprezentării și ale recuperării: teza nu presupune că grafurile de cunoștințe depășesc textul în orice caz de utilizare, ci investighează situațiile în care relațiile explicite și tipizate oferă un avantaj și costurile asociate. Aceste trei dimensiuni justifică evaluarea artefactelor din perspectivă metodologică, tehnică și a utilizabilității.

3.2 Metodologia cercetării — Design Science Research

Design Science Research (DSR) este adoptată deoarece teza urmărește dezvoltarea și evaluarea unei soluții orientate către o clasă de probleme identificată. Spre deosebire de cercetarea axată exclusiv pe explicație sau predicție, DSR construiește artefacte și produce cunoștințe despre adecvarea, utilitatea și caracteristicile lor de proiectare (Hevner, 2007; Wieringa, 2014). Artefactul principal este cadrul de referință reutilizabil pentru metodele de modelare; cele trei metode instanțiate și instrumentele corespunzătoare constituie concretizări operaționalizate și evaluate ale acestui cadru.

Cercetarea urmează activitățile consacrate de identificare a problemei, definire a obiectivelor, proiectare și dezvoltare, demonstrare, evaluare și comunicare (Peffers et al., 2006). Aceste activități sunt iterative, nu strict liniare. Cerințele domeniului influențează proiectarea limbajului de modelare; utilizarea prototipurilor evidențiază lacune ale conceptelor sau interacțiunilor; rezultatele experimentale conduc la revizuirea conversiei în grafuri și a recuperării; iar constatările provenite din diferitele metode instanțiate contribuie la rafinarea cadrului general. Această orientare către proiectare permite tezei să conecteze cunoștințele metodologice generalizabile cu implementări concrete și funcționale.

Distincția dintre problemele de proiectare și întrebările de cunoaștere, subliniată de Wieringa (2014; Wieringa, 2016), este centrală. O problemă de proiectare urmărește modul în care o situație poate fi îmbunătățită printr-o intervenție, de exemplu prin furnizarea unui mediu de modelare care facilitează crearea unor grafuri de cunoștințe pregătite pentru utilizarea în AI. Întrebările de cunoaștere investighează dacă anumite decizii de proiectare produc efectele urmărite, de exemplu dacă transformarea RDF păstrează semnificația sau dacă recuperarea ghidată de ontologie îmbunătățește calitatea răspunsurilor. Prin urmare, studiul tratează instrumentele ca intervenții a căror adecvare trebuie justificată prin dovezi, nu ca demonstrații software care se validează prin simpla lor existență.

Cercetarea se bazează și pe perspectiva celor trei cicluri ale DSR. Ciclul relevanței este reprezentat de nevoile organizaționale de cunoștințe și de cerințele actorilor implicați; ciclul rigorii se fundamentează pe teorii, metode și limbaje de modelare existente, precum și pe cercetări privind grafurile de cunoștințe și LLM-urile; ciclul de proiectare construiește și evaluează iterativ artefactele (Hevner, 2007). Această încadrare situează cele trei demersuri de dezvoltare a instrumentelor într-o agendă de cercetare comună, în loc să le prezinte ca trei proiecte software fără legătură între ele.

3.3 Procesul hibrid Design Science – Agile Modeling Method Engineering

La nivelul dezvoltării, studiul utilizează AMME deoarece artefactele metodelor de modelare necesită decizii sistematice privind gramatica limbajului, semnificația semantică, notația, procedurile de modelare și mecanismele de procesare a modelelor (Karagiannis, 2015). Procesul hibrid DSR–AMME permite ca un ciclu științific general să includă mai multe iterații de dezvoltare. Cele trei instanțieri principale reprezintă iterații majore Design Science, în timp ce rafinările metamodelelor, interfețelor de utilizare, rutinelor de serializare și mecanismelor GraphRAG formează subiterații AMME în cadrul acestora.

Abordarea integrează fundamentarea teoretică și prototiparea rapidă. Cerințele sunt derivate din sarcinile de modelare preconizate și din teoriile sau standardele domeniului. ADOxx este utilizat pentru implementarea unor limbaje de modelare executabile și a mecanismelor asociate, inclusiv validarea conținutului, navigarea, generarea și integrările externe. Demonstrarea se realizează prin scenarii și modele exemplificative; evaluarea abordează ulterior diferite aspecte ale calității artefactelor. Pentru WSF4ADO (Chiș et al., 2025b), acestea includ păstrarea semanticii, eficiența modelării, scalabilitatea, capacitatea de a răspunde la întrebări de competență și compararea strategiilor de recuperare. Pentru CTM4ADO (Chiș et al., 2026), accentul se extinde asupra trasabilității specifice securității și asupra efectelor strategiilor alternative de recuperare din grafuri. Pentru GRAPHxx (Chiș et al., 2025a), utilizabilitatea, adecvarea funcționalităților și efortul construirii grafice a grafurilor devin deosebit de importante.

Conform șablonului DSR (Wieringa, 2016), problema principală este formulată astfel:

Îmbunătățirea capacității de eficientizare a transferurilor de cunoștințe în organizații pregătite pentru adoptarea AI și care au o cultură a modelării organizaționale (contextul problemei)

… prin introducerea unei abordări de captare a cunoștințelor bazate pe metode de modelare diagramatică, instanțiată aici pentru domenii de aplicare selectate prin metoda de proiectare a sistemelor de lucru, metoda de mitigare a amenințărilor cibernetice centrată pe procese și metoda de construire vizuală a grafurilor de cunoștințe (natura artefactului/intervenției)

… astfel încât cunoștințele să fie structurate și recuperate conform unor conceptualizări specifice domeniului, fără reantrenarea sistemelor AI pe baza acestora, având în vedere disponibilitatea redusă și caracterul puternic personalizabil al acestui conținut (caracteristicile și serviciile artefactului)

… pentru a permite colaborarea om–AI bazată pe modele într-un context Hybrid Intelligence, cu accent pe răspunsul la întrebări pe baza modelelor (obiectivele actorilor implicați).

Teza integrează considerente de calitate din **SEQUAL**, care distinge dimensiuni fizice, empirice, sintactice, semantice, pragmatice, sociale și organizaționale ale calității modelării (Krogstie et al., 2006). Fără a pretinde că fiecare experiment măsoară toate dimensiunile, studiul corelează cerințele artefactelor și procedurile de evaluare cu aspectele relevante ale calității. Constrângerile metamodelului susțin validitatea sintactică; conceptele fundamentate în domeniu susțin calitatea semantică; interfețele accesibile abordează utilizabilitatea practică; iar interogarea și integrarea GraphRAG contribuie la utilitatea pragmatică, făcând cunoștințele modelate utilizabile în acțiune.

3.4 Încadrarea conceptuală a contribuției

Încadrarea conceptuală clarifică faptul că teza se situează la intersecția dintre modelarea organizațională, managementul cunoștințelor, tehnologiile Semantic Web și AI augmentată prin recuperare de informații. Contribuția nu constă într-un nou standard fundamental RDF, într-un nou LLM de uz general sau într-o ontologie organizațională universală. Ea constă într-un cadru de referință pentru ingineria metodelor de modelare, care conectează descrierile diagramatice cu GraphRAG, completat de artefacte software și evaluări ce demonstrează această conexiune în condiții de domeniu diferite.

Cadrul propus se concretizează într-o colecție de metode de modelare care creează o punte către Semantics-Driven Systems Engineering, pornind de la cadre de metamodelare anterioare, precum AMME.

Metoda instanțiată pentru proiectarea sistemelor de lucru, implementată în instrumentul WSF4ADO, aparține spectrului metodelor de modelare a sistemelor de lucru, care au câștigat vizibilitate în literatura de cercetare în ultimii ani. Această metodă se fundamentează pe Work System Theory, discutată anterior în teză, pentru a mapa cunoștințele organizaționale pe constructe WST specifice în instrumentul de modelare. Astfel, sunt construite diagrame bazate pe Work System Framework, care sunt apoi serializate în formate RDF.

Metoda instanțiată pentru maparea amenințărilor cibernetice și a măsurilor de mitigare, centrată pe procese și implementată în CTM4ADO, aparține metodelor de modelare a amenințărilor cibernetice, reprezentând o aplicare specifică domeniului a modelării conceptuale în contextul securității cibernetice. Această componentă de modelare valorifică specificația RDF, fragmente de modelare BPMN și cadre și metodologii consacrate de modelare a amenințărilor (Shostack, 2014).

Metoda instanțiată pentru construirea vizuală a grafurilor de cunoștințe aparține unui spectru mai larg de metode de modelare a cunoștințelor de uz general, care nu se limitează neapărat la RDF, întrucât și alte standarde, precum OWL (W3C, 2012), fac parte din acest domeniu. Această metodă conceptualizează un limbaj de modelare bazat pe specificația RDF, deoarece întregul rezultat al modelării este serializat în formate TriG sau Turtle, care aparțin familiei RDF.

În ansamblu, această colecție de metode de modelare produce grafuri de cunoștințe bazate pe modele, care furnizează ulterior intrări pentru Semantics-Driven Software Engineering. Prin generarea grafurilor de cunoștințe, toate metodele instanțiate furnizează și intrări pentru Model-Driven GraphRAG. În acest caz, accentul cade pe grafuri ca depozite de conținut și pe grafuri ca experți de domeniu (Ontotext, n.d.-b), varianta grafurilor ca baze de date fiind lăsată pentru cercetări viitoare.

În ceea ce privește evaluarea metodelor instanțiate, strategiile empirice selectate reflectă atât potențialul, cât și limitele dovezilor obținute prin DSR. Rezultatele cantitative includ corectitudinea răspunsurilor, măsuri bazate pe RAGAS, similaritatea semantică, efortul de creare a modelelor, precum și timpul și costul de execuție. Alte dovezi provin din întrebări de competență, comparații de funcționalități și experimente orientate către utilizatori. Fiecare măsură evidențiază doar o parte a dimensiunilor relevante ale calității: o metodă rapidă nu este neapărat exactă, un răspuns foarte relevant nu este neapărat corect, iar o reprezentare care păstrează semantica nu este neapărat ușor de utilizat de toate categoriile de actori. Capitolul stabilește astfel o bază echilibrată pentru interpretarea rezultatelor ulterioare și pentru distingerea fezabilității tehnologice de adoptarea organizațională mai largă.

4 Prezentarea generală a contribuțiilor

4.1 Un cadru de referință pentru metode de modelare care susțin Model-Driven GraphRAG

Al patrulea capitol formulează contribuția metodologică centrală a tezei. Acesta adaptează arhitectura consacrată a metodelor de modelare propusă de Karagiannis și Kühn (2002) unui scop nou: conectarea captării cunoștințelor organizaționale prin diagrame cu recuperarea bazată pe grafuri de cunoștințe pentru LLM-uri. Componentele convenționale ale unei metode de modelare rămân necesare, dar sunt completate cu fundamentare semantică explicită, serializare procesabilă automat, interoperabilitate cu depozitele de cunoștințe și mecanisme de recuperare a dovezilor pentru răspunsul la întrebări bazat pe LLM-uri.

Limbajul de modelare furnizează conceptele, relațiile, constrângerile și notațiile orientate către utilizatorul uman, adecvate unui anumit domeniu sau unei anumite practici. Procedura de modelare precizează modul în care aceste concepte sunt utilizate pentru captarea, rafinarea și interconectarea cunoștințelor organizaționale. Mecanismele și algoritmii depășesc editarea obișnuită a diagramelor: gestionează conținutul modelelor, verifică consistența, transformă diagramele în fragmente de graf RDF, publică sau exportă aceste fragmente și le conectează la interogări de graf și la recuperarea bazată pe LLM-uri. În această interpretare, o diagramă este atât o reprezentare inteligibilă pentru oameni, cât și o resursă de cunoștințe transformabilă formal. Diagramele servesc drept mijloace de transformare a cunoștințelor dintr-o stare tacită într-una explicită și oferă totodată baza pentru accesul la spațiul cunoștințelor orientat către procesarea automată, în care LLM-urile valorifică cunoștințele diagramatice exprimate ca structuri semantice de graf RDF.

Cadrul de referință distinge între un spațiu de proiectare orientat către utilizatorul uman și un spațiu al cunoștințelor orientat către procesarea automată, fără a le trata ca fiind deconectate. În spațiul de proiectare, specialiștii de domeniu descriu operațiuni de afaceri, dependențe, probleme de securitate cibernetică sau enunțuri din grafuri de cunoștințe prin obiecte și relații vizuale. În spațiul cunoștințelor, aceste opțiuni devin resurse și enunțuri RDF identificabile, cu tipuri și proprietăți adecvate. Transformarea trebuie să fie deterministă și ghidată de structura și adnotările explicite ale modelului sursă. Graful de cunoștințe poate fi apoi stocat într-un triplestore și accesat direct prin SPARQL sau indirect prin GraphRAG. Prin includerea mecanismului de transformare în metoda de modelare, cadrul face din integrare o funcționalitate proiectată a metodei, nu o etapă ulterioară și separată de inginerie a datelor.

Teza subliniază și separarea responsabilităților. Utilizatorii care înțeleg un cadru al sistemelor de lucru nu ar trebui să scrie triplete RDF pentru a reprezenta participanți sau procese. Specialiștii în securitate cibernetică ar trebui să poată raționa în termeni de fluxuri de date, amenințări și măsuri de mitigare, fără a fi obligați să manipuleze schemele de graf subiacente.

În schimb, inginerii de cunoștințe cu pregătire tehnică pot dori control direct asupra identificatorilor RDF, relațiilor de schemă și serializărilor. Principiile arhitecturale comune pot susține aceste niveluri diferite de abstractizare prin metode instanțiate distincte, fiecare dezvoltată pornind de la o conceptualizare relevantă pentru domeniu.

Implementarea tehnologică a cadrului utilizează conceptele de bază ale ADOxx și AdoScript pentru modelare și serializare, depozite RDF precum GraphDB pentru stocare și interogare semantică, componente Python pentru orchestrare și LLM-uri pentru interpretarea dovezilor recuperate. Teza nu susține că această contribuție de cercetare depinde de un singur furnizor comercial de AI; diferite endpoint-uri LLM ar putea fi substituite fără a schimba raționamentul de proiectare subiacent. Contribuția sa mai durabilă constă în specificarea unui flux de cunoștințe reutilizabil, de la modelarea specifică domeniului la reprezentarea structurată în grafuri și apoi la interacțiunea cu AI fundamentată pe dovezi.

4.2 Adaptarea SECI printr-un model Hybrid Intelligence pentru modelarea și managementul cunoștințelor

A doua contribuție dezvoltă o adaptare a ciclului SECI de conversie a cunoștințelor în perspectiva Hybrid Intelligence. În modelul clasic, socializarea vizează schimbul de cunoștințe tacite, externalizarea articulează cunoștințele tacite în forme explicite, combinarea reorganizează cunoștințele explicite, iar internalizarea privește dobândirea unei înțelegeri tacite prin interacțiunea cu reprezentări explicite (Nonaka, 1994; Nonaka & Takeuchi, 1995). Teza poziționează diagramele, grafurile de cunoștințe RDF și recuperarea bazată pe LLM-uri în cadrul acestor transformări ale cunoștințelor, fără a considera AI exclusiv un instrument de răspuns la întrebări.

În interpretarea propusă, socializarea rămâne predominant o activitate umană și organizațională. Discuțiile, interviurile, atelierele și experiențele comune de lucru le permit actorilor implicați să evidențieze probleme și să negocieze înțelesuri comune. Metodele de modelare pot susține aceste interacțiuni prin reprezentări vizuale partajate, dar nu înlocuiesc crearea socială a cunoștințelor. Externalizarea constituie principalul punct de intrare al cercetării: actorii cu expertiză transpun aspecte ale înțelegerii lor contextuale în elemente tipizate, adnotări și conexiuni. Instrumentul de modelare serializează apoi relațiile astfel articulate într-un graf procesabil automat. Această transformare are două componente: de la înțelegerea implicită la diagrame și de la diagrame la date semantice explicite.

Combinarea este consolidată prin posibilitatea de a reuni, conecta, interoga și recupera selectiv cunoștințe formalizate. Identificatorii RDF, vocabularele comune și tiparele de graf permit investigarea relațiilor între modele și, acolo unde este adecvat, între organizații. GraphRAG utilizează fragmente de cunoștințe selectate drept context pentru un LLM, generând noi descrieri și explicații accesibile din conținut deja explicit. Internalizarea are loc atunci când utilizatorii interpretează aceste explicații și le integrează în propria înțelegere sau în deciziile

lor. Teza tratează această etapă ca pe o implicație și o direcție viitoare de studiu, nu ca pe o dovadă că rezultatele învățării au fost măsurate exhaustiv.

Acest argument este strâns legat de Active Knowledge Modeling, care urmărește ca reprezentările cunoștințelor să fie operaționale în timpul activității, nu doar arhivate (Lillehagen & Krogstie, 2008). Model-Driven GraphRAG oferă un mecanism contemporan concret pentru acest obiectiv: modelele organizaționale devin surse pentru interogări și răspunsuri generate. În același timp, cadrul este în mod deliberat centrat pe om. Graful conține aspecte articulate și formalizate ale cunoștințelor, nu o reprezentare exhaustivă a judecății tacite. Calitatea sa depinde de modelatori competenți, concepte adecvate, validare și întreținere la nivel organizațional.

Prin urmare, capitolul aduce două elemente complementare. Cadrul de referință descrie modul în care pot fi dezvoltate componentele de modelare și tehnice necesare. Încadrarea SECI–Hybrid Intelligence explică de ce aceste componente sunt relevante pentru managementul cunoștințelor și cum participă oamenii și AI la un flux continuu de interpretare, formalizare, recuperare și utilizare. Cele trei metode instanțiate, dezvoltate ulterior în teză, testează aplicabilitatea practică a acestei viziuni integrate pornind de la trei puncte de intrare diferite.

5 Analiza literaturii de specialitate

5.1 Literatura privind proiectarea sistemelor prin Work System Framework

Al cincilea capitol poziționează artefactele dezvoltate în raport cu literatura relevantă și identifică lacuna de cercetare de la intersecția modelării organizaționale, captării diagramatice a cunoștințelor și recuperării cunoștințelor asistate de AI. Literatura privind sistemele de lucru relevă un dezechilibru de durată între accesibilitatea conceptuală a Work System Framework și suportul tehnologic relativ redus disponibil în mod tradițional. WST oferă o modalitate practică de descriere a activității organizaționale prin procese și activități, participanți, informații, tehnologii, produse și servicii, clienți și elemente contextuale. Totuși, multe aplicații se bazează pe șabloane textuale de tip snapshot sau pe documente slab structurate, în locul unor depozite de modele interoperabile (Alter, 2006; Alter & Bork, 2019; Bork & Alter, 2020).

Studiile anterioare au investigat reprezentări vizuale, notații de modelare și formalizări asociate WST, demonstrând că perspectiva sistemelor de lucru poate fi integrată în tradiția mai largă a modelării conceptuale. Cu toate acestea, literatura lasă deschise oportunități pentru reprezentări ale sistemelor de lucru cu elemente tipizate și posibilități de descompunere, reutilizabile în afara mediului inițial de diagramare. Teza identifică astfel o nevoie metodologică specifică: descrierile bazate pe WST trebuie să rămână inteligibile pentru manageri, susținând în același timp verificări automate de consistență, urmărirea relațiilor între sisteme de lucru și exportul procesabil automat pentru interogare semantică. WSF4ADO răspunde acestei nevoi tratând conceptele sistemelor de lucru ca pe un limbaj explicit, în loc să reproducă pur și simplu forma documentului inițial într-o aplicație de desenare.

5.2 Literatura privind metodele secure by design centrate pe procese

Analiza literaturii de securitate cibernetică se concentrează pe raționamentul secure by design, în special pe relațiile dintre procesele de afaceri, fluxurile de date, componentele sistemelor informaționale, amenințări și măsurile de mitigare. Abordările consacrate de modelare a amenințărilor, inclusiv STRIDE și instrumentele care îl operaționalizează, oferă modalități sistematice de identificare a vulnerabilităților potențiale și de documentare a măsurilor de protecție (Kohnfelder & Garg, 1999). DFD-urile evidențiază circulația și procesarea datelor, granițele de încredere și depozitele de date; BPMN evidențiază activitățile de afaceri și fluxurile de lucru. Totuși, aceste perspective sunt adesea gestionate separat, ceea ce îngreunează urmărirea unei probleme de securitate de la un proces organizațional până la fluxul tehnic de date prin care s-ar putea materializa o amenințare.

Teza analizează abordări de integrare a modelelor de procese cu cerințe de securitate și analiza riscurilor. Contribuțiile lor demonstrează valoarea corelării problemelor de securitate cu arhitectura operațională, însă ansamblul abordărilor analizate nu acoperă pe deplin un parcurs unitar, bazat pe diagrame, către trasabilitate prin grafuri și interogare în limbaj natural.

Instrumentele de securitate pot oferi exporturi structurate fără a furniza o reprezentare semantică generală adecvată unor căi SPARQL reutilizabile între modelele de procese și cele de fluxuri de date. În schimb, instrumentele de diagramare pot oferi interacțiuni vizuale bogate fără a implementa integrarea cunoștințelor pentru utilizarea în AI. Contribuția CTM4ADO este poziționată ca răspuns la această fragmentare, punând accentul pe notații consacrate, taxonomii extensibile ale amenințărilor și legături semantice explicite, fără a propune un nou standard de clasificare a amenințărilor.

5.3 Literatura privind mediile de construire a grafurilor de cunoștințe

Literatura privind construirea grafurilor de cunoștințe indică faptul că crearea cunoștințelor orientate către RDF nu este echivalentă cu vizualizarea unui graf existent. Inginerii de cunoștințe au acces la instrumente mature pentru ontologii și Semantic Web, în special Protégé, însă multe interfețe sunt organizate în jurul editării formale a ontologiilor și presupun familiaritate cu terminologia RDF/OWL. În schimb, vizualizatoarele de grafuri pot afișa triplete existente sau structuri ontologice, fără a susține neapărat crearea intuitivă a unui conținut de graf semnificativ semantic. Aplicațiile de desenare de uz general permit exprimarea vizuală rapidă, dar nu garantează că relațiile desenate corespund unor enunțuri de graf corect formate și procesabile automat.

Această distincție motivează orientarea low-code a GRAPHxx. Rolul său nu este de a înlocui un triplestore sau de a reproduce toate capacitățile unui editor avansat de ontologii. Acesta urmărește un nivel intermediar productiv, în care utilizatorul poate porni de la obiecte, tipuri, relații și atribute de date, poate întâlni progresiv opțiuni specifice RDF și poate obține serializări utile. Literatura susține și valoarea separării sau combinării reprezentărilor la nivel de schemă și de instanță în funcție de sarcină, fără a impune ca orice construire de graf să înceapă cu o ontologie formală completă. Utilizarea educațională, prototiparea, ingineria cunoștințelor și generarea de date structurate pentru aplicații web oferă contexte complementare de aplicare pentru o astfel de metodă (Buchmann & Ghiran, 2023; Bock & Frank, 2021).

5.4 Literatura privind Model-Driven GraphRAG

O a patra direcție a literaturii privește convergența modelării conceptuale, grafurilor de cunoștințe și LLM-urilor. Cercetările anterioare privind transformarea modelelor, inclusiv CM2KG și abordările Enterprise Architecture Knowledge Graph, arată că diagramele structurate pot fi transformate în grafuri de cunoștințe și utilizate în analize computaționale (Smajević & Bork, 2021; Glaser et al., 2022). Cercetarea privind Semantics-Driven Systems Engineering susține, de asemenea, că modelele formale pot servi ca depozite semantice pentru raționament și sisteme inteligente, nu doar ca intrări pentru generarea de cod (Buchmann et al., 2024). Lucrările conexe explorează maparea semantică asistată de LLM-uri, prompturi aliniate

limbajelor de modelare, generarea modelelor din limbaj natural și achiziția cunoștințelor despre procese (Reitemeyer & Fill, 2024; Sandkuhl et al., 2026; Schinckus et al., 2026).

Lacuna identificată de teză este mai specifică decât absența transformărilor din modele conceptuale în grafuri sau absența GraphRAG. Aceste domenii includ deja soluții relevante. Lacuna constă în lipsa unei abordări sistematice prin metode de modelare, care să integreze în mod deliberat captarea diagramatică a cunoștințelor specifice domeniului, generarea deterministă a structurilor de graf și recuperarea mediată de LLM-uri din aceste structuri. Abordările analizate tind să pună accentul pe o anumită parte a acestui lanț: producerea modelelor, reprezentarea ontologiilor, extragerea grafurilor, raționamentul sau interacțiunea cu AI. Cele trei metode dezvoltate urmăresc integrarea întregului lanț și examinarea eficacității sale pentru grupuri distincte de utilizatori.

O altă concluzie a literaturii este că forma de reprezentare utilizată pentru recuperare nu determină singură calitatea recuperării. Abordările GraphRAG variază considerabil, iar utilizarea unui graf poate conduce în continuare la un context inadecvat din cauza identificării greșite a entităților în graf, a interogărilor generate incorect, a extinderii excesive a vecinătății sau a unei serializări nepotrivite. Prin urmare, evaluările trebuie să distingă între capacitatea unei reprezentări a cunoștințelor și eficacitatea algoritmului care selectează și transpune dovezile în limbaj natural. Această observație esențială fundamentează comparațiile controlate ale strategiilor de recuperare prezentate în capitolul următor și susține respingerea ideii că un context de graf mai amplu este invariabil mai bun.

6 Metodele de modelare instanțiate și dezvoltate

Al șaselea capitol constituie nucleul empiric și de dezvoltare al tezei. Acesta prezintă trei instanțieri ale cadrului general de referință pentru metode de modelare, fiecare pornind de la un context identificabil de activitate bazată pe cunoștințe și parcurgând cerințele, proiectarea limbajului de modelare, implementarea, demonstrațiile și evaluarea. Împreună, implementările arată diferitele modalități prin care același raționament de inginerie a metodelor poate produce grafuri pregătite pentru AI din cunoștințe articulate de comunități diferite de actori. Metodele diferă prin fundamentul conceptual și utilizatorii vizați; ele au în comun modelarea bazată pe metamodele, transformarea semantică deterministă și obiectivul de a face diagramele operaționale pentru interogarea grafurilor și interacțiunea bazată pe LLM-uri.

6.1 Metoda instanțiată pentru proiectarea sistemelor de lucru

Prima metodă instanțiată abordează reprezentarea și valorificarea cunoștințelor despre sistemele de lucru și este implementată în instrumentul WSF4ADO (Chiș et al., 2025b). În practica tradițională WST, managerii și cercetătorii pot documenta sistemele de lucru prin descrieri de tip snapshot, organizate în jurul unui set de elemente familiare. Aceste descrieri sunt atractive deoarece evită complexitatea cadrelor cuprinzătoare de arhitectură organizațională, însă oferă un suport comparativ redus pentru semantica formală, trasabilitatea între modele și reutilizarea automată. Metoda dezvoltată în teză urmărește să păstreze familiaritatea WST, adăugând structuri vizuale riguroase și un nivel de cunoștințe procesabil automat. Utilizatorii potențiali includ manageri, analiști de afaceri, cadre didactice și studenți care pot raționa despre sistemele de lucru, fără a deține neapărat expertiză în RDF sau în ingineria cunoștințelor (Alter, 2006; Alter & Bork, 2020).

Metoda este ghidată de mai multe cerințe interconectate. Un sistem de lucru trebuie reprezentat printr-o structură aliniată Work System Framework. Elementele sale constitutive și relațiile dintre acestea trebuie captate prin modelare accesibilă de tip drag-and-drop. Utilizatorii trebuie să poată naviga între o perspectivă de ansamblu asupra sistemului de lucru și reprezentări mai detaliate, inclusiv prin legături cu limbaje familiare precum BPMN. Metoda trebuie să faciliteze validarea, interogarea în terminologia WST și trasabilitatea strategiilor, proceselor, resurselor, produselor, clienților și a altor elemente dincolo de granițele unui sistem de lucru. În final, aceleași cunoștințe captate trebuie convertite determinist în RDF și puse la dispoziție atât pentru interogări SPARQL, cât și pentru interacțiuni GraphRAG.

Semnificația metodologică a acestor cerințe constă în orientarea lor dublă. Metoda trebuie să sprijine utilizatorii care doresc să înțeleagă vizual un sistem de lucru, dar trebuie și să păstreze suficiente detalii formale pentru a susține întrebări computaționale la care ar fi dificil de răspuns pornind de la documente descriptive separate. Această cerință exclude abordările bazate exclusiv pe capturi de ecran sau pe interpretarea vizuală prin LLM-uri. Semantica importantă

a domeniului poate fi stocată în atribute ale elementelor sau în referințe între modele care nu sunt ușor vizibile într-o imagine statică, în timp ce o transformare ghidată de metamodel poate utiliza direct aceste valori.

Limbajul WSF4ADO este fundamentat pe Work System Framework și susținut de o formalizare ontologică a conceptelor WST relevante (Chiș, Ghiran & Alter, 2024). Acesta permite descrierea snapshot-urilor sistemelor de lucru și a componentelor asociate, inclusiv procese și activități, participanți, clienți, informații, tehnologii, produse și servicii, strategii, infrastructură și elemente de mediu. Pot fi reprezentate perspective interne și externe distincte, fără a concentra toate conceptele relevante într-un singur spațiu vizual supraîncărcat. Relațiile dintre modele și adnotările oferă legături semantice care rămân disponibile în graful rezultat chiar dacă dispunerea vizuală este reorganizată.

O opțiune de proiectare deosebit de importantă constă în tratarea metamodelului ca nivel de mediere a domeniului. Un utilizator din mediul de afaceri creează o relație tipizată între un proces și o tehnologie sau între un produs și un client; metoda de modelare stabilește reprezentarea RDF corespunzătoare. Utilizatorul nu trebuie să memoreze identificatorii predicatelor sau să alcătuiască manual triplete. În același timp, modelatorii mai avansați pot utiliza relații prestabilite între modele, identificatori controlați și adnotări detaliate pentru a spori precizia cunoștințelor. Abordarea susține o trecere graduală de la descrieri informale la o semantică mai riguroasă, fără a impune o tranziție imediată către ingineria formală a ontologiilor.

Descompunerea sistemelor de lucru adaugă o a doua dimensiune a valorii. Un sistem de lucru de nivel superior poate fi corelat cu sisteme subordonate sau cu modele de activități asociate. Graful de cunoștințe rezultat poate păstra relațiile dintre aceste niveluri, permițând interogărilor să conecteze obiectivele organizaționale și valoarea oferită clienților cu elemente operaționale mai detaliate. Astfel este abordată o limitare frecventă a descrierilor bazate pe documente: chiar dacă mai multe snapshot-uri sunt inteligibile individual, relațiile dintre ele sunt adesea implicite sau dispersate în fișiere. În WSF4ADO, diagramele pot face parte dintr-o rețea semantică, iar navigarea între modele poate deveni trasabilitate bazată pe grafuri.

Implementarea utilizează mediul de modelare ADOxx pentru crearea modelelor și pentru funcțiile instrumentului. Mecanismele AdoScript inspectează obiectele modelelor și atributele relevante, apoi produc serializări RDF care exclud atributele grafice fără semnificație la nivelul domeniului. Structurile de graf create pot fi publicate într-un depozit RDF, în concret GraphDB în implementarea descrisă în teză. Abordarea include validarea conceptelor și relațiilor, precum și mecanisme de utilizabilitate destinate reducerii erorilor și interacțiunilor inutile ale utilizatorului. Ea urmărește obiectivul mai larg de a face cunoștințele despre sistemele de lucru reutilizabile în afara instrumentului inițial de modelare.

Metoda oferă o interfață pentru formularea întrebărilor în limbaj natural despre sistemele de lucru modelate. Întrebarea este asociată unui depozit RDF și procesată prin orchestrare Python și servicii LLM. Teza implementează două strategii directe principale în mediul de modelare. Generarea automată de SPARQL bazată pe LLM furnizează unui LLM întrebarea utilizatorului și ontologia WST; modelul generează o interogare formală asupra grafului, o execută și poate încerca să remedieze erorile. Generarea SPARQL bazată pe șabloane și asistată de LLM clasifică mai întâi întrebarea într-o categorie de interogări prestabilită și utilizează apoi șablonul corespunzător pentru a ghida generarea interogării. Ambele abordări folosesc rezultatele recuperate pentru a fundamenta un răspuns final în limbaj natural.

Strategia bazată pe șabloane este importantă pentru argumentul de proiectare al tezei. Aceasta încorporează cunoștințe de domeniu în procedura de recuperare, nu doar în baza de cunoștințe. Șabloanele restrâng spațiul interogărilor posibile și oferă tipare structurale deja aliniate ontologiei WST. Acest lucru poate spori fiabilitatea interogării atunci când domeniul este cunoscut și pot fi specificate în avans familii reprezentative de întrebări. Generarea automată a interogărilor oferă mai multă flexibilitate, dar calitatea sa depinde mai direct de capacitatea modelului lingvistic de a înțelege ontologia și de a transpune fiecare întrebare într-un tipar de graf corect.

Evaluarea experimentală depășește aceste două opțiuni. Pentru a evalua rolul cunoștințelor ontologice explicite și diferențele dintre conținutul grafic și cel textual, teza compară cinci strategii: SPARQL generat automat, SPARQL ghidat de șabloane, SPARQL bazat pe cunoașterea schemei fără ontologia completă, RAG naiv bazat pe text și Microsoft GraphRAG aplicat materialului sursă textual corespunzător. Comparația este relevantă deoarece întrebarea nu este doar dacă un instrument poate răspunde la întrebări WST, ci care combinații de reprezentare și recuperare sunt eficace în condiții definite.

Programul de evaluare începe cu mediul de modelare propriu-zis. Într-un experiment sintetic de scalabilitate, diagramele au fost populate cu un număr crescător de instanțe reprezentând nouă tipuri de componente ale sistemelor de lucru, cu densități diferite ale legăturilor. Testul a ajuns la 2700 de instanțe în configurația fără legături. Rezultatele au indicat că crearea obiectelor de modelare pe platforma aleasă a devenit progresiv mai costisitoare, cu o creștere observată apropiată de cea pătratică în configurația testată. În schimb, serializarea RDF a crescut aproximativ proporțional cu numărul de noduri și legături, indicând un comportament de export mai favorabil, aproape liniar. Distincția identifică un blocaj arhitectural important: editarea la scară mare este constrânsă mai mult de platforma vizuală subiacentă decât de algoritmul de serializare semantică.

Experimentele orientate către utilizatori au investigat dacă tipurile și relațiile pot fi manipulate eficient. Un experiment a evaluat efectul afișării informațiilor despre tip în timpul creării legăturilor. Pentru sarcini foarte mici, informațiile suplimentare din interfață au introdus un

anumit efort adițional. Pe măsură ce complexitatea sarcinilor a crescut, indicii de tip afișați permanent au redus substanțial efortul cognitiv de căutare și timpul de execuție, cu îmbunătățiri raportate ale vitezei de aproximativ 2,25 până la 3,66 ori. Un al doilea experiment a evaluat automatizarea creării conexiunilor adecvate între un proces și alte componente ale sistemului de lucru. Acesta a arătat că acțiunile care valorifică informațiile din model pot reduce substanțial efortul repetitiv de interacțiune necesar stabilirii manuale a unui număr mare de relații. Aceste constatări demonstrează că utilizabilitatea nu este separată de rigoarea semantică: interacțiunile bine proiectate, care țin cont de tipuri, pot face modelarea formală mai practică, nu doar să adauge constrângeri.

Un alt experiment a evaluat păstrarea semanticii într-un ciclu de transformare round-trip. Zece snapshot-uri ale unor sisteme de lucru au fost modelate, serializate în grafuri de cunoștințe și transformate înapoi în descrieri textuale cu ajutorul unor LLM-uri diferite. BERTScore a fost apoi utilizat pentru compararea descrierilor reconstruite cu cele originale. Modelele cu performanțe ridicate au obținut valori F1 medii macro de aproximativ 0,99; mediile macro ale modelelor testate au variat între aproximativ 0,94 și 0,99. Aceste rezultate sugerează că reprezentarea prin graf a păstrat semnificația esențială a snapshot-urilor sursă în condițiile testate. Teza identifică și cazuri dificile, precum entități cu rol dublu, etichete reutilizate și ramificații condiționale, în care reconstrucția semantică devine mai ambiguă, în special pentru modelele lingvistice mai puțin performante.

Întrebările de competență au oferit o altă formă de dovezi, examinând dacă grafurile rezultate pot susține urmărirea relațiilor, agregarea, inferența și analiza guvernanței. Exemplele au inclus conectarea intențiilor strategice la activitățile operaționale și la valoarea oferită clienților, derivarea clasificărilor pentru infrastructura critică, evaluarea relațiilor dintre agenții care participă la un sistem comun și urmărirea responsabilităților dincolo de granițele sistemelor de lucru. Aceste investigații necesită combinarea informațiilor între elemente și modele, nu identificarea lor într-o singură propoziție textuală izolată. Experimentele demonstrează potențialul expresiv al structurilor de cunoștințe modelate, fără a stabili, prin ele însele, performanțe universale în mediul industrial.

Cel mai distinctiv rezultat cantitativ pentru WSF4ADO privește strategia de recuperare utilizată pentru a răspunde la întrebări despre relațiile dintre elementele sistemelor de lucru. Într-o evaluare LLM-as-Judge, generarea SPARQL ghidată de șabloane a obținut 86,97% răspunsuri complet corecte, urmată de SPARQL generat automat prin LLM cu 65,76%, SPARQL bazat pe cunoașterea schemei cu 44,85%, Microsoft GraphRAG cu 32,73% și RAG naiv bazat pe text cu 28,48%. Comparația indică un avantaj substanțial al recuperării ghidate structural atunci când întrebările depind de relații cunoscute din domeniu. De asemenea, arată că un graf RDF nu este suficient în sine: rezultatul mult mai slab al generării bazate pe schemă ilustrează valoarea ontologiei complete de domeniu și a tiparelor de interogare consacrate.

Rezultatele privind timpul de execuție și costul introduc o precizare practică. RAG naiv a fost strategia cea mai rapidă și mai puțin costisitoare, cu aproximativ 1,64 secunde și 0,005 USD per întrebare. SPARQL ghidat de șabloane a înregistrat, în medie, aproximativ 5,90 secunde și 0,021 USD, în timp ce SPARQL generat automat a înregistrat 4,83 secunde și 0,016 USD. Prin urmare, o corectitudine mai ridicată implică un cost operațional suplimentar. Teza interpretează acest cost ca fiind potențial acceptabil pentru întrebări organizaționale în care un răspuns relațional incorect ar avea un cost mai mare decât o creștere modestă a timpului de recuperare sau a utilizării API-urilor. Compromisul adecvat depinde totuși de frecvența, caracterul critic și complexitatea întrebărilor vizate.

Metricile bazate pe RAGAS nuanțează interpretarea. SPARQL ghidat de șabloane a obținut un profil deosebit de echilibrat, cu valori raportate de 0,850 pentru fidelitatea față de context (faithfulness), 0,825 pentru acoperirea contextului relevant (context recall) și 0,819 pentru F1 al recuperării. Microsoft GraphRAG, în pofida unei rate mai scăzute a răspunsurilor complet corecte, a obținut valori ridicate pentru relevanța răspunsului și precizia contextului. Această aparentă discrepanță este instructivă: materialul recuperat poate fi relevant tematic, iar răspunsul poate părea adecvat, fără a reconstrui complet relațiile exacte cerute de răspunsul de referință. Abordările bazate pe text au fost deosebit de vulnerabile la întrebări care necesitau agregare, corelări între mai multe modele sau trasabilitate prin relații explicite.

Evaluarea prin similaritate cosinus a evidențiat un tipar în general concordant, dar mai puțin concludent. SPARQL ghidat de șabloane a obținut cel mai ridicat scor raportat (0,765), urmat de SPARQL generat automat (0,710), în timp ce RAG naiv a obținut 0,505. Teza tratează explicit această măsură ca fiind suplimentară, deoarece similaritatea semantică dintre două răspunsuri nu garantează corectitudinea factuală. Prin urmare, evaluarea susține o concluzie nuanțată: RDF derivat din modele, combinat cu recuperarea SPARQL fundamentată pe cunoștințe de domeniu, este deosebit de eficace pentru întrebări despre sistemele de lucru cu cerințe structurale complexe, în timp ce întrebările descriptive mai simple pot să nu justifice aceeași complexitate a recuperării.

WSF4ADO arată cum o conceptualizare managerială familiară poate fi transformată într-o resursă de cunoștințe formală și interoperabilă, fără a solicita ca fiecare actor implicat să devină specialist în Semantic Web. Acesta extinde practica WST inițială prin diagrame care păstrează relații tipizate, descompunerea și trasabilitatea între mai multe modele; face aceste diagrame procesabile automat prin RDF; și demonstrează modul în care recuperarea fundamentată în domeniu poate îmbunătăți răspunsul la întrebări prin LLM-uri. Evaluarea identifică și limite ale soluției, inclusiv costurile de creare la nivelul platformei, captarea incompletă a înțelegerii tacite și sensibilitatea la strategia de recuperare și la modelul lingvistic. Contribuția sa principală este o metodă de modelare specifică practicii, ale cărei produse de cunoștințe pot participa direct la GraphRAG.

6.2 Metoda de mapare a amenințărilor cibernetice și a măsurilor de mitigare centrată pe procese

A doua metodă instanțiată aplică aceleași principii de structurare și valorificare a cunoștințelor în analiza securității cibernetice, concentrându-se pe relațiile dintre procesele de afaceri, fluxurile tehnice de date, amenințările cibernetice potențiale și controalele de mitigare. Aceasta este implementată în instrumentul CTM4ADO (Chiș et al., 2026). Deciziile de securitate cibernetică necesită frecvent trecerea analiștilor între niveluri de abstractizare: o activitate de afaceri depinde de anumite procese tehnice; aceste procese schimbă informații peste granițe de încredere; anumite componente și fluxuri sunt expuse amenințărilor; iar acțiunile de mitigare trebuie corelate cu riscurile identificate. Metoda CTM4ADO este proiectată pentru a păstra aceste dependențe în reprezentările vizuale și în grafurile de cunoștințe derivate din ele.

Prin urmare, problema care motivează metoda nu se limitează la desenarea unei diagrame de amenințări. Ea constă în susținerea analizei security by design și a auditului sistemelor existente, menținând trasabilitatea către contextul operațional de afaceri. Metoda se adresează specialiștilor în securitate cibernetică și altor actori care lucrează deja cu BPMN, DFD-uri și taxonomii ale amenințărilor. Aceasta urmărește să păstreze gramatici de modelare familiare, să ofere o procedură de modelare cu efort redus de interacțiune, să conecteze perspective altfel separate, să permită generarea și interogarea grafurilor de cunoștințe și să pună aceste grafuri la dispoziția serviciilor AI în limbaj natural. Cerințe suplimentare vizează urmărirea amenințărilor și măsurilor de mitigare între elementele de proces și de flux de date, agregarea informațiilor de securitate, susținerea relațiilor derivate și calcularea unor scoruri privind expunerea.

Metoda pornește de la o perspectivă specifică domeniului, nu tehnologiei. Analiștii de securitate trebuie să își poată exprima cunoștințele în termeni de procese, depozite de date, entități externe, granițe de încredere, categorii de amenințări, măsuri de mitigare și relații relevante. Nivelul RDF oferă interoperabilitate și semantică, fără a constitui principalul vocabular prezentat utilizatorului. Aceasta reflectă ideea mai largă a tezei că informațiile și cunoștințele organizaționale trebuie reprezentate prin structuri conceptuale familiare persoanelor care le dețin, fără a le impune adoptarea terminologiei bazelor de date de grafuri pentru a-și articula cunoștințele.

Limbajul CTM4ADO combină mai multe perspective complementare. BPMN furnizează modelul proceselor și permite corelarea activităților cu descrieri tehnice de nivel inferior. Diagramele de flux de date identifică elemente de procesare, depozite de date, entități externe, schimburi de informații și granițe de încredere. Modelele dedicate amenințărilor și măsurilor de mitigare captează problemele de securitate și controalele destinate abordării lor, iar clasificările suplimentare permit utilizarea unor taxonomii standard sau personalizate. Mediul

susține diagrame BPMN de procese, DFD-uri, diagrame de amenințări și măsuri de mitigare și diagrame de clasificare a acestora, interconectate între ele.

O funcționalitate semnificativă este conexiunea dintre un subproces BPMN și reprezentarea DFD corespunzătoare. Aceasta le permite analiștilor să inspecteze implementarea informatică a unei activități de afaceri fără a pierde din vedere scopul său organizațional. Invers, atunci când o amenințare este asociată unei componente tehnice sau unui flux informațional, relația poate fi urmărită către activitățile de afaceri relevante. Metoda tratează astfel legăturile dintre modele ca trasabilitate semantică, nu doar ca facilități de navigare. La serializarea diagramelor, aceste legături devin relații formale disponibile pentru interogările asupra grafului.

Limbajul de modelare permite și crearea sau reutilizarea taxonomiilor de amenințări și măsuri de mitigare, inclusiv a unor abordări precum STRIDE și LINDDUN (Kohnfelder & Garg, 1999; Wuyts et al., 2020). Elementele tipizate ale fluxurilor de date pot fi adnotate cu amenințări la care sunt susceptibile, măsuri de mitigare posibile și aplicate, informații privind severitatea și detalii tehnice relevante. Constructele de grupare sunt utilizate acolo unde facilitează gestionarea interacțiunii vizuale, însă nu fiecare mecanism de grupare trebuie păstrat ca entitate de sine stătătoare în rezultatul RDF. Unele constructe vizuale auxiliare sunt convertite în relații semantice directe în timpul serializării. Acesta este un exemplu al principiului de proiectare conform căruia graful semantic trebuie să reflecte semnificația domeniului, nu aspecte incidentale ale dispunerii grafice.

Arhitectura tehnică utilizează ADOxx ca mediu vizual și AdoScript pentru gestionarea conținutului modelelor, validare și serializare RDF deterministă. Conținutul Turtle sau TriG rezultat poate fi transferat în GraphDB. Orchestrarea Python și serviciile LLM asigură interacțiunea GraphRAG, în timp ce scripturile interne susțin operații precum calculul scorurilor de expunere la amenințări de securitate, care nu necesită AI generativă. Mecanismul de calcul al scorurilor corelează amenințările asociate elementelor DFD cu posibilitățile de mitigare aplicabile, permițând funcții de audit de bază și rămânând compatibil cu diferite cataloage de amenințări. Această separare este adecvată: procesarea deterministă a modelelor este utilizată acolo unde regulile necesare sunt explicite, iar operațiile probabilistice ale modelelor lingvistice sunt rezervate sarcinilor precum interpretarea întrebărilor și formularea explicațiilor.

CTM4ADO oferă un context bogat pentru investigarea recuperării GraphRAG, deoarece întrebările de securitate privesc adesea relații aflate la mai mulți pași de o componentă nominalizată. O întrebare poate face referire la un element de procesare, dar poate viza fluxurile sale de date, amenințările, activele afectate, granițele de încredere sau măsurile de mitigare. Informațiile relevante pot fi conectate prin căi de lungimi diferite, ceea ce face ca dimensiunea și compoziția subgrafului recuperat să constituie variabile critice de proiectare.

Teza implementează traversarea grafului cu rază fixă, în care identificarea entităților este urmată de o extindere prin parcurgere în lățime până la un număr selectat de hop-uri. Interogările SPARQL recuperează tripletele din vecinătate, inclusiv proprietățile relevante ale nodurilor anonime (blank nodes), iar subgraful asamblat este furnizat drept context unui LLM. Adâncimile evaluate includ unul, două, trei și patru hop-uri. Această familie de strategii este relativ previzibilă, dar principala sa limitare este că extinderea bazată pe rază poate recupera multe enunțuri apropiate structural, însă irelevante pentru întrebarea efectivă.

O a doua strategie, dynamic hops, permite LLM-ului să determine adâncimea adecvată de extindere pe baza interpretării întrebării. O a treia strategie, ontology traversal, utilizează schema grafului pentru a selecta predicate promițătoare din punct de vedere semantic și pentru a urma căi către dovezile relevante. Spre deosebire de recuperarea cu rază fixă, traversarea ghidată de ontologie încearcă să prioritizeze relațiile importante pentru întrebare, în loc să trateze toate muchiile învecinate ca fiind la fel de informative. Beneficiul său potențial este un context de recuperare mai bine focalizat; riscul este că o alegere greșită a căii într-o etapă timpurie poate împiedica recuperarea dovezilor necesare. O abordare de referință RAG naivă bazată pe text și, într-un al doilea experiment, recuperarea din exporturi JSON OWASP Threat Dragon oferă repere de comparație cu alte forme de organizare a cunoștințelor.

Această varietate de strategii permite cercetării să examineze o întrebare cu implicații dincolo de securitatea cibernetică: cât context din graf este suficient? O vecinătate mai profundă crește cantitatea de dovezi potențial disponibile, dar amplifică și ambiguitatea, latența, consumul de tokenuri și dificultatea de a fundamenta răspunsul pe subsetul corect de fapte. În consecință, rezultatele sunt relevante pentru proiectarea sistemelor GraphRAG oriunde sunt utilizate modele organizaționale ample și interconectate ca surse de cunoștințe.

Metoda este demonstrată prin scenarii de securitate cibernetică în care procesele și fluxurile tehnice de informații sunt conectate cu amenințări și măsuri de mitigare. O evaluare principală utilizează un scenariu de comerț electronic, împreună cu categorii de întrebări care acoperă relații directe și căi structurale mai complexe. Obiectivul este evaluarea strategiilor de recuperare din grafuri în raport cu o abordare textuală de referință echivalentă, prin aprecieri ale corectitudinii, măsurători ale timpului și costului de execuție, indicatori de calitate bazați pe RAGAS și similaritatea semantică față de răspunsurile de referință.

În primul experiment, traversarea ontologiei a obținut cea mai mare rată a răspunsurilor complet corecte, de 73,94%. Strategia fixă de două hop-uri a obținut 61,82%, strategiile de trei și patru hop-uri au obținut fiecare 61,21%, RAG naiv a obținut 57,58%, dynamic hops a obținut 56,36%, iar recuperarea cu un singur hop a obținut 50,30%. Aceste procente trebuie interpretate împreună cu profilurile erorilor. Traversarea ontologiei a avut relativ puține răspunsuri parțial corecte, dar o proporție substanțială de răspunsuri complet incorecte, indicând tendința de a identifica fie calea necesară, fie de a eșua clar. O adâncime fixă mai mare a traversării a redus

ponderea răspunsurilor complet incorecte, dar a crescut numărul răspunsurilor parțiale și cantitatea de context furnizată generatorului.

Timpul și costul diferențiază suplimentar metodele. RAG naiv a rămas relativ puțin costisitor, cu o medie de aproximativ 2,70 secunde și 0,005 USD per întrebare. Traversarea ontologiei a înregistrat, în medie, 5,98 secunde și 0,016 USD, în timp ce traversarea fixă cu două hop-uri a înregistrat 5,71 secunde și 0,056 USD. Traversarea cu trei și patru hop-uri a implicat costuri considerabil mai mari, reflectând creșterea vecinătăților recuperate. Rezultatele susțin traversarea ontologiei ca strategie eficace atunci când ipotezele sale privind selectarea căilor sunt satisfăcute, dar susțin și utilizarea a două hop-uri ca opțiune implicită relativ stabilă atunci când trebuie echilibrate acuratețea, robustețea și limitarea contextului.

Rezultatele RAGAS introduc o distincție necesară între amploarea recuperării și generarea fundamentată pe context. Traversarea ontologiei a obținut valori relativ ridicate pentru faithfulness (0,871) și context recall (0,770) în primul experiment. Două hop-uri au produs o relevanță ridicată a răspunsului (0,885), dar o fidelitate mai redusă față de context (0,656), în timp ce trei și patru hop-uri au înregistrat scăderi suplimentare ale fidelității, la 0,427 și, respectiv, 0,396. Acest tipar nemonoton este unul dintre cele mai interesante rezultate ale capitolului. Recuperarea unor relații suplimentare poate furniza, în principiu, mai multe dovezi, dar poate îngreuna izolarea faptelor relevante și construirea unui răspuns fidel de către modelul lingvistic.

Al doilea experiment utilizează un scenariu de modelare a amenințărilor din sectorul medical și compară recuperarea din graf cu un flux de recuperare adaptat pentru JSON OWASP Threat Dragon. Cazurile experimentale sunt proiectate astfel încât să fie rezonabil de compatibile cu conceptele susținute de instrumentul de comparație, astfel încât evaluarea să nu fie doar un test al funcționalităților absente. Abordarea de referință JSON necesită un parser dedicat și un mecanism de indexare a entităților, un cost practic de implementare care nu se reflectă în cheltuielile API per interogare. Astfel, experimentul compară capacitățile unor reprezentări distincte ale cunoștințelor și ale procedurilor lor de recuperare într-un cadru de sarcini relativ comparabil.

În această a doua evaluare, recuperarea din graf cu două hop-uri a obținut 82,54% răspunsuri complet corecte, 17,46% răspunsuri parțial corecte și niciun răspuns incorect. Dynamic hops a obținut 71,43% răspunsuri complet corecte, traversarea ontologiei 65,08%, iar abordarea de referință Threat Dragon JSON 66,67%. Recuperarea cu două hop-uri a obținut și rezultate RAGAS deosebit de bune, inclusiv faithfulness de 0,969, context recall de 0,984, context precision de 1,000 și F1 al generării de 0,957. Reprezentarea bazată pe graf a demonstrat astfel un avantaj semnificativ în această sarcină, inclusiv prin păstrarea relațiilor din jurul granițelor de încredere și a asocierilor structurate dintre amenințări și măsurile de mitigare.

Abordarea de referință JSON a rămas puțin costisitoare, cu o medie de aproximativ 0,007 USD per întrebare, comparativ cu 0,021 USD pentru recuperarea din graf cu două hop-uri. Totuși, aceasta din urmă a fost în medie mai rapidă în experimentul raportat (3,56 secunde, față de 3,91 secunde pentru abordarea bazată pe JSON). Concluzia nu este că recuperarea RDF este întotdeauna mai ieftină sau superioară în orice condiții. Relațiile semantice explicite pot oferi un avantaj substanțial pentru întrebările de securitate care necesită trasabilitate structurată și în mai mulți pași, însă strategia de recuperare cea mai potrivită depinde de model și de sarcină.

Teza a investigat de ce fidelitatea față de context poate scădea chiar și atunci când pașii suplimentari de traversare fac disponibile mai multe triplete de suport. Într-o analiză diagnostică a 55 de întrebări, mediana dimensiunii contextului de recuperare serializat a crescut de la aproximativ 800 de tokenuri la un hop la 24200 la două hop-uri, 59800 la trei hop-uri și 78100 la patru hop-uri. Fidelitatea medie măsurată a scăzut de la 0,770 la 0,416 pe acest interval. La adâncimi mici, un număr semnificativ de răspunsuri au reprezentat refuzuri sau abțineri, deoarece dovezile necesare nu fuseseră recuperate; aceste refuzuri puteau primi scoruri favorabile de fidelitate, deși nu răspundeau la întrebare.

La niveluri mai profunde, refuzurile au devenit mai rare, dar subgrafurile recuperate au inclus numeroase entități și relații conexe care distrăgeau atenția de la întrebarea propriu-zisă. Erorile ulterioare au fost diferențiate între erori de generare, în care răspunsul nu utiliza corect dovezile disponibile, și limitări ale evaluatorului bazat pe LLM în procesarea contextelor foarte lungi. Analiza corelează aceste efecte cu observații publicate privind distragerea atenției de către dovezi aparent relevante și utilizarea mai dificilă a informațiilor înglobate în contexte lungi (Shi et al., 2023; Liu et al., 2024). O disponibilitate mai mare a dovezilor nu este echivalentă cu o utilizare mai bună a acestora. Această distincție limitează interpretările simpliste ale valorilor brute de context recall sau ale fidelității medii.

Contribuția principală a CTM4ADO este, în consecință, dublă. În primul rând, demonstrează o metodă practică de creare a unor cunoștințe de securitate cibernetică interconectate semantic, pornind de la diagrame și taxonomii adecvate domeniului. În al doilea rând, oferă dovezi empirice că recuperarea GraphRAG trebuie adaptată structurii întrebării. Căile ghidate de ontologie pot fi exacte și eficiente ca raport cost–rezultat, dar sensibile la erorile de selecție; recuperarea la adâncime mică este eficientă, dar poate omite relații esențiale; traversarea profundă ajunge la mai multe cunoștințe, dar poate supraîncărca generatorul. Aceste rezultate motivează mecanisme de recuperare hibride și adaptive, în locul unei configurări universale cu număr fix de hop-uri.

6.3 Metoda instanțiată pentru construirea vizuală a grafurilor de cunoștințe

A treia metodă instanțiată este implementată în instrumentul GRAPHxx (Chiș et al., 2025a), un mediu vizual pentru construirea unor grafuri de cunoștințe generale orientate către RDF. Spre deosebire de WSF4ADO și CTM4ADO, conceptualizarea sa principală nu este o teorie

de domeniu sau o practică profesională, ci însuși modelul RDF de reprezentare a cunoștințelor. Prin urmare, sfera sa de aplicare este specifică tehnologiei: oferă o interfață intuitivă de creare a unor structuri de cunoștințe care pot servi scopuri de afaceri, educaționale și tehnice foarte diferite. Această generalitate constituie o demonstrație complementară a flexibilității cadrului de referință.

Motivația este diferența dintre ușurința schițării unui graf și efortul necesar pentru a crea un graf semantic corect și reutilizabil în instrumente specializate. Un expert poate scrie Turtle sau edita o ontologie în Protégé, dar această expertiză nu ar trebui să fie o condiție prealabilă pentru exprimarea relațiilor de bază dintre entități identificabile. În același timp, realizarea unei diagrame într-o aplicație convențională de prezentări nu creează o resursă de cunoștințe RDF utilizabilă. GRAPHxx urmărește să combine exprimarea vizuală liberă cu o semantică explicită și exportabilă, conform unei filosofii low-code în care sarcinile uzuale pot fi realizate cu o expunere redusă la complexitatea specifică standardului (Bock & Frank, 2021; Chiș et al., 2025a).

Cerințele au fost fundamentate pe experiența educațională, practica ingineriei cunoștințelor și discuții cu practicieni, precum specialiștii SEO. Instrumentul trebuie să susțină construirea simplă prin drag-and-drop; grafuri care combină schema și conținutul; dezvoltarea pornind de la schemă ca opțiune, nu ca obligație; afișarea și ascunderea flexibilă a detaliilor; o terminologie care nu presupune stăpânirea OWL; multiple formate de serializare; și interoperabilitate cu triplestore-uri și servicii LLM. Experiența urmărită este una progresivă: reprezentările de bază ale grafurilor trebuie să fie ușor de realizat, în timp ce constructele RDF avansate rămân disponibile atunci când sunt adecvate.

Metamodelul GRAPHxx exprimă idei familiare precum obiecte (instanțe), tipuri de obiecte (clase), proprietăți, relații și valori. Acesta susține spații separate, dar permeabile, pentru cunoștințe orientate către schemă și aserțiuni orientate către conținut. Graph Schema pune accentul pe clase, proprietăți și relațiile conceptuale dintre acestea; Graph Content pune accentul pe resurse, literali și aserțiuni. Utilizatorii pot totuși combina constructele relevante sau le pot conecta între diagrame, evitând o separare rigidă TBox/ABox. Acest lucru este deosebit de util în predarea principiilor RDF, în prototiparea unui domeniu nefamiliar sau în crearea unui graf mic fără definirea prealabilă a unei ontologii complete.

Limbajul vizual utilizează denumiri accesibile pentru relațiile formale RDF. Constructele corespunzătoare rdf:type, domeniului și codomeniului (domain și range), precum și relațiilor de subclasă sau subproprietate sunt reprezentate prin termeni precum IsOfType, From, To și IsAKindOf. Identificatorii individuali, valorile literale tipizate, constructele auxiliare de tip blank node și relațiile obișnuite dintre entități permit utilizatorilor să construiască tipare de graf semnificative. Identificatorii și spațiile de nume adecvate pot fi introduse explicit, selectate din vocabularele disponibile sau generate de instrument atunci când este necesar. Această abordare

păstrează interoperabilitatea formală, reducând expunerea prematură și inutilă la sintaxă și terminologie.

Mai multe mecanisme de utilizabilitate concretizează ipotezele de proiectare ale metodei. Prefixele și identificatorii locali pot fi gestionați prin atribute ale modelului și selecții reutilizabile. Tipurile și proprietățile de date pot fi reprezentate ca săgeți sau adnotări, în funcție de complexitatea vizuală. Pictograme specifice domeniului pot fi atașate unor noduri altfel minimaliste. Containerele susțin structuri grupate sau ordonate; nodurile auxiliare permit tipare RDF imbricate; iar obiectele vizuale pot fi conectate între diagrame. Aceste decizii se bazează pe echilibrul dintre economia grafică și transparența semantică formulat de Moody (2009): diagramele trebuie să rămână ușor de gestionat, oferind totodată suficiente diferențieri pentru ca utilizatorii să le interpreteze conținutul.

Proiectarea respectă și diferența dintre constructele de prezentare și enunțurile semantice. Dispunerea vizuală, poziționarea formelor și facilitățile interfeței nu trebuie să devină accidental afirmații despre domeniu în graful exportat. Scripturile de serializare transformă nodurile, relațiile, identitățile, hyperlinkurile și adnotările cu semnificație din model în structuri RDF, transpunând, acolo unde este relevant, conceptele simplificate prezentate utilizatorilor în predicate standard. Astfel, graful devine transferabil, fără a rămâne dependent de reprezentarea internă a editorului.

GRAPHxx susține serializarea Turtle, TriG și JSON-LD, selectată în funcție de cerințele utilizării ulterioare. Turtle și TriG pot fi utilizate cu triplestore-uri RDF și sisteme GraphRAG; JSON-LD oferă un export deosebit de accesibil pentru conținut web structurat. Un triplestore precum GraphDB gestionează stocarea, indexarea, raționamentul și interogarea SPARQL, în timp ce editorul furnizează nivelul de creare vizuală. Componentele suplimentare bazate pe Python și LLM-uri permit recuperarea conținutului selectat din graf și utilizarea acestuia pentru răspunsuri la întrebări în limbaj natural. Prin urmare, arhitectura separă în mod deliberat crearea conținutului de procesarea scalabilă a grafurilor.

Două scenarii demonstrative ilustrează diversitatea utilizărilor sale. Într-un scenariu GraphRAG, fragmentele de graf reprezentate vizual și interconectate devin cunoștințe explicite care pot fi publicate și interogate, subgrafurile adecvate fiind furnizate unui LLM. Aceasta susține un flux om–graf–model lingvistic similar celorlalte metode instanțiate, fără a limita însă conținutul la sisteme de lucru sau securitate cibernetică. Într-un scenariu de SEO semantic, utilizatorul creează un graf de entități, tipuri și proprietăți corespunzătoare informațiilor structurate ale unui website și obține JSON-LD adecvat pentru încorporarea într-o pagină HTML. Astfel, se demonstrează că aceleași principii de modelare susțin atât recuperarea pentru AI, cât și practici consacrate de publicare web în formate procesabile automat.

Cele două scenarii evidențiază un avantaj distinctiv al metodei: o singură operație de creare a conținutului semantic poate servi mai multor destinații. O diagramă construită pentru înțelegere

sau explicare poate deveni și o intrare pentru un triplestore, un artefact web procesabil automat sau o sursă pentru interacțiune asistată de LLM-uri. Generalitatea este asigurată de interoperabilitatea RDF; utilizabilitatea este susținută de un DSML dezvoltat special pentru construirea grafurilor.

Teza evaluează GRAPHxx prin sarcini care compară crearea unui conținut de graf echivalent prin mai multe mijloace: modelarea în GRAPHxx, desenarea liberă în PowerPoint, editarea directă a Turtle sau JSON-LD și utilizarea editorului de ontologii Protégé. Protocolul măsoară timpul de finalizare a sarcinilor, un scor al efortului bazat pe interacțiuni, erorile și observațiile calitative. Grupul raportat a inclus șapte cadre didactice, patru familiarizate cu RDF și trei nefamiliarizate cu RDF, dar cu experiență în diagramare. Sarcinile care necesitau serializare RDF directă sau utilizarea Protégé au fost atribuite doar participanților cu cunoștințele necesare, reflectând expertiza specializată cerută de aceste abordări.

Rezultatele indică faptul că crearea vizuală de conținut semantic poate reduce forme importante de dificultate, în special în comparație cu un program de desenare de uz general sau cu serializarea directă. Constrângerile grafice previn unele greșeli posibile la scrierea manuală a sintaxei, iar instrumentul le permite utilizatorilor să evite repetarea declarațiilor de spații de nume și a enunțurilor RDF de nivel tehnic. Comparația relevă și nuanțe importante. Experiența anterioară contează: participanții familiarizați cu RDF pot realiza mai eficient sarcinile tehnice, iar GRAPHxx implică în continuare un efort suplimentar al interfeței pentru deschiderea fișelor de adnotare, selectarea relațiilor și replicarea tiparelor recurente. Familiaritatea cu PowerPoint sau Protégé influențează timpii măsurați, astfel încât rezultatele sunt mai adecvat interpretate ca dovezi formative pentru proiectare decât ca un clasament definitiv al instrumentelor, valabil pentru întreaga populație de utilizatori.

Evaluarea contribuie direct la rafinarea proiectării. Limbajul a evoluat către o terminologie mai simplă și o separare mai puțin rigidă între schemă și conținut. Următoarea iterație ar trebui să îmbunătățească duplicarea în masă a tiparelor de graf, selectarea grupată a obiectelor și alte interacțiuni care generează efort repetitiv. Metodologia indică și necesitatea unor evaluări mai ample cu utilizatori începători și din mediul industrial, pentru a evalua mai convingător obiectivul de a face dezvoltarea grafurilor de cunoștințe accesibilă nespecialiștilor.

Analiza orientată către funcționalități poziționează GRAPHxx între mai multe categorii consacrate de instrumente. Convertoarele din modele în grafuri de cunoștințe specifice unui domeniu pot genera grafuri valide, dar limitează utilizatorii la o conceptualizare predefinită a domeniului. Editoarele de ontologii oferă capacități semantice sofisticate, dar pot pune accentul pe fluxuri care pornesc de la ontologie și pe terminologie tehnică. Vizualizatoarele RDF susțin inspectarea cunoștințelor create în alte medii, în timp ce instrumentele generale de desenare nu garantează semantica formală RDF. GRAPHxx încearcă să combine crearea grafică accesibilă,

validitatea bazată pe metamodel, serializarea semantică și reutilizarea ulterioară a cunoștințelor într-o singură metodă.

Metoda permite și anumite interogări structurate în mediul ADOxx, prin limbajul său de interogare, inclusiv întrebări care urmăresc relațiile din modele și legăturile dintre modele. Interogările și inferențele mai ample rămân în responsabilitatea depozitului RDF. Această distribuire a responsabilităților demonstrează o delimitare arhitecturală atentă: mediul de modelare nu este prezentat ca înlocuitor al infrastructurii scalabile de grafuri, ci ca o modalitate accesibilă de populare și gestionare a structurilor interoperabile de cunoștințe.

Testele sintetice de performanță au evaluat limitele reprezentării unor exemple de grafuri mari în mediul de metamodelare ales. Un test a creat până la 5000 de noduri ThingIdentifier într-o diagramă, timpii de populare crescând semnificativ dincolo de aproximativ 3000 de obiecte. Un alt test a generat până la 1500 de noduri ThingIdentifier cu două relații per nod, rezultând un total de 4500 de constructe de modelare; la limita superioară, popularea diagramei a necesitat un timp considerabil, în timp ce exportul RDF a rămas comparativ scurt. Un test suplimentar a crescut numărul atributelor de date per nod și a constatat că efortul de export crește odată cu numărul enunțurilor RDF. Concluzia este similară celei pentru WSF4ADO: serializarea semantică este fezabilă tehnic la scări utile pentru exemplificare, în timp ce crearea unui număr mare de obiecte vizuale poate constitui factorul limitativ.

Evaluările prezintă mai multe limite de validitate. Eșantionul de utilizatori este mic și nu este reprezentativ pentru toate categoriile posibile de modelatori organizaționali. Unii participanți dețineau deja competențe relevante, iar efectele învățării pe termen lung nu au fost evaluate. Complexitatea și diversitatea exemplelor de grafuri testate au fost limitate, iar măsura efortului bazată pe interacțiuni ar putea fi rafinată pentru a diferenția clase de erori. În consecință, teza situează GRAPHxx într-o etapă avansată, dar încă în evoluție, a procesului Design Science, în care dovezile susțin direcția metodei și fundamentează o agendă substanțială de dezvoltare viitoare.

GRAPHxx demonstrează că o metodă de construire a grafurilor de cunoștințe bazată pe modele poate păstra interoperabilitatea RDF, oferind o experiență de creare mai apropiată de organizarea grafică a ideilor decât de construirea manuală a tripletelor. Contribuția sa distinctivă constă în transpunerea dintre concepte vizuale accesibile și semantica formală a grafurilor, cu flexibilitate pentru conținut care combină schema și instanțele. Prin susținerea atât a publicării RDF, cât și a fluxurilor de cunoștințe orientate către LLM-uri, instrumentul face cadrul general Model-Driven GraphRAG aplicabil dincolo de o singură disciplină organizațională. Dovezile rezultate sunt cele mai solide în privința fezabilității funcționale, a îmbunătățirilor progresive ale utilizabilității și a performanței la scările de modelare examinate; afirmațiile privind adoptarea pe scară largă și eficiența universală necesită evaluări suplimentare.

7 Discuții și implicații

7.1 Sinteză

Al șaptelea capitol interpretează rezultatele cercetării la nivelul contribuției metodologice generale, fără a se limita la reluarea funcționalităților celor trei instrumente. Argumentul său central este că modelarea organizațională poate fi repoziționată ca o componentă din etapele inițiale ale managementului cunoștințelor asistat de AI. Diagramele organizaționale devin mai valoroase atunci când conceptele, relațiile și adnotările lor pot fi transformate în reprezentări semantice interoperabile și reutilizate în recuperarea cunoștințelor. WSF4ADO, CTM4ADO și GRAPHxx demonstrează acest principiu în contexte diferite, de la descrieri manageriale ale sistemelor de lucru și analiza securității cibernetice până la crearea generică de cunoștințe RDF.

Capitolul corelează artefactele rezultate cu Active Knowledge Modeling, subliniind că modelele trebuie să fie disponibile pentru operații computaționale în timpul activităților bazate pe cunoștințe. În cele trei cazuri, acest rol activ este obținut prin trecerea de la modelarea vizuală la structuri RDF care pot susține interogări, raționament și interacțiune în limbaj natural. Metodele abordează și caracteristici ale Hybrid Intelligence: augmentarea centrată pe om, reprezentări semantice comune, utilizare colaborativă și răspunsuri potențial mai explicabile. Infrastructurile de cunoștințe rezultate rămân sub supraveghere umană, în special deoarece caracterul complet al conținutului modelat și relevanța interpretărilor sale nu pot fi stabilite doar prin conversie tehnică.

7.2 Discutarea întrebărilor de cercetare

RQ1: Cum pot fi captate cunoștințele organizaționale tacite prin intermediul metamodelelor, care acționează ca mediatori specifici domeniului în transferurile de cunoștințe dintre actorii organizaționali și sistemele AI augmentate prin recuperare de informații?

Cercetarea susține o explicație în două etape a modului în care cunoștințele organizaționale pot deveni procesabile automat. Mai întâi, experții de domeniu articulează aspecte selectate ale înțelegerii lor prin diagrame ale căror concepte și conexiuni sunt constrânse de metamodele. Apoi, algoritmii de procesare a modelelor transformă diagramele rezultate în grafuri de cunoștințe RDF care păstrează relațiile semantice modelate. WSF4ADO face conceptele WST accesibile utilizatorilor orientați către afaceri; CTM4ADO exprimă relațiile tehnice de securitate în termeni de procese și fluxuri de date; GRAPHxx permite o creare mai generică a grafurilor. Metamodelele funcționează atât ca ghid pentru exprimare, cât și ca reguli formale de mediere care mențin continuitatea dintre semnificațiile intenționate de utilizatori și ceea ce recuperează sistemele.

Rezultatele nu implică faptul că toate cunoștințele tacite pot fi convertite exhaustiv în enunțuri explicite. Experiența umană, judecata contextuală, practica situată și ipotezele care rămân

nearticulate nu pot fi captate prin serializare automată. Metodele oferă un parcurs riguros pentru captarea și formalizarea aspectelor exprimabile ale înțelegerii organizaționale. Interpretarea modelatorului rămâne indispensabilă, iar graful rezultat trebuie tratat ca o reprezentare a cunoștințelor care necesită întreținere, nu ca un substitut complet al expertizei de domeniu.

RQ2: Cum poate fi facilitată dezvoltarea grafurilor de cunoștințe organizaționale pentru modelatorii familiarizați cu conceptualizări specifice domeniului și cu modelarea organizațională, dar care nu dețin competențe tehnice în domeniul grafurilor de cunoștințe?

Teza sugerează că reducerea barierei de adoptare necesită mai mult decât înlocuirea codului cu casete și săgeți. Sunt importante cinci proprietăți de proiectare interconectate: concepte familiare specifice domeniului, constrângeri bazate pe metamodel, notații și interacțiuni vizuale, transformări semantice automatizate și interoperabilitate cu infrastructura care ascunde operațiile tehnice inutile. Managerii pot lucra cu concepte ale sistemelor de lucru, specialiștii în securitate cibernetică cu amenințări și fluxuri de date, iar modelatorii generali de cunoștințe cu concepte intuitive de obiecte și relații. Complexitatea tehnică este transferată din interacțiunea utilizatorului în metoda dezvoltată, în timp ce opțiunile avansate rămân disponibile atunci când sunt necesare. Această proiectare nu este complet independentă de expertiza utilizatorului, dar face posibilă crearea cunoștințelor RDF prin competențe pe care utilizatorii le dețin deja.

RQ3: Cum se compară descrierile tradiționale nestructurate ale conținutului organizațional cu descrierile diagramatice bazate pe DSML, din perspectiva calității răspunsurilor LLM-urilor, utilizând diferite strategii de recuperare pentru conținutul bazat pe modele?

Dovezile favorizează reprezentările prin grafuri derivate din modele în special atunci când întrebările necesită relații explicite, corelări structurale, dependențe între modele sau trasabilitate în mai mulți pași. Abordarea WSF4ADO bazată pe SPARQL ghidat de șabloane a produs o proporție mai mare de răspunsuri complet corecte decât abordările RAG textuale cu care a fost comparată. CTM4ADO a arătat, de asemenea, că recuperarea bazată pe grafuri poate susține explicații de securitate corecte, inclusiv în comparație cu recuperarea dintr-un export JSON structurat. Totuși, rezultatele avertizează și asupra unei afirmații generale că GraphRAG este întotdeauna superior. Recuperarea textuală poate rămâne eficientă și adecvată pentru întrebări descriptive simple. Recuperarea din grafuri poate eșua din cauza identificării incorecte a entităților, a căilor alese necorespunzător, a ipotezelor ontologice incomplete sau a extinderii excesive a contextului. Afirmația adecvată este cea a unei superiorități condiționate în sarcini relaționale intensive în cunoștințe, nu a înlocuirii universale a RAG bazat pe text.

7.3 Discutarea contribuției principale de tip artefact

Prima categorie de implicații privește managementul cunoștințelor și cadrul SECI. Modelarea conceptuală este prezentată ca mijloc de susținere a externalizării, în timp ce transformarea modelelor în RDF și integrarea grafurilor consolidează combinarea cunoștințelor explicite. Recuperarea mediată de LLM-uri poate furniza ulterior conținut accesibil pentru interpretare umană și posibilă internalizare. Aceasta oferă o perspectivă contemporană asupra modului în care cunoștințele organizaționale pot trece prin forme vizuale, semantice și textuale în activități asistate de AI. Teza nu prezintă o evaluare cauzală completă a învățării organizaționale prin toate cele patru moduri SECI; ea contribuie cu o interpretare a rolului pe care metodele de modelare dezvoltate îl pot avea în aceste moduri (Nonaka, 1994; Nonaka & von Krogh, 2009), cu accent pe externalizare și combinare.

A doua categorie de implicații privește Hybrid Intelligence. Experții de domeniu rămân sursele principale ale cunoștințelor contextuale și păstrează responsabilitatea de a decide care relații sunt corecte, relevante și suficient de complete. Sistemul tehnic permite formalizarea și recuperarea, iar LLM-ul transpune dovezile selectate în răspunsuri în limbaj natural. Această distribuire a activităților creează posibilitatea unui raționament asistat de AI, trasabil și fundamentat pe modele explicite. Ea poate îmbunătăți capacitatea de a inspecta ipotezele care stau la baza unei recomandări, deși fundamentarea pe graf nu elimină, în sine, halucinațiile LLM-urilor și nu garantează utilizarea responsabilă. Prin urmare, Hybrid Intelligence depinde de guvernanță și validare în aceeași măsură în care depinde de arhitectură.

A treia categorie de implicații privește ingineria metodelor de modelare. În mod tradițional, metodele de modelare pun accentul pe comunicare, analiză, documentare, simulare sau generare de cod și configurații. Teza adaugă un rol suplimentar: metodele pot produce infrastructuri semantice de cunoștințe utilizabile de AI. În această interpretare, exportul semantic, mapările ontologice, recuperarea din grafuri și interacțiunile cu LLM-uri nu sunt extensii incidentale, ci mecanisme legitime ale metodelor de modelare. Contribuția constă astfel în cunoștințe metodologice de proiectare reutilizabile pentru o clasă emergentă de medii de modelare situate între captarea cunoștințelor umane și AI generativă.

7.4 Discutarea rezultatelor evaluării

Pentru managementul cunoștințelor organizaționale, principala concluzie practică este tratarea diagramelor menținute la zi ca resurse de cunoștințe reutilizabile. Organizațiile investesc frecvent în hărți de procese, descrieri de arhitectură, proiecte de sisteme și modele specializate de domeniu. Valoarea acestora este redusă atunci când rămân documente izolate. Transformarea semantică permite interogarea și integrarea controlată, astfel încât părți ale acelor cunoștințe deja explicite să poată fi reutilizate în servicii informaționale noi. Totuși,

organizațiile trebuie să păstreze corectitudinea și actualitatea modelelor; în caz contrar, serviciile AI vor face doar mai ușor accesibile ipoteze depășite.

Pentru manageri și practicienii sistemelor de lucru, teza indică faptul că reprezentările structurate ale sistemelor de lucru pot susține întrebări analitice despre strategii, resurse, procese și furnizarea de valoare, la care este dificil de răspuns pornind de la șabloane snapshot separate. Pentru analiștii de securitate cibernetică, metoda dezvoltată oferă posibilitatea de a conecta expunerile la amenințări de securitate cu procesele de afaceri, granițele de încredere, componentele tehnice și măsurile de mitigare aplicate. Pentru inginerii de cunoștințe, rezultatele GRAPHxx sugerează o modalitate de reducere a dependenței de scrierea manuală a sintaxei RDF în captarea inițială a cunoștințelor, predare, prototipare și colaborarea cu actorii implicați. Pentru toate cele trei roluri, valoarea nu constă în primul rând într-o interfață atractivă vizual, ci în conversia deciziilor umane de modelare în obiecte semantice care rămân interogabile în afara editorului inițial.

Din perspectivă arhitecturală, rezultatele subliniază necesitatea separării construirii grafului de recuperarea din graf și de generarea textului, precum și a evaluării independente a fiecărei etape. O conversie corectă din model în RDF nu garantează identificarea corectă a entităților. Identificarea corectă a entităților nu garantează selectarea unui subgraf util. Tripletele relevante recuperate nu asigură combinarea lor fidelă de către un LLM. Prin urmare, cele mai solide soluții necesită ontologii sau vocabulare atent guvernate, reguli de transformare transparente, strategii de recuperare adecvate structurii întrebărilor și măsuri care disting eficacitatea recuperării de calitatea răspunsurilor. Experimentele motivează și un GraphRAG adaptiv, capabil să selecteze între interogări directe asupra grafului, vecinătăți cu număr limitat de hop-uri, căi ghidate de ontologie și recuperare textuală, în loc să se bazeze pe o strategie universală.

7.5 Implicații teoretice

Teza extinde interpretarea spiralei SECI de conversie a cunoștințelor prin introducerea modelării diagramatice, a grafurilor de cunoștințe și a GraphRAG ca mecanisme care susțin conversia cunoștințelor organizaționale. Socializarea rămâne un proces centrat pe om, în timp ce externalizarea este facilitată prin metode de modelare specifice domeniului, care transformă cunoștințele actorilor implicați în reprezentări structurate. Combinarea este consolidată prin integrarea cunoștințelor bazată pe RDF, permițând reutilizarea acestora între sisteme diferite, iar internalizarea este susținută prin răspunsul la întrebări asistat de AI. În consecință, Model-Driven GraphRAG introduce o dimensiune semantică și computațională în spirala SECI tradițională, facilitând partajarea și reutilizarea cunoștințelor în medii organizaționale care utilizează AI.

Abordarea propusă contribuie la Hybrid Intelligence prin stabilirea unei relații complementare între expertiza umană și inteligența artificială. Actorii umani rămân responsabili pentru conceptualizarea, modelarea, validarea și interpretarea cunoștințelor, în timp ce sistemele AI

susțin recuperarea cunoștințelor, explicarea și luarea deciziilor. Prin fundamentarea răspunsurilor generate de LLM-uri pe grafuri de cunoștințe derivate din modele, abordarea facilitează și trasabilitatea și explicabilitatea. Astfel, Model-Driven GraphRAG oferă o infrastructură de colaborare om–AI în care AI amplifică, în loc să înlocuiască, cunoștințele și judecata umană.

Cercetarea extinde rolul tradițional al metodelor de modelare dincolo de reprezentarea, comunicarea și documentarea cunoștințelor, către dezvoltarea unor infrastructuri de cunoștințe pregătite pentru AI. Prin integrarea metamodelelor, mapărilor semantice, serializării RDF și mecanismelor GraphRAG, metodele de modelare devin instrumente de generare și operaționalizare a cunoștințelor organizaționale. Cadrul de referință propus contribuie cu principii de proiectare reutilizabile pentru dezvoltarea unor metode de modelare care conectează reprezentările vizuale orientate către oameni cu procesarea cunoștințelor orientată către mașini, extinzând sfera ingineriei metodelor de modelare în contextul AI la nivel organizațional.

7.6 Implicații practice

Cercetarea demonstrează modul în care diagramele organizaționale pot evolua de la documentație statică la resurse operaționale de cunoștințe care susțin interogarea semantică, trasabilitatea și recuperarea cunoștințelor asistată de AI. Prin transformarea reprezentărilor diagramatice în grafuri de cunoștințe RDF, organizațiile pot îmbunătăți accesibilitatea și reutilizarea cunoștințelor distribuite între sisteme organizaționale diferite. Totuși, implementarea cu succes necesită practici adecvate de guvernanță a cunoștințelor, inclusiv validarea și întreținerea modelelor, precum și responsabilități clar definite pentru păstrarea corectitudinii și actualității cunoștințelor organizaționale.

WSF4ADO demonstrează modul în care Work System Framework poate fi operaționalizat prin modelare diagramatică și reprezentări semantice ale cunoștințelor. Managerii pot capta cunoștințe organizaționale utilizând concepte de afaceri familiare și pot explora ulterior relațiile dintre procese, participanți, tehnologii, informații, produse, servicii și alte elemente ale sistemelor de lucru prin interogare asistată de AI. Aceasta facilitează analiza organizațională, îmbunătățirea proceselor și reproiectarea sistemelor, fără a impune actorilor implicați cunoștințe tehnice de RDF sau SPARQL.

CTM4ADO le permite analiștilor de securitate cibernetică să conecteze procese de afaceri, fluxuri de date, amenințări cibernetice și măsuri de mitigare într-o reprezentare semantică unitară. Grafurile de cunoștințe rezultate susțin trasabilitatea, analiza contextuală a riscurilor și interacțiunea în limbaj natural cu cunoștințele de securitate cibernetică. Aceasta creează oportunități pentru o evaluare mai bine fundamentată a amenințărilor și pentru sprijinirea deciziilor de securitate. Totuși, recomandările generate de AI necesită validarea experților, în

special având în vedere riscurile operaționale asociate informațiilor incomplete sau incorecte din domeniul securității cibernetice.

GRAPHxx facilitează dezvoltarea grafurilor de cunoștințe RDF printr-un mediu de modelare vizuală, reducând necesitatea manipulării directe a formatelor tehnice de serializare. Abordarea susține elicitarea cunoștințelor, prototiparea rapidă, conceptualizarea colaborativă și dezvoltarea structurilor semantice de cunoștințe adecvate aplicațiilor GraphRAG. GRAPHxx completează mediile consacrate de inginerie a ontologiilor, oferind o punte accesibilă între modelarea conceptuală vizuală și ingineria formală a grafurilor de cunoștințe.

7.7 Implicații tehnice și arhitecturale

Cercetarea identifică mai multe considerente arhitecturale pentru dezvoltarea sistemelor Model-Driven GraphRAG. În primul rând, calitatea reprezentării subiacente a cunoștințelor, inclusiv a metamodelelor, ontologiilor și relațiilor semantice, influențează direct calitatea recuperării și a răspunsurilor. În al doilea rând, mecanismele de recuperare trebuie să se adapteze complexității și structurii relaționale a întrebărilor utilizatorilor, deoarece o traversare mai profundă a grafului nu produce neapărat rezultate mai exacte. Rezultatele susțin și combinarea mecanismelor de recuperare bazate pe grafuri și pe text în arhitecturi hibride. În plus, cunoștințele derivate din modele permit o mai bună explicabilitate prin conectarea răspunsurilor generate la structurile de cunoștințe din care provin. În final, implementările organizaționale necesită mecanisme de validare, versionare, actualizare și guvernanță a cunoștințelor pentru a menține alinierea cu mediile organizaționale în schimbare.

7.8 Implicații metodologice pentru Design Science Research

Din perspectivă metodologică, teza demonstrează adecvarea combinării Design Science Research (DSR) cu Agile Modeling Method Engineering (AMME) pentru dezvoltarea metodelor de modelare orientate către AI. Ciclul iterativ produce–use permite rafinarea progresivă a limbajelor de modelare, implementărilor software, transformărilor semantice și mecanismelor de integrare GraphRAG. Cercetarea subliniază, de asemenea, că aceste componente trebuie proiectate și evaluate ca un flux integrat de management al cunoștințelor, nu ca artefacte independente. Dincolo de cele trei metode instanțiate și dezvoltate, cadrul rezultat oferă cunoștințe de proiectare transferabile, care pot fundamenta dezvoltarea unor metode de modelare similare în alte domenii de aplicare.

7.9 Limite

Cercetarea prezintă mai multe limite privind scara, generalizabilitatea și evaluarea artefactelor dezvoltate. Deși metodele de modelare au fost demonstrate prin multiple scenarii, rămâne necesară o validare mai amplă în medii industriale și cu grupuri mai diverse de utilizatori. În

plus, metricile automate de evaluare a LLM-urilor și abordările LLM-as-Judge pot să nu reflecte integral utilitatea practică și pot introduce inconsecvențe de măsurare.

Experimentele CTM4ADO au arătat și că mărirea adâncimii de traversare a grafului poate afecta negativ fidelitatea față de context, în pofida unei acoperiri informaționale mai bune. Analiza suplimentară a atribuit acest comportament creșterii zgomotului contextual, erorilor de generare și limitărilor evaluării bazate pe LLM-uri în procesarea contextelor ample, în acord cu rezultatele raportate de Shi et al. (2023) și Liu et al. (2024). În final, o interoperabilitate mai strânsă între WSF4ADO, CTM4ADO și GRAPHxx rămâne o direcție viitoare de cercetare, în special în ceea ce privește vocabularele comune, integrarea între modele și recuperarea federată a cunoștințelor.

8 Concluzii și direcții viitoare de cercetare

Capitolul final concluzionează că metodele de modelare pot fi dezvoltate ca o punte riguroasă între cunoștințele organizaționale deținute de oameni și AI fundamentată pe grafuri. Cercetarea pornește de la observația că informațiile și cunoștințele organizaționale sunt dispersate între expertiza individuală, diagrame, documente, sisteme informaționale și baze de date. Ca răspuns, propune o modalitate prin care modelarea vizuală relevantă pentru domeniu să devină o sursă explicită de cunoștințe procesabile automat. Rezultatul principal este cadrul de referință Model-Driven GraphRAG, susținut de trei metode de modelare și de implementările lor instrumentale: WSF4ADO, CTM4ADO și GRAPHxx.

Primul instrument demonstrează modul în care o conceptualizare managerială poate susține descrieri structurate ale sistemelor de lucru, trasabilitate semantică și recuperare de înaltă calitate fundamentată pe ontologie. Al doilea demonstrează valoarea conectării proceselor de afaceri, analizei fluxurilor de date, amenințărilor cibernetice și măsurilor de mitigare în modele interogabile semantic, evidențiind totodată importanța alegerii unei adâncimi adecvate de recuperare. Al treilea demonstrează o abordare mai generală a construirii vizuale a grafurilor RDF, permițând utilizatorilor să creeze conținut semantic interoperabil prin concepte simplificate și interacțiuni low-code. În toate cele trei cazuri, teza arată că informațiile și cunoștințele captate prin diagrame pot fi transformate în structuri RDF reutilizabile și utilizate ca dovezi pentru răspunsul la întrebări bazat pe LLM-uri.

Concluziile teoretice privesc conversia cunoștințelor, Hybrid Intelligence și ingineria metodelor de modelare. Metodele propuse susțin externalizarea cunoștințelor de domeniu care pot fi articulate, combinarea lor prin structuri semantice formale și accesarea ulterioară prin sisteme AI în limbaj natural. Contribuția este compatibilă cu o înțelegere a inteligenței centrată pe om, deoarece actorii cu expertiză rămân responsabili pentru semnificația, validitatea și întreținerea cunoștințelor reprezentate. Ea extinde și sfera metodelor de modelare: modelele pot servi nu doar comunicării și proiectării, ci și nevoilor continue de cunoștințe ale arhitecturilor AI organizaționale.

Concluzia practică este că un GraphRAG organizațional eficace începe înainte de etapa de recuperare. Acesta depinde de selectarea unor conceptualizări utile, de posibilitatea oferită actorilor cu expertiză de a descrie fapte și relații relevante și de păstrarea semanticii lor prin transformări deterministe. Un mecanism sofisticat de recuperare nu poate compensa complet cunoștințele absente sau ambigue. În același timp, un graf de cunoștințe bine structurat nu garantează răspunsuri excelente dacă recuperarea și generarea nu sunt aliniate întrebării. Experimentele comparative evidențiază ambele laturi ale acestei interdependențe.

Capitolul final identifică mai multe direcții pentru cercetări viitoare. Una este recuperarea GraphRAG adaptivă, sensibilă la întrebări, capabilă să selecteze între interogări SPARQL directe, traversare cu număr fix de hop-uri, explorare ghidată de ontologie și strategii textuale

sau hibride. O a doua este evaluarea longitudinală mai amplă, implicând grupuri mai diverse de manageri, arhitecți organizaționali, cadre didactice, ingineri de cunoștințe și practicieni în securitate cibernetică, pentru a înțelege utilizabilitatea, învățarea, adoptarea organizațională și întreținerea modelelor în timp. O a treia este consolidarea asigurării calității de-a lungul întregului lanț de modelare și recuperare, de la constrângerile metamodelului și consistența semantică până la proveniența dovezilor și evaluarea de către experți a răspunsurilor generate. Cercetările suplimentare ar trebui să îmbunătățească interoperabilitatea dintre cele trei metode, inclusiv prin concepte comune și integrarea cunoștințelor între domenii, și să evalueze performanța în condiții reale de utilizare organizațională mai solicitante.

În concluzie, teza contribuie cu o perspectivă metodologică reutilizabilă asupra structurării și valorificării cunoștințelor organizaționale în era AI generative. Propunerea sa centrală nu este ca organizațiile să renunțe la documente sau să înlocuiască experții cu modele lingvistice, ci ca modelarea diagramatică, reprezentarea formală a cunoștințelor și GraphRAG să fie dezvoltate ca părți complementare ale unui sistem de cunoștințe centrat pe om. Prin transformarea cunoștințelor de domeniu selectate în structuri semantice tipizate, trasabile și interogabile, metodele de modelare devin o infrastructură care susține AI la nivel organizațional, în loc să rămână o activitate izolată, anterioară implementării acesteia.

Referințe selectate din bibliografia tezei

Această selecție concisă cuprinde lucrări fundamentale și direct relevante, citate în rezumat. Bibliografia completă se regăsește în teza originală.

Akata, Z., Balliet, D., de Rijke, M., Dignum, F., Dignum, V., Eiben, G., Fokkens, A., Grossi, D., Hindriks, K., Hoos, H., Hung, H., Jonker, C., Monz, C., Neerincx, M., Oliehoek, F., Prakken, H., Schlobach, S., van der Gaag, L., van Harmelen, F., van Hoof, H., van Riemsdijk, B., van Wynsberghe, A., Verbrugge, R., Verheij, B., Vossen, P., Welling, M., (2020), A Research Agenda for Hybrid Intelligence: Augmenting Human Intellect With Collaborative, Adaptive, Responsible, and Explainable Artificial Intelligence, Computer, 53(8), pp. 18-28, IEEE Computer Society. DOI: https://doi.org/10.1109/MC.2020.2996587.

Alter, S., Bork, D., (2019), Work System Modeling Method with Different Levels of Specificity and Rigor for Different Stakeholder Purposes, in Proceedings: 14th International Conference on Wirtschaftsinformatik, AIS eLibrary, pp. 124 – 138. URL: https://aisel.aisnet.org/wi2019/track03/papers/1/.

Alter, S., Bork, D., (2020), Systems analysis and design toolkit based on work system theory and its extensions, Journal of Database Management, 31(3), pp. 1–13, IGI Global. DOI: https://doi.org/10.4018/JDM.2020070101.

Alter, S., (2006), The Work System Method: Connecting People, Processes, and IT for Business Results, First Edition, Work System Press.

Alter, S., (2013), Work System Theory: Overview of Core Concepts, Extensions, and Challenges for the Future, Journal of the Association for Information Systems, AIS Journals, vol. 14(2), p. 72. DOI: https://doi.org/10.17705/1jais.00323.

Alter, S., (2020), Ten Lightweight SA&D Tools Based on Work System Theory and Its Extensions, in Proceedings: The 26th Americas Conference on Information Systems (AMCIS 2020), virtual, August 15-17, 4, AIS eLibrary. Available: https://aisel.aisnet.org/amcis2020/adv_info_systems_research/adv_info_systems_research/4.

Becerra-Fernandez, I., Sabherwal, R., (2014), Knowledge Management: Systems and Processes, 2nd Edition, Routledge, Taylor & Francis Group. DOI: https://doi.org/10.4324/9781315715117.

Bock, A.C., Frank, U., (2021), Low-Code Platform, Business & Information Systems Engineering vol. 63, pp. 733–740, Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/s12599-021-00726-8

Bork, D., Alter, S., (2020), Satisfying four requirements for more flexible modeling methods: theory and test case, Enterprise Modelling and Information Systems Architectures Journal (EMISAJ), vol. 15, pp. 3–1. DOI: https://doi.org/10.18417/emisa.15.3.

Brinkkemper, S., (1996), Method engineering: engineering of information systems development methods and tools, Information and Software Technology, 38 (4), Elsevier, p. 275-280. DOI: https://doi.org/10.1016/0950-5849(95)01059-9.

Buchmann, R.A., Ghiran, A.M., (2023), Teaching knowledge graphs: A journey from logic to Web development and semantics-driven engineering, in: The SCME23: 7th Symposium on Conceptual Modeling Education @ The 42nd International Conference on Conceptual Modeling (ER 2023), Lisbon, Portugal, November 6-9, 2023, vol. 3618, CEUR-WS. https://ceur-ws.org/Vol-3618/scme_paper_4.pdf.

Buchmann, R., Eder, J., Fill, H.G., Frank, U., Karagiannis, D., Laurenzi, E., Mylopoulos, J., Plexousakis, D., Santos, M.Y., (2024), Large language models: Expectations for semantics-driven systems engineering, Data & Knowledge Engineering, vol. 152, Elsevier, 102324. DOI: https://doi.org/10.1016/j.datak.2024.102324.

Chiș, A., Ghiran, A.M., Buchmann, R.A., (2025), GRAPHxx: DSML engineering for knowledge graph building and streamlining with GraphRAG, Software and Systems Modeling Journal (SOSYM), Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/s10270-025-01297-y.

Chiș, A., Ghiran, A.M., Buchmann, R.A., (2025), WSF4ADO: An ADOxx Deployment of the Work Systems Framework, in: Proceedings of CAiSE 2025 Forum and Doctoral Consortium, International Conferences on Advanced Information Systems Engineering (CAiSE), Vienna, Austria, June 16-20, 2025, Intelligent Information Systems, Lecture Notes in Business Information Processing, vol 557, Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-94590-8_6.

Chiș, A., Ghiran, A.M., Buchmann, R.A., (2026), A model-driven knowledge graph treatment for process-centric cyber threat mitigation, Knowledge and Information Systems - An International Journal, 68, 210, Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/s10115-026-02819-w.

Chiș, A., Ghiran, A.M., Alter, S., (2024), Informing Enterprise Knowledge Graphs with a Work System Perspective, Enterprise Modelling and Information Systems Architectures (EMISAJ), vol. 19, German Informatics Society. DOI: https://doi.rog/10.18417/emisa.19.7.

Dellermann, D., Ebel, P., Söllner, M., Leimeister, J.M., (2019), Hybrid Intelligence, Business & Information Systems Engineering, 61, pp. 637-643. DOI: https://doi.org/10.1007/s12599-019-00595-2.

Fill, H.G., Karagiannis, D., (2013), On the Conceptualisation of Modelling Methods Using the ADOxx Meta Modelling Platform, Enterprise Modelling and Information Systems Architectures (EMISAJ) - International Journal of Conceptual Modeling, vol. 8(1), German Informatics Society. DOI: https://doi.org/10.18417/emisa.8.1.1.

Frank, U., (2011), Some guidelines for the conception of domain-specific modelling languages, Enterprise modelling and information systems architectures (EMISA 2011), German Informatics Society.

Frank, U., (2013), Domain-Specific Modeling Languages: Requirements Analysis and Design Guidelines, in: Reinhartz-Berger, I., Sturm, A., Clark, T., Cohen, S., Bettin, J. (eds) Domain Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-36654-3_6.

Glaser, P.L., Ali, S.J., Sallinger, E., Bork, D., (2022), Model-Based Construction of Enterprise Architecture Knowledge Graphs, in: Proceedings of the Enterprise Design, Operations, and Computing: 26th International Conference (EDOC 2022), October 3-7, 2022, Bozen-Bolzano, Italy, Lecture Notes in Computer Science, vol. 13585, Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-17604-3_4.

Han, H., Wang, Y., Shormer, H., Guo, K., Ding, J., Lei, Y., Halappanavar, M., Rossi, R.A., Mukherjee, S., Tang X., He, Q., Hua, Z., Long, B., Zhao, T., Shah, N., Javari, A., Xia, Y., Tang, J., (2025), Retrieval-Augmented Generation with Graphs (GraphRAG), arXiv preprint arXiv:2501.00309v2, ArXiv. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.00309.

Harmsen, F., Brinkkemper, S., Oei, H., (1994), Situational Method Engineering for Information System Project Approaches, In: Proceedings of the IFIP WG8.1 Working Conference on Methods and Associated Tools for the Information Systems Life Cycle, Springer, p. 169–194.

Henderson-Sellers, B., Ralyté, J., Ågerfalk, P.J., Rossi, M., (2014), Situational Method Engineering, Springer Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-41467-1.

Hevner, A.R., (2007), A Three Cycle View of Design Science Research, Scandinavian Journal of Information Systems, vol. 19(2), Article 4. Available at: http://aisel.aisnet.org/sjis/vol19/iss2/4.

Jarrahi, M.H., Lutz, C., Newlands, G., (2022), Artificial intelligence, human intelligence and hybrid intelligence based on mutual augmentation, Big Data & Society, Sage Journals. DOI: https://doi.org/10.1177/20539517221142824.

Karagiannis, D., Kühn, H., (2002), Metamodelling Platforms, in: Bauknecht, K., Tjoa, A.M., Quirchmayr, G. (eds) E-Commerce and Web Technologies, EC-Web 2002, Lecture Notes in Computer Science, vol 2455. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/3-540-45705-4_19.

Karagiannis, D., (2015), Agile Modeling Method Engineering, in: Proceedings of the 19th Panhellenic Conference on Informatics, Association for Computing Machinery, p. 5–10. DOI: https://doi.org/10.1145/2801948.2802040.

Kohnfelder, L., Garg, P., (1999), The threats to our products, Microsoft Interface, Microsoft Corporation, 33.

Krogstie, J., Sindre, G., Jørgensen, H., (2006), Process models representing knowledge for action: a revised quality framework, European Journal of Information Systems, vol.15, p. 91–102, Palgrave Macmillan. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-39417-6_1.

Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W., Rocktäschel, T., Riedel, S., Kiela, D., (2020), Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks, in: Proceedings of the 34th International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS'20), December 6-12, 2020, Virtual, Article no. 793, pp. 9459-9474, Association for Computing Machinery, Curran Associates Inc. DOI: https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/3495724.3496517.

Lillehagen, F., Krogstie, J., (2008), Active Knowledge Modeling of Enterprises, Springer Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-79416-5.

Liu, N.F., Lin, K., Hewitt, J., Paranjape, A., Bevilacqua, M., Petroni, F., Liang, P., (2024), Lost in the Middle: How Language Models Use Long Contexts, Transactions of the Association for Computational Linguistics, vol. 12, pp. 157-173. DOI: 10.1162/tacl_a_00638.

Maier, R., (2007), Knowledge Management Systems: Information and Communication Technologies for Knowledge Management, Springer Berling, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-71408-8.

Merali, Y., Davies, J., (2001), Knowledge capture and utilization in virtual communities, in: Proceedings of the 1st International Conference on Knowledge Capture (K-CAP 2001), Victoria, BC, Canada, October 21-23, 2001, pp. 92-99, Association for Computing Machinery. DOI: https://doi.org/10.1145/500737.500754.

Moody, D.L., (2009), The “Physics” of notations: towards a scientific basis for constructing visual notations in software engineering, IEEE Transactions on Software Engineering 35(5), 756–779, IEEE Computer Society. DOI: https://doi.org/10.1109/TSE.2009.67.

Nonaka, I., Takeuchi, H., (1995), The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation, Oxford Academic.

Nonaka, I., (1994), A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation, Organization Science, vol. 5(1), p. 14-37, Informs. URL: https://www.jstor.org/stable/2635068.

Ontotext, What is Graph RAG?, (n.d.-b), URL: https://www.ontotext.com/knowledgehub/fundamentals/what-is-graph-rag/. Last accessed 17.01.2025.

Pan. S., Luo, L., Wang, Y., Chen, C., Wang, J., Wu, X., (2024), Unifying Large Language Models and Knowledge Graphs: A Roadmap, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering , 36(7), pp. 3580 - 3599. DOI: 10.1109/TKDE.2024.3352100.

Peffers, K., Tuunanen, T., Gengler C.E., Rossi, M., Hui, W., Virtanen, V., Bragge, J., (2006), The Design Science Research Process: A Model for Producing and Presenting Information Systems Research, arXiv: Software Engineering (Claremont Graduate University), p. 83-106. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.02763.

Reitemeyer, B., Fill, H.G., (2024), Leveraging LLMs in Semantic Mapping for Knowledge Graph-based Automated Enterprise Model Generation, in Proceedings: Modellierung 2024 Satellite Events, Digital Library, Gesellschaft für Informatik. Available: https://dl.gi.de/server/api/core/bitstreams/940c8d0a-3bce-42c5-8408-41142e8b0d07/content.

Sandkuhl, K., Barn, B.S., Barat, S., (2026), LLM support for enterprise modelling based on integrating prompt and enterprise modelling meta-models, Discover Artificial Intelligence, vol. 6, 303, Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/s44163-026-01056-y.

Schinckus, M., Simonofski, A., Rosselló, N.B., (2026), Large Language Models for Process Knowledge Acquisition, Business & Information Systems Engineering, vol. 68, pp. 7-33, Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/s12599-025-00976-w.

Shi, F., Chen, X., Misra, K., Scales, N., Dohan, D., Chi, E., Schärli, N., Zhou, D., (2023), Large language models can be easily distracted by irrelevant context, in: Proceedings of 40th International Conference on Machine Learning, 2023 (ICML 2023), July 23-29, 2023, Honolulu, Hawaii, USA, 1291, pp. 31210-31227, ACM Digital Library. DOI: https://dl.acm.org/doi/10.5555/3618408.3619699.

Shostack, A., (2008), Experiences Threat Modeling at Microsoft, in: Proceedings of the Workshop on Modeling Security (MODSEC08), 2008 International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS 2008), September 28, 2008, Tolouse, France, CEUR-WS, vol. 413, paper 12. Available: https://ceur-ws.org/Vol-413/paper12.pdf.

Smajevic, M., Bork, D., (2021), From Conceptual Models to Knowledge Graphs: A Generic Model Transformation Platform, in: Proceedings of the 2021 ACM/IEEE International Conference on Model Driven Enginnering Languages and Systems Companion (MODELS-C 2021), October 10 - 15, 2021, Fukuoka, Japan, pp. 610-614, IEEE. DOI: https://doi.org/10.1109/MODELS-C53483.2021.00093.

W3C, W3C Recommendation, SPARQL Query Language for RDF, (2008). URL: https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/. Last accessed 17.01.2025.

W3C, Web Ontology Language (OWL), (2012). URL: https://www.w3.org/OWL/. Last accessed 23.06.2026.

W3C, W3C Recommendation, RDF, (2014a). URL: https://www.w3.org/RDF/. Last accessed 10.12.2025.

Wieringa, R.J., (2014), Design Science Methodology for Information Systems and Software Engineering, Springer Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-43839-8.

Wieringa, R.J., (2016), Design Science Research Methods. URL: https://wwwhome.ewi.ut-wente.nl/~roelw/DSM90minutes.pdf. Last accessed 20.07.2025.

Wuyts, K., Sion, L., Joosen, W., (2020), Linddun go: A lightweight approach to privacy threat modeling, in: Proceedings of the 5th IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops, EuroS&PW, Online, 7–11 September, IEEE Xplore, pp. 302–309. DOI: https://doi.org/10.1109/EuroSPW51379.2020.00047.