

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ŽYGIMANTAS MEŠKAUSKAS

EKSPERTINĖ RIZIKŲ VERTINIMO SISTEMA
AIŠKINTINIO DIRBTINIO INTELEKTO
PAGRINDU

Daktaro disertacija
Technologijos mokslai, informatikos inžinerija (T 007)

2023, Kaunas

Disertacija rengta 2018–2022 metais Kauno technologijos universiteto Informatikos fakultete, Kompiuterių katedroje.

Doktorantūros teisė Kauno technologijos universitetui suteikta kartu su Vilniaus Gedimino technikos universitetu.

Mokslinis vadovas:

prof. dr. Egidijus KAZANAVIČIUS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija, T 007).

Redagavo: anglų kalbos redaktorė Brigita Brasienė (leidykla „Technologija“), lietuvių kalbos redaktorė Rozita Znamenskaitė (leidykla „Technologija“)

Informatikos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:

prof. habil. dr. Rimvydas SIMUTIS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija, T 007) – **pirmininkas**;

prof. habil. dr. Gintautas DZEMYDA (Vilniaus universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija, T 007);

doc. dr. Nikolaj GORANIN (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija, T 007);

prof. habil. dr. Artūras KAKLAUSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija, T 007);

dr. Zbigniew MARSZAŁEK (Silezijos technikos universitetas, Lenkija, gamtos mokslai, informatika, N 009).

Disertacija bus ginama viešame informatikos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje 2023 m. birželio 27 d., 9 val., Kauno technologijos universiteto Studentų miestelio bibliotekoje, salėje M7.

Adresas: Studentų g. 48-M7, Kaunas, LT-51367, Lietuva

Tel. +370 608 28 527; el. paštas doktorantura@ktu.lt

Disertacija išsiųsta 2023 m. gegužės 26 d.

Su disertacija galima susipažinti interneto svetainėje <https://ktu.edu>, Kauno technologijos universiteto bibliotekoje (K. Donelaičio g. 20, Kaunas, LT-44239, Lietuva) bei Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, Vilnius, LT-10223, Lietuva).

KAUNAS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ŽYGIMANTAS MEŠKAUSKAS

EXPERT RISK EVALUATION SYSTEM BASED
ON EXPLAINABLE ARTIFICIAL
INTELLIGENCE

Doctoral dissertation
Technological Sciences, Informatics Engineering (T 007)

Kaunas, 2023

This doctoral dissertation was prepared at Kaunas University of Technology, Faculty of Informatics, Department of Computer Science during the period of 2018–2022.

The doctoral right has been granted to Kaunas University of Technology together with Vilnius Gediminas Technical University.

Scientific Supervisor:

Prof. Dr. Egidijus KAZANAVIČIUS (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Informatics Engineering, T 007).

Edited by: English language editor Brigita Brasienė (Publishing House *Technologija*), Lithuanian language editor Rozita Znamenskaitė (Publishing House *Technologija*).

Dissertation Defense Board of Informatics Engineering Science Field:

Prof. Dr. Hab. Rimvydas SIMUTIS (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Informatics Engineering, T 007) – **chairperson**;

Prof. Dr. Hab. Gintautas DZEMYDA (Vilnius University, Technological Sciences, Informatics Engineering, T 007);

Assoc. Prof. Dr. Nikolaj GORANIN (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Informatics Engineering, T 007);

Prof. Habil. Dr. Artūras KAKLAUSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Informatics Engineering, T 007);

Dr. Zbigniew MARSZAŁEK (Silesian University of Technology, Poland, Natural Sciences, Informatics, N 009).

The official defense of the dissertation will be held at 9 a.m. on 27 June, 2023 at the public meeting of Dissertation Defense Board of Informatics Engineering Science Field in M7 Hall at The Campus Library of Kaunas University of Technology.

Address: Studentų 48-M7, Kaunas, LT-51367, Lithuania.

Phone +370 608 28 527; e-mail doktorantura@ktu.lt.

Doctoral dissertation was sent on 26 May, 2023.

The doctoral dissertation is available on the internet <https://ktu.edu> and at the libraries of Kaunas University of Technology (K. Donelaičio 20, Kaunas, LT-44239, Lithuania) and Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio 14, Vilnius, LT-10223, Lithuania).

© Ž. Meškauskas, 2023

TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNAS

SSGG – stiprybės, silpnybės, galimybės ir grėsmės (**angl. SWOT** – *strengths, weaknesses, opportunities, and threats*). Tai strateginio planavimo ir valdymo metodas, taikomas padėti nustatyti nagrinėjamos situacijos ar projekto stipriąsias bei silpnąsias puses ir jų dydžius.

Skaičiavimas žodžiais (angl. Computing with Words, CWW) – kompiuteriniai skaičiavimai, atliekami natūralios kalbos elementais.

N – „nėra“ (**angl. Z** – „zero“).

LM – „labai mažai“ (**angl. VS** – „very small“).

M – „mažai“ (**angl. S** – „small“).

V – „vidutiniškai“ (**angl. M** – „medium“).

D – „daug“ (**angl. L** – „large“).

LD – „labai daug“ (**angl. VL** – „very large“).

ADI – aiškintinis dirbtinis intelektas (**angl. XAI** – *explainable artificial intelligence*). Tai paaiškinamasis arba interpretuojamas dirbtinis intelektas, kurį pasitelkus galima suprasti priimtus sprendimus.

Dirbtinis neuroninis tinklas (angl. artificial neural network) – tarpusavyje sujungtų dirbtinių neuronų grupė, mėgdžiojanti žmogaus smegenyse esančių neuronų veikimą skaičiavimams atlikti.

Bajeso tinklas (angl. BN – Bayesian network) – tikimybinis grafinis modelis, vaizduojantis kintamųjų rinkinį ir jų sąlygines priklausomybes.

Nuodugnus mokymasis (angl. DL – deep learning) – dirbtinių neuroninių tinklų pogrupis, vaizduojantis duomenis keliais abstrakcijos lygiais.

Atgalinio sklidimo mokymosi algoritmas (angl. backpropagation algorithm) – dirbtinio neuroninio tinklo mokymosi algoritmas, kada treniravimo metu pirma apskaičiuojama prognozė ir grįžtant per sluoksnius apskaičiuojama kiekvieno jų įtaka klaidingumui, nežymiai keičiant svorius klaidingumui sumažinti.

Dalelių spiečiaus optimizacija (angl. particle swarm optimization) – skaičiavimo metodas, optimizuojantis problemą kartotiniu būdu bandant patobulinti sprendimą, atsižvelgiant į tam tikrą kokybės matą.

Prižiūrimas neuroninis tinklas (angl. supervised neural network) – dirbtinis neuroninis tinklas, kurį treniruojant tarp įvesties duomenų pridedama ir dalis išvesties rezultatų.

Miglotoji logika (angl. fuzzy logic) – daugiareikšmės logikos forma, kurioje kintamųjų (termų) tikrumo reikšmė gali būti bet koks skaičius intervale [0–1]. Taikoma skaičiavimams su dalinėmis tiesomis ir neapibrėžtumais.

Analitinis hierarchinis procesas (angl. AHP – analytical hierarchical process) – struktūrizuota sudėtingų sprendimų organizavimo ir analizės technika, pagrįsta matematika ir psichologija.

Analitinis tinklo procesas (angl. ANP – analytic network process) – bendresnė AHP proceso forma, taikoma atliekant kelių kriterijų sprendimų analizę.

Klaidų ir padarinių analizė (angl. FMEA – failure mode and effect analysis) – procesas, kurio metu peržiūrima kuo daugiau komponentų, mazgų ir posistemių, siekiant nustatyti galimus sistemos gedimo būdus ir jų priežastis bei padarinius.

Lūkesčių maksimizavimo algoritmas (angl. EM – Expectation-maximization algorithm) – pasikartojantis metodas, leidžiantis rasti didžiausią tikimybę.

Debesies modelis (angl. cloud model) – miglotosios logikos modifikacija, į neraiškiasias aibes įtraukiant tikimybinį matą ir leidžiant vienu metu atsižvelgti į lingvistinių sąvokų atsitiktinumą ir neraiškumą.

TOPSIS (angl. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) – miglotosios logikos pirmenybės nustatymo metodas pagal panašumą į idealųjį sprendimą.

Delphi metodas – nuolatinis nežinomųjų identifikavimas ir matavimas.

Petri tinklas (angl. Petri net) – viena iš keleto matematinio modeliavimo kalbų, skirta paskirstytųjų sistemų aprašymui, orientuotas dvidalis grafas, kuriame mazgai atitinka perėjimus ir vietas.

Lankšioji kompiuterija (angl. soft computing) – algoritmų rinkinys (įtraukiant miglotąją logiką), toleruojantis neapibrėžtumus.

Baltoji dėžė (angl. white box) – kompiuterių moksle šis terminas vartojamas apibrėžti struktūrai, kurios vidaus komponentai gali būti peržiūrimi.

c – svarbumo laipsnis (pagal **angl. coefficient**).

ρ – tikrumo laipsnis (aliuzija į fizikoje šia raide žymimą tankį).

Poliarumas – elemento būklės nusakymas vienu iš dviejų būdų: teigiamasis arba neigiamasis.

Norminimas – sudėtingos duomenų struktūros suskaidymas į jai ekvivalenčią paprastųjų duomenų grupę.

Miglotieji SSGG planai (angl. fuzzy SWOT maps) – tinklas, kuriame mazgą sudaro SSGG analizė.

Masės centras (angl. CoG – center of gravity) – figūros ašis, paskirstanti vienodą svorį abiejose pusėse.

Uždaroji organinė kilpa (angl. closed loop) – sistemos struktūra, kurioje išėjimo parametrai panaudojami įėjimams.

HTTPS (angl. HyperText Transfer Protocol Secure) – hiperteksto perdavimo protokolas, vartojamas saugiam bendravimui kompiuterių tinkle.

HTML5 (angl. HyperText Markup Language) – žymėjimo kalba, vartojama struktūruoti ir pateikti turiniui žiniatinklyje.

CSS (angl. Cascading Style Sheets) – kalba, skirta nusakyti kita struktūriniu kalba aprašyto dokumento atvaizdavimą.

JavaScript – skriptų programavimo kalba, vartotina tinklalapių interaktyvumo realizacijai.

jQuery – *JavaScript* biblioteka, skirta supaprastinti tinklalapio elementų manipuliavimui, animacijoms ir užklausoms į serverį.

RGraph – HTML5 biblioteka, parašyta *JavaScript*, skirta diagramų atvaizdavimui.

Cytoscape.js – HTML5 biblioteka, parašyta *JavaScript*, skirta grafų atvaizdavimui.

Podėliavimas – optimizavimo procesas, kurio metu dažniau naudojami duomenys padaromi lengviau pasiekiamais.

localStorage – naršyklėje esanti saugykla, kurioje laikomos atributo ir reikšmės poros ir kuri pasiekama *JavaScript* kalbai.

Node.js – *JavaScript* kalba ir aplinka, veikianti atskirai nuo naršyklės, vartotina serverio pusės programavimui.

Express – *Node.js* modulis, suteikiantis platų funkcionalumą tinklalapių kūrimui.

i18n – *Node.js* modulis daugiakalbystei.

AJAX (angl. *Asynchronous JavaScript and XML*) – žiniatinklio technologija, skirta interaktyviai komunikacijai tarp kliento ir serverio.

SQLite – lengvasvorė reliacinė duomenų bazė.

JSON (angl. *JavaScript Object Notation*) – atvirojo standarto formatas, perduodantis duomenų objektus, sudarytus iš atributo ir reikšmės porų.

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Rizikos standartizavimo piramidė	18
2 pav. Rizikų vertinimo sistemos dirbtinių neuroninių tinklų pagrindu funkcinė organizacija	22
3 pav. Rizikų vertinimo sistemos, grįstos klaidų ir padarinių analize, funkcinė organizacija	24
4 pav. Rizikų vertinimo sistemos, taikančios miglotosios logikos Petri tinklų modelį, funkcinė organizacija	25
5 pav. Miglotosios logikos AHP rizikų vertinimo sistemos funkcinė organizacija .	26
6 pav. Rizikų vertinimo sistemos, grįstos vidinėmis dinamikomis, funkcinė organizacija	27
7 pav. Holistinės rizikų vertinimo sistemos funkcinė organizacija	27
8 pav. Miglotosios logikos ir dirbtinių neuroninių tinklų hibridinės rizikų vertinimo sistemos funkcinė organizacija	29
9 pav. SSGG vertinimo matrica	35
10 pav. SSGG analizės metodas, papildytas „skaičiavimo žodžiais“ paradigma	35
11 pav. Sudaryto žodyno miglotosios logikos teiginių tikrumo termai	36
12 pav. Kodavimas pateikus skaitinę tikrumo vertę	37
13 pav. Kodavimas esant visiškam tikrumui	37
14 pav. Kodavimas pateikus žodinę tikrumo vertę	38
15 pav. Skaitinės informacijos iškodavimas	38
16 pav. Žodinio įverčio „vidutiniškai“ su skaitiniu tikrumu 0,7 kodavimas į skaitinę vertę	39
17 pav. Skaitinio įverčio 0,4 iškodavimas į žodinę vertę su tikrumu.....	40
18 pav. SSGG variklis	41
19 pav. Miglotieji SSGG planai	43
20 pav. Rizikos vertinimo komponentai.....	44
21 pav. Rizikos apskaičiavimas masės centro metodu.....	46
22 pav. Rekomendacijų variklis	47
23 pav. Kompleksinės aplinkos A elementų aibė	48
24 pav. Aplinkos A elementas a_a	49
25 pav. Rizikų vertinimo metodo funkcinė organizacija	50
26 pav. Rizikų vertinimo sistemos apibendrinamoji schema	51
27 pav. Sukurto programinio įrankio galimybių įvedimo langas	53
28 pav. Sukurto programinio įrankio stiprybių įvedimo langas	54
29 pav. Sukurto programinio įrankio projektų ryšių įvedimo langas.....	55
30 pav. Sukurto programinio įrankio įvestų ryšių atvaizdavimo grafas.....	56
31 pav. Sukurto programinio įrankio SSGG analizės rezultatų langas	57
32 pav. Sukurto programinio įrankio neapibrėžtumų įvedimo langas	57
33 pav. Sukurto programinio įrankio rizikos vertinimo taisyklių įvedimo langas ...	58
34 pav. Projektų ryšių grafas su rezultatais po 10 iteracijų	64
35 pav. Projekto GAS STATION miglotųjų SSGG planų analizės rezultatai	64
36 pav. Projekto HOTEL miglotųjų SSGG planų analizės rezultatai	65
37 pav. Projekto LOBBY miglotųjų SSGG planų analizės rezultatai.....	65

38 pav.	Projekto GAS STATION rizikų vertinimo rezultatai.....	68
39 pav.	Projekto HOTEL rizikų vertinimo rezultatai.....	68
40 pav.	Projekto LOBBY rizikų vertinimo rezultatai	68
41 pav.	Sveikatos sutrikimų riziką lemiančių sindromų tarpusavio sąveika.....	70
42 pav.	„Gerimodis“ bendroji simptomų anketa	71
43 pav.	„Gerimodis“ sindromų grėsmių anketos.....	71
44 pav.	„Gerimodis“ paciento sindromų rizikos rezultatai	72
45 pav.	„Gerimodis“, gydytojų rezidentų ir gydytojų ekspertų diagnozės	73
46 pav.	Apibendrinta įrankio veiksmų sekos diagrama	114
47 pav.	Sukurto programinio įrankio prototipo komponentų diagrama.....	115
48 pav.	Programinio įrankio duomenų bazės fizinio modelio schema.....	115

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Rizikos vertinimo metodų analizės rezultatų suvestinė.....	30
2 lentelė. Rizikos vertinimo miglotosios logikos taisyklių rinkinys TR_R	45
3 lentelė. Pavyzdinis rekomendacijų taisyklių rinkinys $TR_{rekomend.}$	48
4 lentelė. Eksperimentinį tyrimą sudarantys projektai su akronimais.....	59
5 lentelė. Projekto GAS STATION galimybių sąrašas su akronimais [139].....	60
6 lentelė. Projekto GAS STATION grėsmių sąrašas su akronimais [139].....	60
7 lentelė. Projekto GAS STATION stiprybių sąrašas su akronimais [139].....	60
8 lentelė. Projekto GAS STATION silpnybių sąrašas su akronimais [139].....	60
9 lentelė. Projekto GAS STATION SSGG matrica [139].....	61
10 lentelė. Projekto HOTEL galimybių sąrašas su akronimais [138].....	61
11 lentelė. Projekto HOTEL grėsmių sąrašas su akronimais [138].....	61
12 lentelė. Projekto HOTEL stiprybių sąrašas su akronimais [138].....	61
13 lentelė. Projekto HOTEL silpnybių sąrašas su akronimais [138].....	61
14 lentelė. Projekto HOTEL SSGG matrica [138].....	62
15 lentelė. Projekto LOBBY galimybių sąrašas su akronimais [138].....	62
16 lentelė. Projekto LOBBY grėsmių sąrašas su akronimais [138].....	62
17 lentelė. Projekto LOBBY stiprybių sąrašas su akronimais [138].....	62
18 lentelė. Projekto LOBBY silpnybių sąrašas su akronimais [138].....	62
19 lentelė. Projekto LOBBY SSGG matrica [138].....	63
20 lentelė. Eksperimentinį tyrimą sudarančių projektų ryšiai [138].....	63
21 lentelė. Eksperimentinį tyrimą sudarančių projektų pastangų ir neapibrėžtumų įverčiai [141].....	66
22 lentelė. Projekto GAS STATION rizikos taisyklės [141].....	66
23 lentelė. Projekto HOTEL rizikos taisyklės [141].....	67
24 lentelė. Projekto LOBBY rizikos taisyklės [141].....	67
25 lentelė. Eksperimentinį tyrimą sudarančių projektų rizikų vertinimo rezultatų suvestinė [141].....	69
26 lentelė. „Gerimodis“, gydytojų rezidentų ir gydytojų ekspertų diagnozės.....	72
27 lentelė. „Gerimodis“ rezultatų palyginimo suvestinė.....	74
28 lentelė. Kuriamo programinio įrankio prototipo panaudos atvejų scenarijai	111
29 lentelė. Programinio įrankio duomenų bazėje saugomų projekto duomenų struktūra	117

TURINYS

1.	Įvadas	13
1.1.	Darbo aktualumas	13
1.2.	Tyrimo objektas	13
1.3.	Darbo tikslas.....	14
1.4.	Darbo uždaviniai.....	14
1.5.	Mokslinių tyrimų metodika.....	14
1.6.	Darbo mokslinis naujumas.....	14
1.7.	Praktinė darbo reikšmė	15
1.8.	Darbo ginamieji teiginiai	15
1.9.	Darbo rezultatų aprobavimas	15
2.	Rizikų vertinimo probleminės srities analizė.....	17
2.1.	Problemos ir darbo objekto samprata.....	17
2.2.	Esamų rizikos vertinimo sampratų analizė	18
2.3.	Esamų rizikos vertinimo metodų ir sistemų analizė	21
2.4.	Rizikų vertinimas Lietuvoje.....	32
2.5.	Analizės apibendrinimas.....	33
3.	Rizikų vertinimo metodas	34
3.1.	SSGG metodo papildymas „skaičiavimo žodžiais“ paradigma.....	34
3.2.	Miglotųjų SSGG planų metodas.....	41
3.3.	Rizikos vertinimo metodas miglotųjų SSGG planų pagrindu	43
3.4.	Funkcinė organizacija	48
3.5.	Metodų apibendrinimas	52
4.	Eksperimentiniai tyrimai.....	52
4.1.	Programinio įrankio prototipas rizikoms vertinti	53
4.2.	Sukurto programinio įrankio pagrindu atliktų tyrimų rezultatai.....	59
4.3.	Metodo taikymas medicininės diagnostikos sprendimų paramos sistemoje.....	70
4.4.	Eksperimentų apibendrinimas	75
5.	Išvados.....	76
6.	Santrauka.....	78
7.	Literatūra	99
8.	Straipsnių ir mokslinių konferencijų sąrašas.....	109
9.	Informacija apie autorių	110

10.	Priedai	111
10.1.	Programinio įrankio prototipo funkciniai reikalavimai.....	111
10.2.	Programinio įrankio prototipo nefunkciniai reikalavimai	111
10.3.	Programinio įrankio prototipo panaudos atvejų scenarijai	111
10.4.	Programinio įrankio prototipo veiksmų sekos diagrama.....	113
10.5.	Programinio įrankio prototipo architektūra	115
10.6.	Programinio įrankio prototipo dizainas	118

1. ĮVADAS

1.1. Darbo aktualumas

Kiekviena atliekama veikla priklauso nuo esamų aplinkybių ir kitų susijusių veiklų; tai daro įtaką veiklos rezultatui, sukeliama įvairios rizikos. Rizika yra neatskirama gyvenimo dalis, veikianti be išimties visus žmones, ir visada bus galinčių padaryti poveikį veiksnių, kurių individas ar visuomenė neįvertina ar iš anksto nepastebi [1]. Gyvendami nuolatinės kaitos sąlygomis nuolat patiriame riziką, kurią lydi įvairūs iššūkiai bei potencialios galimybės. Rizika – tai toji esybė, kuri daro lemiamą įtaką žmogaus, žmonių grupės, organizacijos, institucijos, valstybės ir pan. priimamiems sprendimams ir tuo pagrindu bet kokiai jų veiklai apskritai. Rizika yra kontekstuali sąvoka, kurios reikšmė varijuoja skirtingose situacijose, požiūrio perspektyvose. Nors akivaizdžiausi rizikos interpretacijos skirtumai yra pastebimi sekant techninių ir socialinių mokslų takoskyra, tačiau giminingose disciplinose rizikos terminas ir jos analizė taip pat nėra suprantama vienareikšmiškai. Rizikos požiūrių nesutapimas pastebimas ne vien tarp skirtingų disciplinų, bet ir jų viduje dėl daromų skirtingų epistemologinių prielaidų apie rizikos sampratą. Šiuolaikinės visuomenės iššūkių kontekste rizika ir su ja susijusios situacijos išlieka ir tampa nauju įvairias mokslininkų grupes dominančiu tyrimų objektu. Labai svarbu tinkamai lokalizuoti, įvertinti egzistuojančias rizikas, kurti jų valdymo strategijas ir vertinti sprendimų poveikį. Rizikos vertinimui ir valdymui egzistuoja standartų, apibrėžiančių informacijos saugą ISO27005 [2] ar bendrai rizikos valdymo procesą ISO31000:2018 [3]. Pagal ISO27005 standartą, rizikos valdymo procesas susideda iš trijų pagrindinių etapų – rizikos identifikavimo, vertinimo ir valdymo, o ISO31000:2018 standartas nusako bendrą rizikos valdymo metodologiją ir principus, taikytinus bet kokioje organizacijoje, nepriklausomai nuo jos dydžio ar atliekamos veiklos. Šių standartų pagrindu sukurti rizikos vertinimo metodai yra svarbūs, tačiau jie negali apimti visų naujų scenarijų nuolat besikeičiančioje aplinkoje, iš kurios kyla precedento neturinčios situacijos, reikalaujančios įvertinti iškilusias rizikas. Dėl tokios priežasties naujos rizikos sampratos ir vertinimo metodai, taikytini skirtingoms veiklos sritims, gali papildyti esamus standartizuotus metodus ir suteikti trūkstamos vertės rizikos valdymo procesams. Atskirų veiklos sričių žinias turi ekspertai, ir tai panaudotina ekspertinės rizikų vertinimo sistemos platformos sukūrimui, kurioje tikslinga išnaudoti egzistuojančius dirbtinio intelekto metodus efektyviam ekspertų sukauptų žinių surinkimui bei rizikų vertinimo skaičiavimams.

1.2. Tyrimo objektas

Šios disertacijos tyrimo objektas yra rizikos samprata ir nuo taikymo srities nepriklausomos intelektinės rizikų vertinimo sistemos metodas ekspertų sukauptų žinių pagrindu, taikytinas įvertintų rizikų valdymo strategijoms kurti.

1.3. Darbo tikslas

Darbo tikslas – pagerinti ekspertų sukauptų žinių taikymą rizikos vertinimui sukuriant naują, nuo taikymo srities nepriklausomą, ekspertų sukauptų žinių pagrindu veikiančią rizikos vertinimo metodą, grindžiamą unikalios rizikos samprata ir eksperimentais įvertinant metodo veiksmingumą.

1.4. Darbo uždaviniai

Disertacijos tikslui pasiekti ir mokslinei problemai spręsti darbe išskirti šie uždaviniai.

1. Išanalizuoti įvairiose srityse egzistuojančius rizikos požiūrius, sampratas, sistemas, metodus, struktūras ir pasiūlyti naują rizikos sampratą.
2. Remiantis nauja rizikos samprata, pasiūlyti metodą, skirtą vertinti kompleksines rizikas ir surasti metodo išpildymui tinkamą funkcinę organizaciją.
3. Sukurti pasiūlytam rizikų vertinimo metodui programinės įrangos prototipus, gebančius atlikti rizikos vertinimo skaičiavimus ir pademonstruoti sukurtų prototipų veikimą.

1.5. Mokslinių tyrimų metodika

Darbo tikslui pasiekti panaudoti tokie tyrimo metodai.

1. Egzistuojančių rizikos sampratų ir filosofijų skirtingose veiklos srityse lyginamosios analizės metodas.
2. Naujas rizikų vertinimo metodas, remiantis naujai suformuota rizikos samprata, surenkant ekspertų sukauptas žinias naujai pasiūlyto klasikinio SSGG metodo papildymu, įgalinančiu žodinių informacijos apdorojimą.
3. Eksperimentinis tyrimas siūlomam rizikų vertinimo metodui naudojant sukurtą prototipinę programinę įrangą.
4. Tyrimo rezultatų vertinimo metodas.

1.6. Darbo mokslinis naujumas

Darbo mokslinį naujumą patvirtina:

1. Siūlomas naujas klasikinio SSGG metodo papildymas, pritaikant skaičiavimo žodžiais paradigmą, taip įgalinant ekspertus išreikšti savo žinias žodine forma („mažai“, „daug“ ir pan.). Tai pirmasis toks siūlomas metodas, jungiantis SSGG metodą su skaičiavimo žodžiais paradigma, taikytinas situacijos vertinimui randant galimybių ir grėsmių dydžius.
2. Praplėstas naujasis SSGG metodo papildinys, įvedant galimybę atlikti kelių tarpusavyje susijusių situacijų analizę kompleksinėje aplinkoje.
3. Suformuluotas naujas rizikos požiūris, remiantis D. Hillson pozityviosios rizikos teorija [4] ir vertinant neapibrėžtumus. Šiam požiūriui išgryninta bendroji, nuo taikymo srities nepriklausanti rizikos formulė.
4. Pasiūlytas naujas metodas rizikoms vertinti sudėtingose aplinkose, remiantis išgryninta rizikos formule ir siūlomu naujuoju papildytu SSGG metodu.

1.7. Praktinė darbo reikšmė

Kiekybiniais rizikos vertinimo metodams dažniausiai taikomos statistinės analizės ir matematiniai modeliai, kuriems gali prireikti nemažai laiko, ypač jei turimi duomenys yra sudėtingi ir reikalauja ilgalaikio tyrimo. Pavyzdžiui, reikia surinkti ir apdoroti didelį kiekį duomenų, kad būtų galima pasiekti statistinį patikimumą ir tinkamai įvertinti riziką. Sprendžiant didelio masto kompleksines problemas, kurioms nėra pakankamai precedento ir trūksta duomenų, reikalingas nuodugnesnis problemos supratimas, kad būtų galima įvertinti esminius rizikos veiksnius ir jų vertes pasitelkiant ekspertus, o ne vien tik atliekant statistinę analizę. Tokiam procesui reikalingas įvedamų duomenų lankstumas, kad būtų galima kuo universaliau ir žmogiškiau pateikti išvagas. Šiai problemai spręsti sukurtas ir eksperimentiškai validuotas rizikų vertinimo kompleksinėje aplinkoje programinis įrankis, kuris:

1. Įgalina ekspertus, sprendimų priėmėjus ir kitus žmones, dirbančius su sistema, lanksčiau pateikti turimas žinias (skaitiniu ir žodiniu būdu), įvertinant neapibrėžtumus.
2. Suteikia galimybę atlikti vertinamos situacijos simuliaciją, pateikiant simuliacijos rezultatus skaitine, žodine išraiška bei grafiniu pavidalu.
3. Dėl savo modulinės struktūros leidžia atlikti dalinę simuliaciją (pvz., galima praleisti rizikų vertinimo modulį, jei galutinių grėsmių dydis yra siekiamas rezultatas).
4. Tinka naujų situacijų, kurioms sukaupta nepakankamai žinių, ekspertiniam rizikos vertinimui, iš to kyla patarimai sprendimų priėmėjams.

1.8. Darbo ginamieji teiginiai

1. Vieninga skirtingoms taikymo sritims rizikos samprata ir vertinimo metodas įgalina vertinti kompleksines susijusių situacijų rizikas.
2. Plačiai taikomo SSGG analizės metodo papildymas situacijos vertinimui pagerina ekspertų sukauptų žinių surinkimą ir taikymą.
3. Naujai siūlomo rizikų vertinimo metodo papildytos SSGG analizės pagrindu pagal suformuluotą rizikos sampratą ir pritaikant dirbtinio intelekto metodus rezultatai naudotini teikiant rekomendacijas sprendimų priėmėjams, formuojantiems rizikų valdymo strategiją.

1.9. Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos rezultatai aprobuoti dviejose tarptautinėse mokslinėse konferencijose. Publikuoti du straipsniai „Clarivate Analytics Web of Science“ duomenų bazių recenzuojamuose moksliniuose žurnaluose su citavimo indeksu:

1. V. Petrauskas, R. Jasinevicius, G. Damuleviciene, A. Liutkevicius, A. Janaviciute, V. Lesauskaite, J. Knasiene, Z. Meskauskas, J. Dovydaitis, V. Kazanavicius, R. Bitinaite-Paskeviciene, “Explainable Artificial Intelligence-Based Decision Support System for Assessing the Nutrition-Related Geriatric

Syndromes,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 24, 2021. doi: 10.3390/app112411763.

2. Z. Meskauskas, E. Kazanavicius, “About The New Methodology and XAI-Based Software Toolkit for Risk Assessment,” *Sustainability*, vol. 14, no. 9, 2022. doi: 10.3390/su14095496.

Publikuotas knygos skyrius, indeksuojamas SCOPUS duomenų bazėje ir svarstomas „Clarivate Analytics Web of Science“ indeksavimui:

V. Petrauskas, R. Jasinevicius, E. Kazanavicius, and Z. Meskauskas, “The Paradigm of an Explainable Artificial Intelligence (XAI) and Data Science (DS)-Based Decision Support System (DSS),” in *Data Science in Applications*, Cham, Springer International Publishing, 2023, pp. 167-209.

Rezultatai pristatyti vienoje nacionalinėje konferencijoje ir išspausdinti dviejuose žurnaluose, neturinčiuose „Clarivate Analytics Web of Science“ citavimo indekso. Darbe pasiūlytas metodas pritaikytas ir išbandytas jungtiniame Kauno technologijos universiteto bei Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Geriatrijos klinikos projekte, taip pat MTEP projekte „Sumanių, apsimokančių ir adaptyvių pastatų kompetencijų centras (SAVAS)“.

Plėtojant disertacijoje siūlomą metodą pagrindiniai tyrimai atlikti keliais etapais (trys metodo žingsniai ir praktinis taikymas), kurių kiekvieno rezultatai paskelbti aukšto lygio publikacijose (papildomi tarpiniai ir gretutiniai rezultatai pristatyti keliose konferencijose ir publikuoti žemesnio lygio žurnaluose). Pirmojo žingsnio rezultatai publikuoti „Clarivate Analytics Web of Science“ duomenų bazių recenzuojamame moksliniame žurnale su citavimo indeksu, bet seniau nei prieš penkerius metus – 2018 m. (indėlis – praktinė dalis), o antrojo žingsnio rezultatai pristatyti IEEE WCCI 2020 konferencijoje ir vėliau išspausdinti indeksuojamame „Conference Proceedings“ leidinyje (indėlis pagrindinis). Disertacijos rezultatų aprobavimo sąraše įrašytos kitos dvi publikacijos – trečiojo metodo žingsnio (rizikos vertinimo) rezultatų paskelbimas (indėlis pagrindinis) ir praktinio metodo taikymas medicinos sprendimų priėmimo paramos sistemoje. Šioje publikacijoje yra nemažai autorių, kurių pirmieji nagrinėja dalykinę sritį ir sukurtos medicininės sprendimų paramos sistemos taikymą. Indėlis į publikaciją – pasiūlyto rizikų vertinimo metodo pritaikymas sukurtos sistemos branduolyje, kurios pagrindu atlikti tyrimai ir gautų rezultatų analizė. Bendra autoriai yra pasirašę sutikimus dėl šios publikacijos teikimo disertacijos tema paskelbtų publikacijų sąrašui.

2. RIZIKŲ VERTINIMO PROBLEMINĖS SRITIES ANALIZĖ

2.1. Problemos ir darbo objekto samprata

Šiame skyriuje aprašyta nagrinėjama rizikų vertinimo problema, metodo tokios problemos sprendimui sudarymo gairės ir realizacijos galimybės.

Problema. Skirtingose veiklos srityse rizikų vertinimo ir sprendimų priėmimo procesams taikomi skirtingi ir priklausomi nuo taikymo srities metodai bei įrankiai; čia nėra vieningai priimtos bendros rizikos sampratos. Tokia egzistuojanti situacija pabrėžia esamus rizikos sampratos ir jos vertinimo skirtumus įvairiose taikymo srityse, tam būtina turėti atskiras rizikų vertinimo sistemas. Daugybėje žinomų rizikų vertinimo sistemų rizikų vertinimas yra susietas su dalykinės srities žiniomis [5]. Dalykinės srities žinias turi sukaukę ekspertai, jas prasminga efektyviai surinkti, mažinant technologinių bei žmogiškųjų išteklių poreikį ir išnaudoti atliekant rizikų vertinimą, kuris yra vienas iš pagrindinių elementų bet kokios veiklos plėtojimui.

Norint smulkiai aprašyti situacijas ir sudaryti jų modelius, turi būti dirbama su tiksliais skaitiniais duomenimis. Situacijos aprašas, sudarytas vien iš skaitinių verčių, ne visada yra tinkamas būdas ekspertui išreikšti turimas žinias, o žodinis situacijos aprašas gali būti nepakankamai tikslus. Naudojant hibridinį ekspertų sukauptų žinių surinkimo mechanizmą, gebantį apdoroti tiek skaitinius duomenis, tiek ir žodinius įverčius, praplečiamos situacijos aprašo galimybės. Sudarytam situacijos aprašui įvertinus rizikas svarbus rezultatų pateikimo formatas, kuris praplečia sprendimų priėmėjų rezultatų interpretavimo galimybes.

Objekto aprašymas. Šiame darbe formuojamas naujas nuo dalykinės srities nepriklausomas rizikos vertinimo metodas. Naujo metodo formavimui šalia jau egzistuojančių išgryninama unikali nauja rizikos samprata, kuria remiantis ieškoma metodo išpildymui tinkamos funkcinės organizacijos. Funkcinė organizacija apibrėžia metodui naudojamus komponentus ir jų tarpusavio sąveiką. Svarbi užduotis – išrinkti keliamos problemos sprendimui reikiamus komponentus, pagrindžiant jų pasirinkimus ir rasti efektyvią komponentų tarpusavio sąveikos struktūrą. Siekiama kuo skaidresnės komponentų tarpusavio sąveikos metodo pagrindu atliekamų skaičiavimų aiškinimui ir interpretavimui, teikiamas prioritetas „baltosios dėžės“ principui (tarp įvedimo duomenų ir gautų rezultatų turint skaidrią išvadų grandinę). Išrinkus komponentus ir suradus tinkamą funkcinę organizaciją metodas įgauna praktinės realizacijos galimybę – čia labai svarbus įvesties ir išvesties duomenų formatas sąsajai tarp žmogaus ir sistemos. Siekiama palengvinti žmogaus ir sistemos sąveiką pritaikant žodinės informacijos duomenų apdorojimą, išnaudojant lanksčiosios kompiuterijos galimybes. Išvesties duomenų formatas svarbus tiek rezultatų interpretavimui, tiek gautų rezultatų pagrindu įvertintų rizikų valdymo strategijų kūrimui.

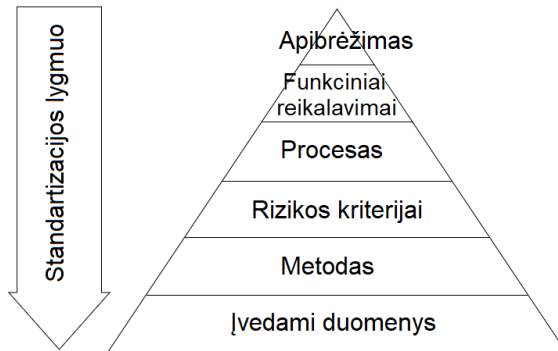
Tolesniuose skyriuose analizuojamos egzistuojančios rizikos sampratos, sistemos, funkcinės organizacijos ir agreguojami analizės rezultatai, ieškant nišos formuojamam naujo rizikų vertinimo metodo pasiūlymui greta jau esamų.

2.2. Esamų rizikos vertinimo sampratų analizė

Įvairiuose tyrimuose bandyta išgryninti vieningą visoms taikymo sritims rizikos vertinimą [5], tačiau nė vienas nebuvo priimtas plačiai taikyti praktikoje dėl šių priežasčių.

- Atlikta daug mokslinių tyrimų informacinių technologijų rizikos valdymo sistemų srityje, tačiau jų vis dar nepakanka suformuoti vieningai rizikos sampratai, kuri būtų plačiai priimta ir taikoma skirtingose srityse; yra tik bendrai priimti standartai, tokie kaip ISO31000 [3].
- Mokslinė literatūra orientuota į naujų rizikos vertinimo idėjų bei paradigmu kūrimą ir kritikavimą, todėl tampa sudėtinga pasiekti plataus sutarimo moksliniame lygmenyje dėl vieningo rizikos vertinimo.

Skirtingos rizikos sampratos formuojasi ne vien dėl dalykinių sričių ir sprendžiamų problemų skirtumo, bet ir dėl kompetencijų skirtumo tarp teoretikų ir praktikų, kurie dirba su rizikos vertinimu. Rizikos sampratų skirtumai pastebimi tiek tarp skirtingų disciplinų, tiek ir pačių disciplinų viduje, patvirtinant, jog rizikos konceptualizavimas yra priklausomas nuo konteksto. Ekonomistas, politikas, gamybininkas, vadovas, psichologas ar sociologas savo dalykinėje srityje formuluoja skirtingus su rizikos vertinimu susijusius klausimus, kurie kyla iš skirtingų epistemologinių rizikos supratimo prielaidų. Visgi rizikos konceptualizavime yra ir tam tikrų bendrybių – visos rizikų koncepcijos turi vieną bendrą elementą: skirtumą tarp galimo ir pasirenkamo veiksmo, kurį filosofai vadina neapibrėžtumu [6]. Mokslininkai vertina riziką kaip situacijos komponentą, procesą ar charakteristiką su neapibrėžtumo dimensija. Skirtingose mokslo srityse rizika matoma ne kaip pastovi sąlyga, bet kaip kompleksiškas fenomenas, turintis skirtingų baigčių galimybes [7]. Esamų skirtingų rizikos sampratų standartizavimui remiantis [8] sudaryta rizikos standartizavimo piramidė, kurios vaizdas pateiktas 1 paveiksle.



1 pav. Rizikos standartizavimo piramidė

Pagal pateiktą rizikos standartizavimo piramidę, rizikos apibrėžimas yra mažiausiai standartizuotas lygmuo, todėl rizikos vertinimo metodui sudaryti pagal apibrėžimą reikalingi funkciniai reikalavimai, taikomas procesas ir rizikos kriterijai,

kuriuos kartu galima laikyti rizikos samprata. Toliau analizuojamos esamos rizikos sampratos, suskirstytos į giminingas grupes.

Tikimybinis rizikos vertinimas. Plačiausiai taikomas rizikos vertinimas, taikomas rizikos valdytojų, apibūdinamas lygtimi: rizika = tikimybė · pasekmės [9]. Esamos tikimybinės rizikos vertinimo sampratos:

- Rizika vertinama pagal tikimybes ir neapibrėžtumų pasekmių svorius [10]. Įvykio pasireiškimo tikimybė dauginama iš neapibrėžtumų pasekmių svorių. Atliekant šį vertinimą atsižvelgiama tik į galimus neigiamus padarinius.
- Rizika vertinama pagal tris komponentus s , p ir c ; čia s – scenarijų rinkinys, $p[i]$ – konkretus scenarijus i iš scenarijų rinkinio p , o $c[i]$ – scenarijaus i tikimybė, $i = 1, 2, \dots, N$ [11]. Šis rizikos vertinimas, kaip ir pirmasis, paremtas tikimybėmis ir galima žala, tik akcentuojamas konkrečių scenarijų pasireiškimo tikimybės vertinimas.
- Rizika vertinama kaip įvykio tikimybės ir pasekmės dydžio sandauga [9]. Atliekant šį rizikos vertinimą galima žala prilyginama pasekmės dydžio įverčiui.
- Rizika vertinama kaip neigiamo poveikio tikimybė, numatanti galimas tam tikros grėsmės poveikio tam tikroje aplinkoje pasekmes laikui bėgant [12]. Šis vertinimas skiriasi tuo, kad atsižvelgiama į laiko dedamąją. Trūkumas vertinant laiko dedamąją yra tas, kad, vertinant rizikas sudėtingose aplinkose, laiko dedamosios sinchronizacija tarp riziką lemiančių veiksnių ne visada yra įmanoma.
- Rizika vertinama kaip įtaka su tikimybe pasireikšti įvykiui, sukeliančiam nepriimtinas pasekmes [13]. Atliekant šį vertinimą rizika prilyginama įtakos dydžiui.
- Rizika vertinama kaip pasekmių tikimybės ir apimties kombinacija [14]. Šis vertinimas orientuotas į kiekybinį rezultatą.

Remiantis tikimybinio vertinimu, rizika apskaičiuojama dauginant kokio nors neigiamo įvykio pasireiškimo tikimybę iš to įvykio sukeliamų neigiamų padarinių dydžio. Šių sampratų trūkumas – nėra įvertinami neapibrėžtumai ar galimi teigiami padariniai.

Rizikos vertinimas pagal dedamuosius komponentus. Rizika indikuoja kompleksinę būklę, kuri yra aplinkos dedamoji [15]. Esamos rizikų vertinimo sampratos, paremtos rizikos kaip kelių tarpusavyje susijusių komponentų sąveika:

- Rizika vertinama kaip tikėtina žala [16].
- Rizika vertinama kaip įvykis, kurio metu iškyla grėsmė kokiai nors vertybei, o rezultatas yra neapibrėžtas [17]. Toks rizikos vertinimas paremtas dviem komponentais – grėsme ir neapibrėžtumu.
- Rizika vertinama kaip trikampis, susidedantis iš: grėsmės, atvirumo ir pažeidžiamumo [18]. Šis rizikos vertinimas apima tris komponentus, kurių du – atvirumas ir pažeidžiamumas kartu nusako neapibrėžtumą.

- Rizika vertinama pagal penkis kriterijus: rezultatą, tikimybę, poveikio stiprumą, priežasties scenarijų ir poveikio mastą [19]. Šis rizikos vertinimas atsižvelgia net į penkis kriterijus, skaičiavimuose įtraukiamas rezultatas ir priežasties scenarijus. Toks rizikos vertinimas neatsižvelgia į veiksnius, galinčius sumažinti riziką.

Vertinant riziką pagal dedamuosius komponentus, rezultatas formuojamas iš tų riziką lemiančių veiksnių, kurie išskiriami kaip esminiai. Didesnis kiekis išskirtų veiksnių padidina rizikos parametru kiekį skaičiavimuose, suteikiant daugiau duomenų, kartu ir daugiau kompleksiško, pertekliško. O štai per mažas kiekis rizikos parametru nepakankamai įvertina situaciją, todėl labai svarbu argumentuotai parinkti esminius riziką lemiančius veiksnius ir jų kiekį.

Rizikos vertinimas pagal neapibrėžtumus. Esama rizikos vertinimo sampratų pagal neapibrėžtumus:

- Rizika vertinama kaip neapibrėžtumas dėl įvykio ir veiklos pasekmių, susijusių su vertybėmis [20]. Šis vertinimas tapatina riziką su neapibrėžtumu.
- Rizika vertinama kaip neapibrėžtumo poveikis tikslams [3]. Šis vertinimas orientuotas tik į tai, kaip neapibrėžtumas veikia tikslus.

Vertinant riziką pagal neapibrėžtumus svarbu išskirti, ar tai bus laikoma parametru, rezultatu ar abiem.

Rizikos vertinimas pagal galimybes. Rizika vertinama kaip pavojaus, praradimo, sužalojimo ar kitų neigiamų pasekmių tikimybė. Tačiau rizikuojant galima sukelti ir teigiamas pasekmes. Rizika yra susijusi su rezultato neapibrėžtumu [21]. Tokia rizikų vertinimo samprata kartu su grėsmėmis ir neapibrėžtumais įvertina ir galimas teigiamas pasekmes – galimybes. ISO31000 standarte [3] netiesiogiai nagrinėjamos galimybės rekomenduojant jas įtraukti į poveikio tikslams vertinimą.

Rizikų vertinimo skirtumai skirtingose srityse. Riziką sunku apibrėžti, nes kiekvienoje srityje ji gali būti suprantama ir apskaičiuojama kitaip:

- Remiantis kritikų nuomone, rizika reiškia skirtingus dalykus skirtingiems žmonėms [22].
- Rizikos samprata įtraukta į tiek daug skirtingų disciplinų, kad visur yra apibrėžiama skirtingai [23].
- Rizika yra svarbi sąvoka daugelyje mokslo sričių, tačiau nėra bendro sutarimo, kaip ji apibrėžiama ir interpretuojama [24]. Šioje sampratoje pabrėžiama, kad pati rizikos sąvoka yra svarbi, o tai, jog jos negalima vieningai apibrėžti ir interpretuoti, suteikia pagrindą dar vienos interpretacijos ir apibrėžties siūlymui greta jau egzistuojančių.
- Kiekvienoje mokslo srityje rizikos samprata turi temą, kryptį ir taikomus metodus [25]. Toks požiūris pabrėžia, kad rizikos samprata yra glaudžiai susijusi su taikymo sritimi, iš kurios kyla taikomi rizikų vertinimo metodai.

Esamos skirtingos nuo taikymo srities priklausančios rizikų vertinimo sampratos akcentuoja problemas siekiant išgryninti bendrą visoms sritims metodą, kartu pabrėžiant galimybę atskirti dalykinės srities dinamikos sluoksnį nuo rizikos vertinimo apskaičiavimo sluoksnio. Bendrai visoms rizikų vertinimo sampratomis egzistuoja du pagrindiniai požūriai [26]:

1. Rizika vertinama objektyviai, kai visus veiksnius, turinčius įtakos rizikos atsiradimui, įmanoma identifikuoti ir kiekybiškai išmatuoti.
2. Rizika vertinama subjektyviai, kai veiksnius, lemiančius rizikos atsiradimą, gali būti sunku kiekybiškai įvertinti ir tiksliai išmatuoti matematiniais metodais.

Šio darbo tikslu siekiama suformuoti objektyvų rizikos vertinimo metodą ir, pritaikius matematinius metodus, išmatuoti kiekybines rizikų vertes. Formuluoiant naują universalią rizikos sampratą ir ja grįstą metodą šalia jau esamų, tikslinga remtis nuo srities nepriklausomų pasaulyje priimtų rizikų valdymo standartų serija ISO31000 [3], apibrėžiančia, jog rizikas pirmiausia būtina sistemingai identifikuoti, kad būtų galima įvertinti ir to pagrindu kurti rizikų valdymo strategijas. Standartuose aprašomi rizikų vertinimai tiek per žalos, tiek ir per galimybių prizmes, todėl svarbu atsižvelgiant į atliktą rizikos vertinimo sampratų analizę argumentuotai išrinkti, ar riziką labiau vertinti tikimybiškai, ar pagal dedamuosius komponentus; ar įtraukti galimybių, neapibrėžtumų vertinimą; kaip atskirti rizikų vertinimo apskaičiavimą nuo dalykinės srities dinamikos ir ar reikia papildomų naujų komponentų, kurie neįvardyti analizėje. Rizikų identifikavimo svarbą akcentuoja ir taikymo sričių standartai informacijos saugos rizikų valdymo procesui, kaip ISO27005 [2] ar JAV prekybos departamento Nacionalinio standartų ir technologijų instituto standartų serija NIST SP 800, kurios papildomai akcentuoja, kad prieš identifikuojant rizikas labai svarbu nustatyti informacijos saugos kontekstą, įskaitant atliekamos veiklos tikslus, politiką, procesų apimtį, taip pat parinkti priemones ir strategijas rizikos vertinimui, į kurias reikia atsižvelgti formuluoiant rizikos vertinimo sampratą ir metodą.

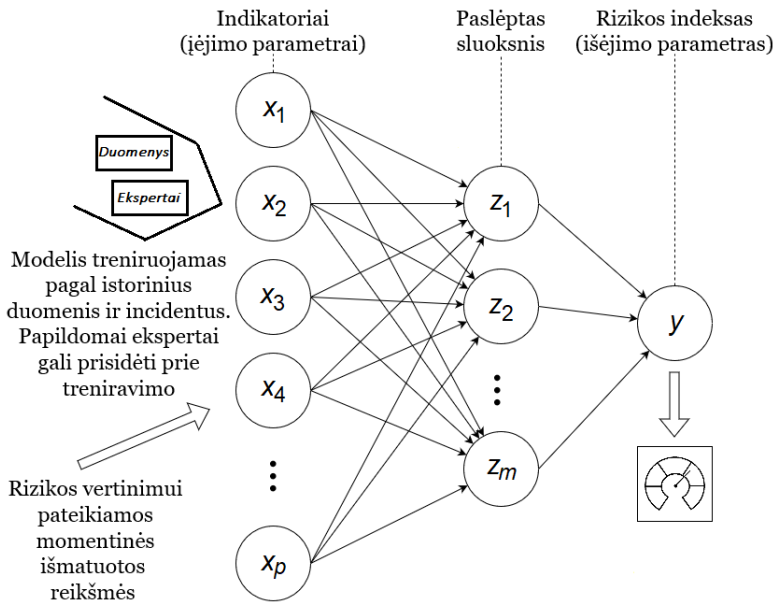
2.3. Esamų rizikos vertinimo metodų ir sistemų analizė

Rizikų vertinimo skaičiavimams, remiantis sampratomis, sudaryti įvairūs metodai, kuriems pasiūlyta ir praktikoje taikoma nemažai sistemų. Analizėje apžvelgiami intelektiniai rizikų vertinimo metodai ir jų pagrindu sudarytos sistemos. Egzistuojančios rizikų vertinimo teorijos ir metodai apžvelgiami [27], egzistuoja kelios pagrindinės metodų kategorijos ir daugybė atšakų, hibridinių, holistinių ar eksperimentinių variantų.

Rizikų vertinimo metodai dirbtinių neuroninių tinklų pagrindu. Viena iš dirbtinio intelekto mašininio mokymosi skaičiavimo metodų grupių yra dirbtiniai neuroniniai tinklai [28]. Neuroninių tinklų modelius galima pritaikyti įvairių uždavinių sprendimui, įtraukiant rizikų vertinimą. Egzistuoja rizikų vertinimo metodų, grįstų dirbtiniais neuroniniais tinklais [29] su skirtingais mokymosi algoritmais [30], kaip tiesioginio sklidimo, atgalinio sklidimo mokymosi algoritmu [31], [32] su dalelių spiečiaus optimizacija [33], prižiūrimu neuroniniu tinklu [34], [35], [36], patobulintu

neuroniniu tinklu [37], Bajeso tinklo metodu [38], [39], tokių kaip [40] ar nuodugnaus mokymosi algoritmu [30], [41], [42]. Dirbtinių neuroninių tinklų metodams būtinas didelis duomenų kiekis apmokymui, kad tokiu metodu grįstą sistemą būtų galima taikyti. Apmokytas dirbtinis tinklas pagal naudojamą algoritmą geba apskaičiuoti rizikų vertes nagrinėjamam projektui arba pateikti rizikos klasifikatorių pagal nurodytus įėjimo parametrus.

Rizikų vertinimo sistemos, naudojančios dirbtinius neuroninius tinklus, pavyzdys – nuodugnaus mokymosi algoritmu grįsta sistema naftos ir dujų grėžimo platformos scenarijaus taikymui [29]. Tokio tipo sistema taiko empirinį modelį rizikos vertinimui, šio modelio sudarymui reikalingas didelis duomenų kiekis sistemai apmokyti. Sistemos funkcinė organizacija pavaizduota 2 paveiksle.



2 pav. Rizikų vertinimo sistemos dirbtinių neuroninių tinklų pagrindu funkcinė organizacija

Pagal istorinius įprastinės veiklos ir nepageidaujamų įvykių duomenis, dirbtinis neuroninis tinklas gauna aibę skaitinių rizikos atributų įverčių, kartu papildomai įtraukiant ekspertus mokymosi proceso priežiūrai, jei to prireikia. Šie įverčiai (įėjimo parametrai) taikomi dirbtinio neuroninio tinklo sąsajų radimui (mokymuisi). Apmokytas tinklas turi vieną paslėptą sluoksnį ir vieną išėjimo parametą, kuris pateikia rizikos indeksą. Toks tinklo apmokymas, apdorojant didelį kiekį informacijos, šiuolaikiniams kompiuteriams dėl didelio skaičiavimo pajėgumo yra įveikiama užduotis, tačiau labai imli laikui. Apmokytą dirbtinį neuroninį tinklą galima naudoti realiuoju laiku pateikiant jutikliais užfiksuotas rizikos parametru vertes ir gaunant rizikos indeksą; tačiau dėl rizikos subjektyvumo to negalima garantuotai padaryti kiekvienam įvykiui, ir čia kyla nuolatinės ekspertų priežiūros poreikis rezultatų ekspertizei bei tinklo mokymosi priežiūrai. Kita problema – jei duomenys apie įvykį yra neišsamūs ar iškraipyti, juos reikia filtruoti arba adaptuoti

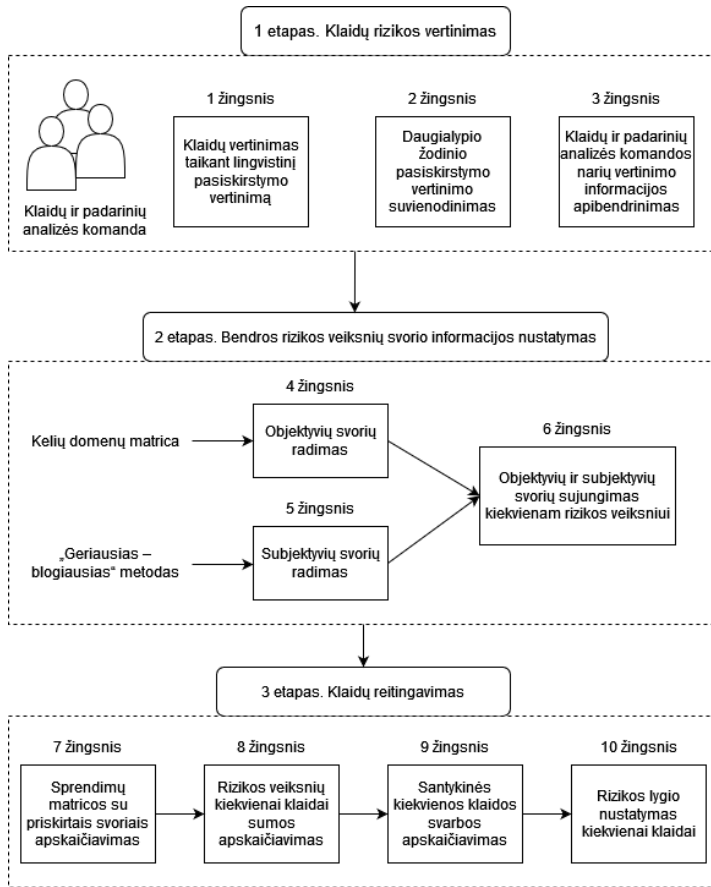
tinklui, pašalinant netikslumus ir neapibrėžtumus, reikalingas žmogaus įsikišimas. Tokia rizikų vertinimo sistema tinka klasifikuoti ar apskaičiuoti rizikas situacijoms, kurioms jau yra istoriškai sukauptas nemažas kiekis duomenų; tačiau ji sunkiai pritaikoma naujų situacijų vertinimui, o realioje kompleksinėje aplinkoje egzistuoja daugybė problemų, kurios dar neturi pakankamai sukauptų struktūrizuotų duomenų.

Rizikų vertinimo metodai miglotosios logikos pagrindu. Dar vienas skaičiavimus intelektualizuojantis metodas yra miglotoji logika [43]. Sistemos, kuriose integruoti miglotosios logikos skaičiavimai, geba manipuliuoti apytikslėmis vertėmis ir žodinės informacijos apdorojimu. Pagrindiniai metodai, kuriems taikoma miglotoji logika, yra:

- miglotosios logikos išvadų sistemos, sujungiančios įėjimo parametrus su išėjimo parametrais, taikant miglotąją logiką, taikyta [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50];
- miglotosios logikos analitinis hierarchinis procesas (FAHP) [51], taikytas [52] [53];
- klaidų ir padarinių analizė [54], taikyta [55], [56], [57], [58];
- daugiakriterinis sprendimų priėmimas, taikyta [59], [60], [61], [62], [63] (miglotosios logikos analitinis tinklo procesas), [64], [65], [66] (pirmenybės eiliškumo pagal panašų į idealųjį sprendimą metodas), [67] (vidurkio skaičiavimas);
- rizikos veiksnių įvertinimas miglotosios logikos Delphi metodu, skirtu nuolatinei nežinomų verčių identifikacijai ir vertinimui [68];
- rizikos vertinimas Petri tinklų modeliu [69].

Keletas esamų rizikos vertinimo sistemų, kuriose taikoma miglotoji logika:

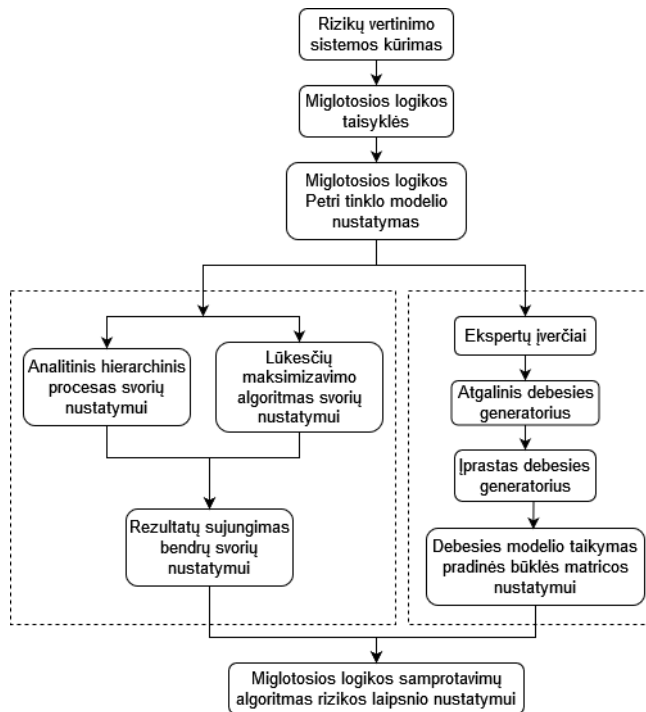
- Superkritinės vandens dujų fiksavimo sistemos rizikų vertinimo sistema [70], grįsta klaidų ir padarinių analize (angl. *failure mode and effects analysis*, FMEA [54]) taikant daugiagrاندį žodinio pasiskirstymo vertinimą. Sistema, skirta nustatyti potencialui, galimiems gedimams ir jų padariniams. Šioje sistemoje taikomi žodiniai metodai, pasitelkiant miglotosios logikos skaičiavimus, siekiant įvertinti rizikos veiksnius. Modelis susideda iš trijų etapų: klaidų rizikų vertinimo, bendros rizikos veiksnių svorio informacijos nustatymo ir klaidų reitingavimo. Sistemos funkcinė organizacija pavaizduota 3 paveiksle.



3 pav. Rizikų vertinimo sistemos, grįstos klaidų ir padarinių analize, funkcinė organizacija

Šios sistemos funkcinės organizacijos pagrindinis bruožas – rizika vertinama keliais etapais, perduodant ankstesnio etapo rezultatus tolimesniai, be to, taikomi miglotosios logikos žodiniai metodai. Agreguoti įverčiai perduodami tolimesniai etapui, kuriame apskaičiuojami objektyvūs ir subjektyvūs riziką lemiančių veiksnių svoriai. Trečiajame etape apskaičiuoti svoriai suvedami į matricą ir įvertinami rizikų lygiai.

- Tolimųjų naftos ir dujų transportavimo vamzdynų rizikos vertinimas, taikant miglotosios logikos Petri tinklų modelį [69]. Miglotosios logikos priešastingumo procese, įvertinant subjektyvių ir objektyvių veiksnių įtaką, su jais susiję parametrai yra optimizuojami. Naudojama analitinio hierarchinio proceso (AHP) ir lūkesčių maksimizavimo algoritmo (angl. *Expectation-maximization algorithm*, EM) [71] kombinacija rizikos veiksnių svorių vertinimui. Debesies modelis [72] pritaikomas pradinių rizikos veiksnių miglotosios logikos priklausomybių funkcijoms apskaičiuoti esant skirtingiems rizikos lygiams. Sistemos funkcinė organizacija pavaizduota 4 paveiksle.

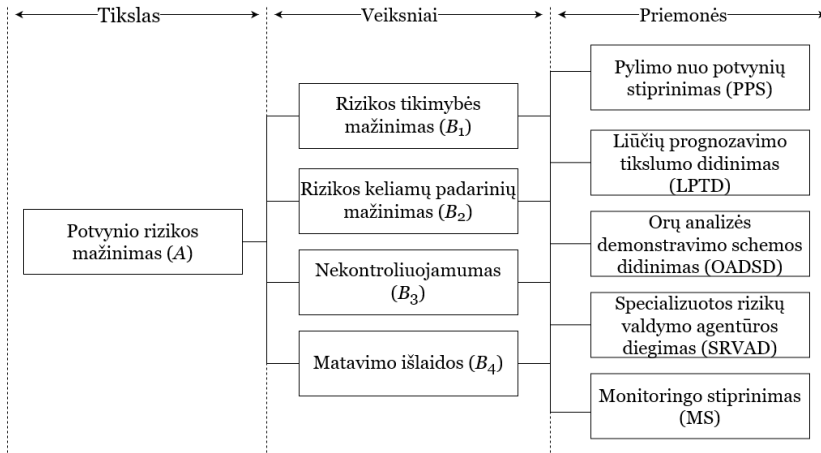


4 pav. Rizikų vertinimo sistemos, taikančios miglotosios logikos Petri tinklų modelį, funkcinė organizacija

Ši sistema skirta sudaryti miglotosios logikos priežastinių ryšių algoritmą rizikos vertinimui pritaikant miglotosios logikos Petri tinklų modelį. Kartu taikomi analitinio hierarchinio proceso (AHP), drauge su lūkesčių maksimizavimo algoritmu (EM), metodai ir surenkami ekspertiniai įverčiai, taip sudaromas galutinis algoritmas.

- Potvynių rizikos vertinimo sistema [73], grįsta vertinimo modeliu, jungiančiu miglotosios logikos analitinį hierarchinį procesą (AHP) [51] su trikampių miglotosios logikos įverčiu [73]. Sistema vertina ir prognozuoja potvynių riziką, siekiant gauti rizikos veiksnių reitingus, išsamią potvynių rizikos prognozę ir reagavimo į potvynius priemonių analizę. Analitinis hierarchinis procesas yra metodas, skirtas kompleksinių sprendimų sisteminimui ir analizei, naudojantis matematika ir psichologija. Analitinis hierarchinis procesas susideda iš trijų dalių: sprendžiamos problemos, visų galimų sprendimų ir kriterijų, pagal kuriuos pasirenkamas konkretus problemos sprendimas. Kriterijai lyginami tarpusavyje priskiriant jiems skaitines reikšmes, ir galimi problemos sprendimai sureitinguojami į eilę. Šioje sistemoje hibridiškai sujungiami analitinio hibridinio proceso metu išskiriami kriterijų įverčiai su trikampių miglotosios logikos termais, kad būtų galima įvertinti neapibrėžtumus. Trikapiai termai yra pati paprasčiausia miglotosios logikos priklausomybės funkcija, vietoj konkrečios skaitinės reikšmės varijuojant

reikšmių intervalu su tikrumo laipsniais. Sistemos funkcinė organizacija pavaizduota 5 paveiksle.



5 pav. Miglotosios logikos AHP rizikų vertinimo sistemos funkcinė organizacija

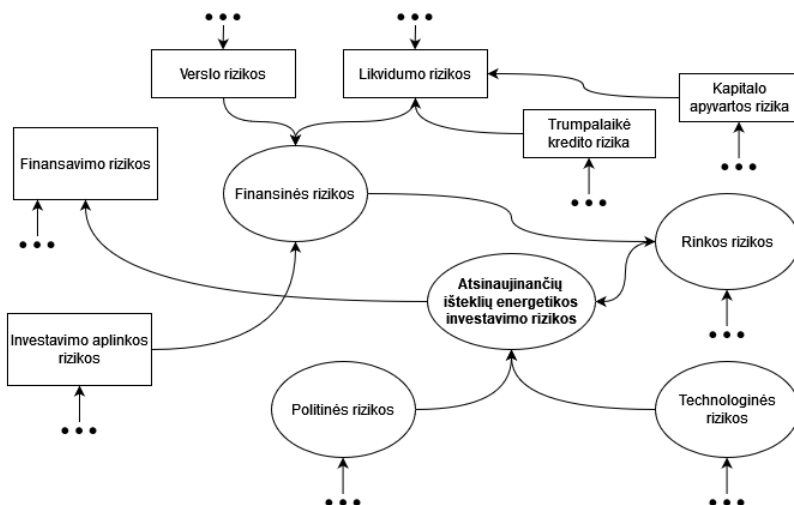
Ši sistema jungia tarpusavyje tris dalis: tikslą, veiksnius ir priemones. Vertinant riziką tikslas yra sumažinti tam tikrą rizikos veiksnio įvertį A . Tikslas A siejasi su keturiais veiksniais: rizikos tikimybės mažinimu B_1 , rizikos keliamų padarinių žalos mažinimu B_2 , rizikos nekontroliuojamumu B_3 ir matavimų išlaidomis (sąnaudomis) B_4 . Šie keturi veiksniai siejasi su aibe priemonių, priklausomų nuo taikymo srities – šiuo atveju priemonėmis potvynių rizikos vertinimui.

Rizikų vertinimo metodai, sudaryti miglotosios logikos pagrindu, ne vien geba apdoroti žodinę informaciją, dirbti su neapibrėžtumais, bet ir nereikalauja didelio kiekio sukauptų istorinių duomenų sistemos veikimui – tinka vertinti situacijas, kurios yra naujos ir mažai pažintos.

Kiti intelektiniai rizikų vertinimo metodai. Rizika vertinama iš situacijos aprašą sudarančių duomenų, juos klasifikuojant [74], reitinguojant [75] ir sudarant rizikos matricą [76], [77], [78], [79] ar naudojant kitokius pavidalus sprendimų priėmimui [80], [81], [82], [83], [84], didelių duomenų analizę [85]. Egzistuoja holistiniai rizikų vertinimo metodai [86], [87], [88], [89], [90], [91], [92], paremti scenarijais [93], [94], klausimynu [95] ar dirbtinio intelekto įrankiais [96], [74]. Be dirbtinių neuroninių tinklų ir miglotosios logikos metodų, rizikų vertinimui dar taikomi granulinio skaičiavimo [97] bei genetiniai algoritmai [98], taip pat įvairūs konkrečiai sričiai taikomi statistinės analizės metodai, kaip [99], [100] ar statistiniai faktorių analizės metodai, kaip [101]. Keletas rizikos vertinimo sistemų, taikančių kitus nei miglotosios logikos ir dirbtinių neuroninių tinklų metodus:

- Atsinaujinančių išteklių energetikos rizikų vertinimo sistema, pagrįsta vidinėmis dinamikomis [102]. Sistemines dinamikos metodu nagrinėjama investicijų į atsinaujinančių išteklių energetiką rizika. Išskirtos trys kategorijos: techninė, politinė ir rinkos rizika, pagal kurias nustatomas konkretus rizikų

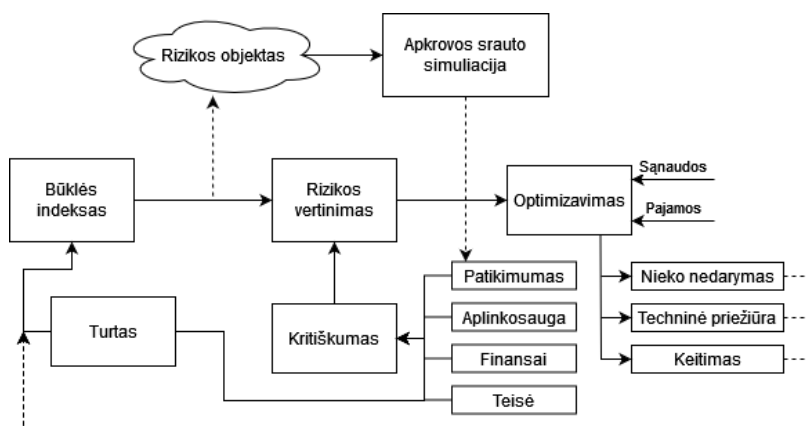
vertinimo modelis ir priežastinės kilpos. Šioje sistemoje rizikos vertinimo modelis sudaromas pagal įvertintas trijų kategorijų komponentus ir jų tarpusavio sąveikos dinamiką. Sistemos funkcinė organizacija pavaizduota 6 paveiksle.



6 pav. Rizikų vertinimo sistemos, grįstos vidinėmis dinamikomis, funkcinė organizacija

Šios rizikų vertinimų sistemos funkcinė organizacija – priežastinių sąryšių tinklas, susidarantis identifikuojant riziką lemiančius techninius, politikos bei rinkos veiksnius ir jų tarpusavio sąveiką.

- Optimalaus sprendimo priėmimas elektros sistemose naudojant turto rizikos karkasą [86] – holistinė sistema, siekianti identifikuoti ir prioritetizuoti reikiamus atlikti veiksmus rizikos vertinimui ir valdymui ar atsparumo didinimui. Sistemos funkcinė organizacija pavaizduota 7 paveiksle.

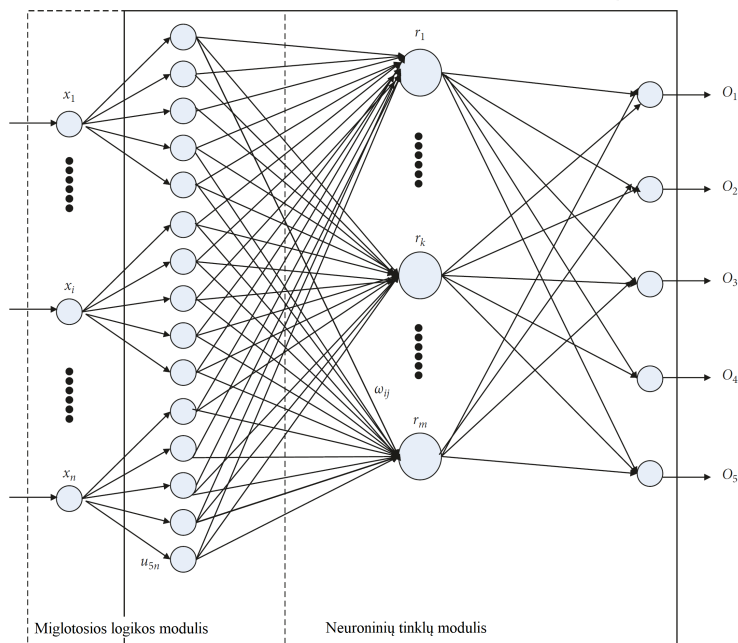


7 pav. Holistinės rizikų vertinimo sistemos funkcinė organizacija

Šios sistemos funkcinė organizacija – klasikinis valdymo ciklas, pritaikytas rizikų vertinimui su grįžtamuju ryšiu ir aplinką veikiančiais aktuatoriais, kurie atpažįsta, mažina ir perkelia rizikas. Rizikos objektas šiame kontekste – elektros sistema, kuriai atliekama apkrovos srauto simuliacija, nustatant poveikį patikimumo, aplinkosaugos, finansų ir teisės tikslais numatomu planavimo laikotarpiu. Rizika apskaičiuojama kiekvienam turtui, naudojant jo būklės įrašus ir įvertinant turto būklės pasikeitimus. Būklė kiekybiškai įvertinama kaip turto gedimo tikimybė, o pasekmė nustatoma pagal turto poveikį visai sistemai (kritiškumą). Gedimo tikimybė įvertinama taikant turto būklės indeksą. Sistema ne vien vertina rizikas, bet ir siekia optimizacijos reikiamoms sąnaudoms bei gaunamoms pajamoms pagal įvertintas rizikas keičiant sistemos būklę vienu iš svertų – techninės priežiūros atlikimu arba sistemos dalių keitimu.

Pateikti kelių kitokių nei miglotosios logikos ar dirbtinių neuroninių tinklų pagrindu sudarytų rizikos vertinimo sistemų pavyzdžiai reprezentuoja modelius, sudarytus remiantis sprendžiamos probleminės srities dinamikomis.

Hibridiniai rizikų vertinimo metodai. Vertinant rizikas skaičiavimams taikomas ne tik konkretus intelektinis metodas ar algoritmas, bet ir kelių skirtingų metodų hibridinė kombinacija. Esama dirbtinių neuroninių tinklų ir miglotosios logikos hibridinių modelių rizikos vertinimui [103], [104], [105], [106], [107], kelių miglotosios logikos daugiakriterinio sprendimų priėmimo metodų hibridinis metodas [108], holistinių miglotosios logikos metodų [109], [110], mašininio mokymosi, ekspertų žinių ir genetinio algoritmo hibridinis metodas [111]. Hibridiniuose metoduose išnaudojamos kelių atskirų intelektinių metodų stiprybės ir ieškoma bendro junginio funkcinės organizacijos. Vienas tokių pavyzdžių – surenkamo pastato statybos rizikų vertinimas, taikant miglotosios logikos ir dirbtinio neuroninio tinklo hibridinį modelį [103]. Toks hibridinis modelis kartu išnaudoja kokybinės žinių išraiškos ir kiekybinių skaitinių skaičiavimų privalumus sukuriant didesnio atsparumo gedimams ir geresnių prisitaikymo gebėjimų rinkinį. Sistemos funkcinė organizacija pavaizduota 8 paveiksle.



8 pav. Miglotosios logikos ir dirbtinių neuroninių tinklų hibridinės rizikų vertinimo sistemos funkcinė organizacija

Projektuojant miglotosios logikos tinklo modelio struktūrą, miglotosios logikos išsamaus vertinimo kiekybinių ir kokybinių indikatorių priklausomybės vektorius taikomas kaip sistemos įėjimo parametrų vektorius, o vertinimo rezultatas – kaip neuroninio tinklo išėjimo parametras.

Visi išanalizuoti rizikų vertinimo metodai ir sistemos turi privalumų ir trūkumų. Pagrindinis dirbtiniais neuroniniais tinklais grįstų sistemų privalumas – rezultatų tikslumas, tačiau, kad būtų galima to pasiekti, reikalingi didžiuliai duomenų kiekiai ir laikas tinklo apmokymui. Sistemos modelis sudaromas empiriškai iš visų apdorotų duomenų, todėl labiau tinkamas spręsti problemoms, apie kurias jau turima žinių. O štai vienas pagrindinių miglotosios logikos privalumų – galimybė skaičiuoti su neapibrėžtumais ir apdoroti žodinius duomenis, be to, sistemos veikimui nereikalingas didelis duomenų kiekis; bet trūkumas – modeliui vertes turi nusakyti ekspertai, ir tai imli žmogiškajam darbui užduotis. Kitų intelektinių rizikos vertinimo metodų pagrindinis bruožas – sąsajų tarp vidinių dinamikų radimas, bet tai sukelia trūkumą ieškant nepriklausomos nuo taikymo srities rizikų vertinimo sistemos funkcinės organizacijos. Hibridiniais metodais grįstos sistemos gali išnaudoti kelis privalumus vienu metu ar sumažinti trūkumus, jei randama tos uždavinių grupės sprendimui tinkamiausia hibridinė struktūra. Rizikų vertinimo metodų analizės rezultatų suvestinė, kartu su taikomumo kiekybinio vertinimo balu, pateikta 1 lentelėje.

1 lentelė. Rizikos vertinimo metodų analizės rezultatų suvestinė

Metodas	Privalumai	Trūkumai	Balas
Dirbtiniai neuroniniai tinklai [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37]	Galimybė įvertinti daug veiksnių, aukštas prognozavimo tikslumo lygis turint gerai apmokytą tinklą, didelis našumas	Reikalingas didelis duomenų kiekis tinklo apmokymui, jautrumas mokymo klaidoms	7/10
Bajeso tinklas [38], [39], [40]	Skirtingų duomenų formatų ir trūkstančių duomenų interpretavimo galimybės, galimybė įvertinti veiksnių tarpusavio sąveikas	Reikalingas didelis duomenų kiekis tinklo apmokymui, jautrumas mokymo klaidoms, statistinių modelių ir Bajeso teorijos žinių poreikis modelio sudarymui	8/10
Nuodugnaus mokymosi algoritmai [30], [41], [42]	Galimybė automatizuoti duomenų paruošimą modelio apmokymui, automatiškai išskiriant veiksnius iš duomenų, didelis prognozavimo tikslumas, pritaikomumas skirtingoms problemoms ir duomenų rinkiniams	Reikalingas didelis duomenų kiekis tinklo apmokymui, jautrumas mokymo klaidoms, mažas skaidrumas, didelės skaičiavimo išteklių sąnaudos	9/10
Miglotosios logikos taisyklių sistemos [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [67], FAHP [51], [52], [53], [73], FMEA [54], [55], [56], [57], [58], [70], MCDA [59], [60], [61], FANP [62], [63], TOPSIS [64], [65], [66]	Neapibrėžtumų ir netikslumų vertinimas, rezultatų skaidrumas, paaiškinamumas, galimybė atsižvelgti į daugelį veiksnių	Didelis taisyklių kiekis kompleksiškesniems modeliams, reikalaujantis daug laiko ir išteklių sudarymui ir priežiūrai, gali nepakakti informacijos apie santykius tarp duomenų	7/10

Miglotosios logikos Delphi metodas [68]	Gali padėti rasti geriausius sprendimus pasitelkiant ekspertų nuomones	Reikalauja papildomo laiko, ne visada garantuoja tikslumą	6/10
Miglotosios logikos Petri tinklai [69]	Gali būti naudojami modeliuojant įvairius veikimo scenarijus, analizuojant ir optimizuojant procesus	Sudėtingas modelių sudarymas, didelės laiko ir resursų sąnaudos	6/10
Rizikos matrica [76], [77], [78], [79]	Aiškumas, paprastumas, greitis, vizualumas, nereikalauja papildomų žinių	Paviršutiniškumas, subjektyvumas, nepakankamas tikslumas, priklausomybė nuo taikymo srities	5/10
Holistiniai metodai [88], [86], [87], [88], [89], [90], [86], [102], [86], [91], [92]	Vertinama sistemos visumos veikseną, platus požiūris, atsižvelgiama į elementus ir tarpusavio sąveikas, vizualizacija, pritaikomumas skirtingoms situacijoms	Subjektyvumas, priklausomybė nuo ekspertų nuomonės, didelės laiko ir išteklių sąnaudos, jautrumas informacijos nepakankamumui ir netikslumams	8/10
Hibridiniai metodai [103], [104], [105], [106], [107], [110], [111]	Sujungiami keli pavieniai rizikos vertinimo metodai kartu sudaro galimybę patobulinti rizikos vertinimą	Sudėtingumas, poreikis papildomų žinių apie jungiamus metodus, sudėtinga apibrėžti taisykles, kaip atlikti sujungimą, didesnės laiko sąnaudos	9/10

Rizikų vertinimas yra įvairių sprendimų paramos sistemų sudedamoji dalis. Šios analizės tikslas – apžvelgti esamas rizikos sampratas, metodus ir sistemas, surasti nišą naujos rizikų vertinimo sampratos ir metodo pasiūlymui. Ieškant nišos svarbu atsižvelgti į skirtingų esamų sampratų ir metodų privalumus, galiausiai pasiūlant naują unikalų ir veiksmingą variantą. Dar vienas svarbus veiksnys – pasiūlyti metodo išpildymui tinkamą funkcinę organizaciją. Ieškant funkcinės organizacijos šiame darbe prioritetas keliamas modelio skaidrumui („baltosios dėžės“ principui), nes siekiama sukurti metodą, sudarytą iš kelių modulių įvairių sričių rizikoms vertinti, kurio pagrindu atliekami skaičiavimai būtų paaiškinami, o sąsaja tarp tokiu metodu grįstos sistemos ir vartotojo būtų skaidri. Per pastaruosius metus buvo sparčiai tobulinamas tikslų matematinių modelių sudarymas, tačiau modelių tikslumas mažina paaiškinamumą (sistema tampa „juodąja dėže“, kurioje

nebegalima tiesiogiai atsekti, kaip buvo gauti rezultatai). Dėl šios priežasties ir dėl JAV gynybos ministerijos technologijų skyriaus (angl. *Defense Advanced Research Projects Agency*, DARPA) 2017 metų pradžioje skirto finansavimo pastebimai išaugo aiškintinio dirbtinio intelekto (ADI) tyrimų kiekis [112]. ADI metodai taikytini rekomendacijų sistemoms, galima unifikuota, nuo taikymo srities atsieta funkcinė organizacija ir jie dažniausiai kuriami domenams, kuriems yra svarbu saugumas [113], todėl šiame darbe nuspręsta rizikų vertinimo sprendimų paramos sistemos funkcinę organizaciją kurti įkomponuojant ADI principus.

2.4. Rizikų vertinimas Lietuvoje

Atlikus esamų rizikos sampratų, metodų, sistemų ir funkcijų organizacijų analizę, naujo metodo ir sistemos siūlymo nišos radimui papildomai apžvelgiama esamų rizikos vertinimo tyrimų Lietuvoje situacija. Šia tema yra parašyta knygų, straipsnių, magistro darbų ir daktaro disertacijų, kasmet atliekamas nacionalinės rizikos vertinimas pateikiant vertinimo ataskaitą ir yra daug pavienių privačių ar valstybinių institucijų rizikų vertinimo, valdymo ir saugos reglamentų ISO31000 standarto [3] pagrindu [114].

Esama klasikinių darbų, tokių kaip rizikos analizės vadovas [115], kuriame aprašyti rizikos vertinimo ir valdymo procesai, pateiktos rekomendacijos, patarimai, ir šis leidinys laikomas vienu iš pagrindinių rizikų valdymo srities šaltinių Lietuvoje. Kitas plačiai naudojamas klasikinis leidinys – rizikos valdymo vadovėlis [1], kuriame aprašomi rizikų valdymo pagrindai, pateikiami metodai ir priemonės, analizuojami rizikų valdymo proceso ypatumai praktikoje [115].

Dalis rizikų vertinimo tyrimų atlikti konkrečiam scenarijui pagal situacijos parametrus, kaip kad potvynių rizikos vertinimas Akmenos–Danės upės baseine [116] arba akcentuojant pačią riziką, išskiriant charakteristikas, kaip kad Covid-19 rizikų suvokimas, aprėpiantis skirtingas gyvenimo sritis per įvairius klausimynus [117] ar rizikos šiuolaikiniame aukštajame moksle [118]. Atliktas ir tyrimas, nagrinėjantis automatizuotą žinių bazių kūrimą informacijos saugos vertinimo procesams gerinti [119].

Atliekant rizikų vertinimo Lietuvoje tyrimų apžvalgą pastebėta, kad nors esama skirtingų sričių rizikos tyrimų (sveikatos priežiūros [120], informacinių technologijų [121], energetikos [122], statybų sektoriaus [114], sociologijos [123] ir kt.), tačiau dažniausiai sutinkamas finansinių rizikų vertinimas. Vienuose finansinių rizikų tyrimuose taikomi statistinės analizės modeliai, kaip kad pensijų fondų rizikos Lietuvoje tyrimas [124], kuriame analizuojami 26 skirtingi pensijų fondai iš to išvedant kylančias rizikas. Kiti finansinių rizikų modeliai grįsti rizikos kriterijų klasifikavimu, svorių priskyrimu ir rizikos indekso apskaičiavimu, kaip kad rizikos vertinimu grįstos bendros Europos Sąjungos indėlių draudimo sistemos tyrimas Lietuvoje [125], įmonių inovacijų investicijų intensyvumo ir rizikos vertinimas šalies tvarumo kontekste [126] ar sisteminės rizikos vertinimas bendroje Europos Sąjungos indėlių draudimo sistemoje Lietuvos atvejui [127]. Esama ir finansinių rizikos modelių, sudarant rizikos matricą ir suskirstant rizikas į kategorijas, kaip rizikų vertinimu grįstos bendros Europos Sąjungos indėlių draudimo sistemos tyrimas Lietuvoje [125] (tuo pačiu principu atliekama ir

nacionalinė rizikos analizė). Nedideliame kiekyje rizikų vertinimo tyrimų Lietuvoje taikomi kiti metodai, kaip kad *Basel III* standartas tarptautiniam likvidumo rizikų mažinimui [128].

Atlikus rizikų vertinimo Lietuvoje analizę galima teigti, kad šioje srityje jau yra atlikta darbų ir skirtingiems scenarijams taikyti įvairūs metodai, tačiau tyrimų dar nėra labai daug, ypač siūlomų intelektinių rizikos vertinimo metodų plačiam taikymui; todėl tikslinga padaryti mokslinį įnašą, papildant nacionalinių pasiekimų sąrašą ir sudarant sąlygas tolimesnei šių tyrimų tūšai.

2.5. Analizės apibendrinimas

- Išanalizuotos esamos rizikų vertinimo sampratos – dauguma jų remiasi klasikiniu tikimybinio modeliu, kad rizika yra kokio nors žala, padauginta iš tą žalą galinčių sukelti veiksnių pasireiškimo tikimybės.
- Pagrindiniai intelektiniai metodai, taikomi vertinant rizikas, yra dirbtiniai neuroniniai tinklai ir miglotoji logika. Dirbtinių neuroninių tinklų privalumas – rezultatų tikslumas, bet modelio treniravimui reikalingas labai didelis duomenų kiekis ir laikas, o miglotosios logikos modeliams reikalinga ekspertų sukaupta informacija, bet įgalinamas darbas su neapibrėžtumais ir žodinės informacijos apdorojimu.
- Be pagrindinių intelektinių metodų, rizikos vertinimui naudojami ir klausimynai, taikomi scenarijais paremti ar holistiniai metodai, granulinio skaičiavimo ir genetiniai algoritmai ar kelių skirtingų metodų hibridinės kombinacijos. Šių metodų pagrindu esama nemažai pasiūlytų sistemų rizikai vertinti.
- Išanalizuotų rizikos sampratų, metodų ir sistemų rezultatai sukuria sąlygas rasti nišą naujam pasiūlymui, atsižvelgiant į esamus privalumus ir trūkumus. Ieškant nišos svarbu siūlomai sampratai ir metodui išgryninti funkcinę organizaciją iškeliant ir pagrindžiant svarbiausius prioritetus.
- Atlikta rizikų vertinimo situacijos Lietuvoje analizė rodo, jog tikslinga papildyti esamą mokslinį įdirbį naujais tyrimais, ypač orientuotais plačiam taikymui intelektinių rizikos vertinimo metodų srityje.

3. RIZIKŲ VERTINIMO METODAS

3.1. SSGG metodo papildymas „skaičiavimo žodžiais“ paradigma

Vienas iš plačiausiai taikomų metodų situacijos vertinimui yra klasikinė situacijos stiprybių, silpnybių, galimybių ir grėsmių SSGG analizė [129]. Šis metodas, išnaudojant ekspertų sukaupią žmogiškąją patirtį, padeda nustatyti nagrinėjamos situacijos silpnąsias ir stipriąsias puses. SSGG analizės metode galimybės ir grėsmės yra išoriniai veiksniai, galintys sukelti teigiamų ar neigiamų pasekmių nagrinėjamai situacijai ar projektui, o stiprybės ir silpnybės – vidiniai veiksniai, padedantys ar trukdantys pasiekti keliamus tikslus. Iš šių keturių veiksnių sudaromi vektoriai (1), (2), (3) ir (4).

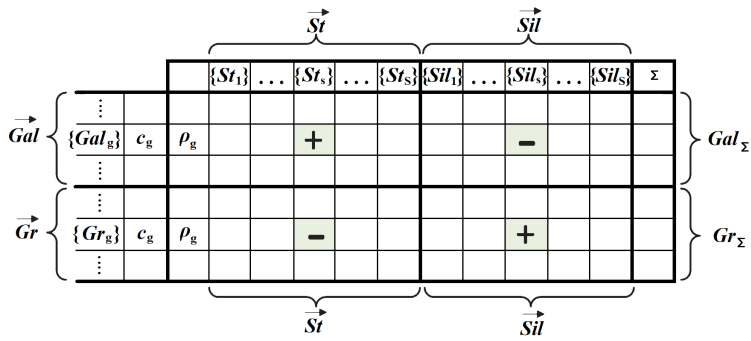
$$\overrightarrow{Gal} = (\{Gal_1\}, \dots, \{Gal_g\}, \dots, \{Gal_G\}), g = 1, \dots, G \quad (1);$$

$$\overrightarrow{Gr} = (\{Gr_1\}, \dots, \{Gr_g\}, \dots, \{Gr_G\}), g = 1, \dots, G \quad (2);$$

$$\overrightarrow{St} = (\{St_1\}, \dots, \{St_s\}, \dots, \{St_S\}), s = 1, \dots, S \quad (3);$$

$$\overrightarrow{Sil} = (\{Sil_1\}, \dots, \{Sil_s\}, \dots, \{Sil_S\}), s = 1, \dots, S \quad (4).$$

Riestiniuose skliaustuose pažymėti vektorių aibių (didžiosios raidės) nariai – žodiniai elementai, įvardijantys situaciją įtakojančius veiksnius. Kiekvienam iš keturių vektorių priskiriami ji sudarantys elementai – ekspertai, remdamiesi savo žiniomis apie nagrinėjamą situaciją išgrynina visas jiems žinomas reikšmingas galimybes, grėsmes, stiprybes ir silpnybes. Situacijos aprašo sudarymui ekspertai turi kiekybiškai įvertinti elementų tarpusavio sąveikas – kaip labai stiprybės ir silpnybės veikia galimybes ir grėsmes. Iš šios kiekybinės tarpusavio sąveikos sudaroma SSGG vertinimo matrica. Taikant klasikinį SSGG metodą ekspertai turi išreikšti stiprybių ir silpnybių įtakų dydžius galimybėms ir grėsmėms skaitine išraiška, o tai neretu atveju yra sudėtingas, netikslus ir lėtas procesas. Dėl tokios priežasties šiame darbe pristatomas pirmą kartą pasiūlytas SSGG metodo papildinys pridedant „skaičiavimo žodžiais“ paradigmą [130]. Ekspertams suteikiama galimybė įvertinti stiprybės ar silpnybės įtaką galimybei ar grėsmei natūralios kalbos žodiniu įverčiu iš apibrėžto žodyno [131], nusakant apibrėžtumo lygmenį. Pasiūlytas klasikinio metodo plėtinys įveda lanksčiosios kompiuterijos ir žodinio informacijos apdorojimo elementus taikant miglotosios logikos skaičiavimus darbui su nevisiškai apibrėžtais duomenimis. SSGG metodo, papildyto „skaičiavimo žodžiais“ paradigma, modelis yra skaidrus („baltosios dėžės“ principas) – eksperto įvedamų žodinių įverčių transformacijos į skaitines vertes algoritmas yra atviras ir galima peržvelgti, kodėl prie konkrečių žodinių įverčių gauti tam tikri skaitiniai rezultatai; todėl galima teigti, jog pasiūlytas naujasis metodas turi aiškintinio dirbtinio intelekto bruožų. Naudojant SSGG metodo, papildyto „skaičiavimo žodžiais“ paradigma, duomenų įvedimo formatą, papildomai ekspertai turi įvertinti kiekvienos galimybės ir grėsmės duomenis – svarbos laipsnį c ir tikrumo laipsnį ρ . Pasiūlytu papildiniu galima lengviau išreikšti ekspertų sukaupią apytikslę patirtį ir specifines žinias apie situaciją, nesirūpinant išreikštų duomenų transformacija į SSGG analizei tinkamas skaitines vertes. SSGG vertinimo matricos vaizdas parodytas 9 paveiksle.



9 pav. SSGG vertinimo matrica

Elementų tarpusavio sąveikos:

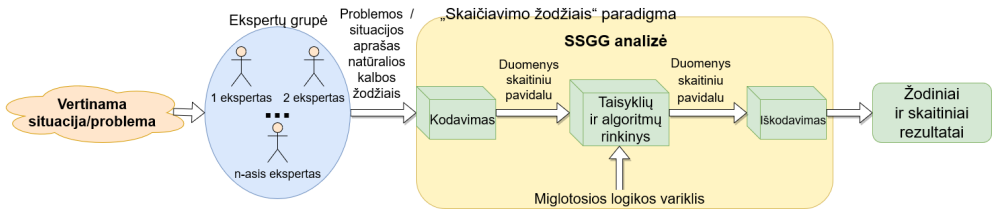
1. St_{galst} – stiprybės st įtaka galimybei gal (veikia didinančiai).
2. Sil_{galsil} – silpnybės sil įtaka galimybei gal (veikia mažinančiai).
3. St_{grst} – stiprybės st įtaka grėsmei gr (veikia mažinančiai).
4. Sil_{grsil} – silpnybės sil įtaka grėsmei gr (veikia didinančiai).

Suminiai galimybių Gal_{Σ} ir grėsnių Gr_{Σ} dydžiai apskaičiuojami pagal formules (5) ir (6).

$$Gal_{\Sigma} = \sum_{gal=1}^G \{c_g(\rho_g + \sum_{st=1}^S St_{galst} + \sum_{sil=1}^S Sil_{galsil})\} \quad (5);$$

$$Gr_{\Sigma} = \sum_{gr=1}^G \{c_g(\rho_g + \sum_{st=1}^S St_{grst} + \sum_{sil=1}^S Sil_{grsil})\} \quad (6).$$

Gal_{Σ} ir Gr_{Σ} taikant klasikinę SSGG analizę yra skaitinės vertės, kurios panaudojant metodo papildinį su „skaičiavimo žodžiais“ paradigma papildomai verbalizuojamos. Bendroji SSGG analizės, papildytos „skaičiavimo žodžiais“ paradigma schema pavaizduota 10 paveiksle.



10 pav. SSGG analizės metodas, papildytas „skaičiavimo žodžiais“ paradigma

SSGG analizės įvesties ir išvesties duomenys tarp skaitinio ir žodinio pavidalo koduojami ir iškoduojami taikant miglotąją logiką. Informacijos verbalizavimui taikomas iš anksto apibrėžtas žodinių įverčių vektorius (7).

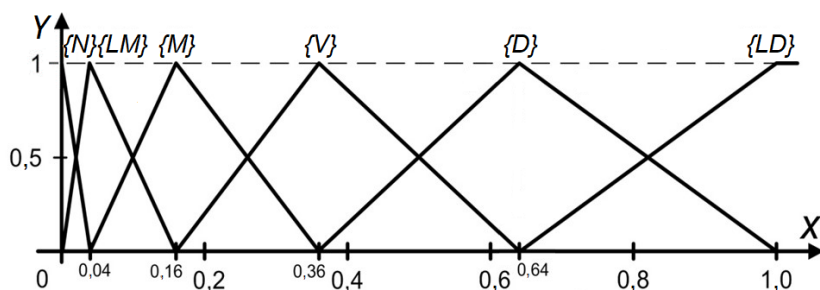
$$\{\vec{a}\} = (\{a_1\}, \dots, \{a_a\}, \dots, \{a_A\}) \quad (7).$$

Pagal labai plačiai psichologijoje cituojamą Milerio dėsnį [132], žmogus gali skirti iki 7 skirtingų klasifikuojančių įverčių (su kelių įverčių paklaida). Šiame darbe parinktas žodynas iš šešių skirtingų įverčių, pateiktų formulėje (8).

- {N} – Nėra
- {LM} – Labai mažai
- {M} – Mažai
- {V} – Vidutiniškai
- {D} – Daug
- {LD} – Labai daug

(8).

Sudarant žodyną parinkti pagrindiniai trys klasifikuojantys įverčiai (mažai, vidutiniškai ir daug), kurie papildyti kraštutiniais (labai mažai ir labai daug) ir pridėtas absoliutusias (nėra). Sudarytas žodynas siejamas su skaitinėmis vertėmis, taikant miglotosios logikos terminus, jiems parenkant priklausomybės funkcijas. Ekspertų patirtimi formuojamoms lingvistinių kintamųjų termų priklausomybės funkcijoms natūralus Gauso varpo tipo funkcijų pavidalas, tačiau šiame darbe pasirinkta taikyti paprastesnes trikampes priklausomybės funkcijas. Gauso funkcijos tinkamesnės tada, kai yra didesnis kiekis duomenų ir siekiama didesnio tikslumo, o formuluojamas metodas orientuojamas į naujų precedento neturinčių situacijų analizę, kurios parametrų priklausomybių funkcijų negalima tiksliai nustatyti, be to, nėra pakankamai žinių apie situaciją ir žinios yra apytikslės. Sudarytas žodynas siejamas su skaitinėmis vertėmis, taikant miglotosios logikos terminus su trikampėmis tikrumo funkcijomis, kurių viršūnės išskirstytos intervale [0–1], remiantis kvadratinės parabolės dėsniu [133] atspindint tai, jog kuo didesnė reikšmė vertinama, tuo didesnis galimas neapibrėžtumas. Intervalas [0–1] reikalingas tam, kad galimai skirtingų dimensijų dydžiai būtų sunorminti į vieną bendrą dimensiją – visi įvesties ir išvesties skaitiniai dydžiai po norminimo atsiduria šiame intervale. Sudaryto žodyno miglotosios logikos teiginių tikrumo termų vaizdas pateiktas 11 paveiksle.



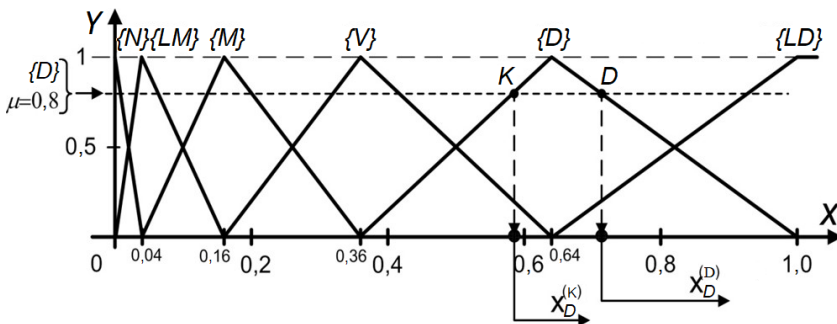
11 pav. Sudaryto žodyno miglotosios logikos teiginių tikrumo termai

Pagal kvadratinės parabolės dėsnį X ašis lygiomis dalimis padalijama į viena mažiau, nei yra termų, atkarpas, tada šių atkarpų X koordinatės keliamos kvadratu ir gautos vertės tampa termų viršūnėmis – kuo didesnė termo viršūnės X koordinatė, tuo jis yra „platesnis“. Y ašis vaizduoja termo tikrumo laipsnį tame pačiame intervale [0–1]. Toks termų pasiskirstymas glaudžiai siejasi su ekspertų vertinimais, kylančiais iš pačios žmogiškosios mąstymo prigimties ir patirties – kuo mažesnis mastelis vertinamas, tuo tikslesnį įvertį ekspertas gali išreikšti ir atvirkščiai – didelio mastelio vertinimas visada yra apytikslis.

Žodinio įverčio skaitinei vertei išgauti turi būti įvertintas tikrumo laipsnis. Siūloma tikrumo laipsnį vertinti vienu iš trijų būdų pasirinktinai:

1. Tikrumas, įvertintas skaitine išraiška (intervale [0–1]).
2. Visiškas tikrumas (100 %).
3. Tikrumas, išreikštas žodiniu įverčiu iš parinkto žodyno.

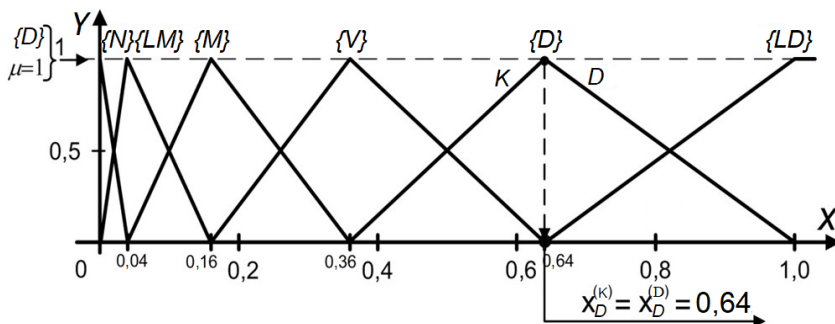
Pirmuoju atveju, pasirinkus žodinio įverčio tikrumą vertinti skaitine išraiška, kodavimo procesas vyksta, kaip pavaizduota 12 paveiksle.



12 pav. Kodavimas pateikus skaitinę tikrumo vertę

Pateiktas eksperto įvertis „daug“ (termas $\{D\}$) su tikrumu $\mu = 0,8$. Vertikalioje ašyje ties 0,8 atžyma brėžiama horizontali punktyrinė linija, lygiagreti su X ašimi ir pažymimi du sankirtos taškai K ir D (kairysis ir dešinysis pečiai). Kairiojo peties $\{D\}$ termo X koordinatė $X_D^{(K)}$ yra pesimistinė skaitinė įverčio reikšmė, o dešiniojo peties $X_D^{(D)}$ – optimistinė. Kadangi termų trikampiai išdėstyti pagal kvadratinės parabolės dėsnį ir nėra lygiašoniai, išvedus vidurkį gaunama trečioji – vidutinė reikšmė, kuri nėra lygi termo viršūnės X koordinatei.

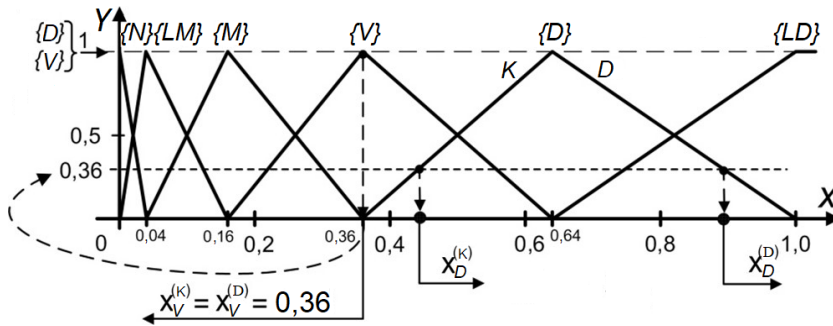
Antruoju atveju, pasirinkus žodinio įverčio tikrumą vertinti su visišku tikrumu, kodavimo procesas vyksta kaip pavaizduota 13 paveiksle.



13 pav. Kodavimas esant visiškam tikrumui

Pateiktas eksperto įvertis „daug“ (termas $\{D\}$) su visišku tikrumu $\mu = 1$. $\{D\}$ termo viršūnės X koordinatė 0,64 tampa tiek pesimistinė $X_D^{(K)}$, tiek optimistinė $X_D^{(D)}$, tiek ir vidutinė skaitinė tokio įverčio reikšmė.

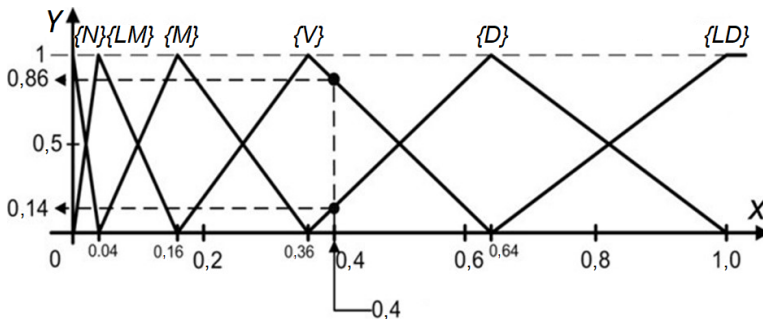
Trečiuoju atveju, pasirinkus žodinio įverčio tikrumą vertinti žodine išraiška, kodavimo procesas vyksta, kaip pavaizduota 14 paveiksle.



14 pav. Kodavimas pateikus žodinę tikrumo vertę

Pateiktas eksperto įvertis „daug“ (termas $\{D\}$) su žodiniu tikrumu „vidutiniškai“ (termas $\{V\}$). Skaitinės įverčio reikšmės kodavimui pirma koduojama tikrumo reikšmė. Tikrumo reikšmė koduojama įverčiui „vidutiniškai“ (termas $\{V\}$) su visišku tikrumu kaip pavyzdyje, pateiktame 13 paveiksle. Koduota tikrumo skaitinė reikšmė $X_V^{(K)} = X_V^{(D)} = 0,36$ panaudojama koduoti įverčiui „daug“ (termas $\{D\}$) kaip pavyzdyje, pateiktame 12 paveiksle, ir gaunamos pesimistinė skaitinė įverčio reikšmė $X_D^{(K)}$ bei optimistinė $X_D^{(D)}$.

Skaitinės informacijos iškodavimas į žodinę yra atvirkštinis procesas, taikomas žodiniam rezultatų pateikimui. Skaitinės informacijos iškodavimo pavyzdys pateiktas 15 paveiksle.



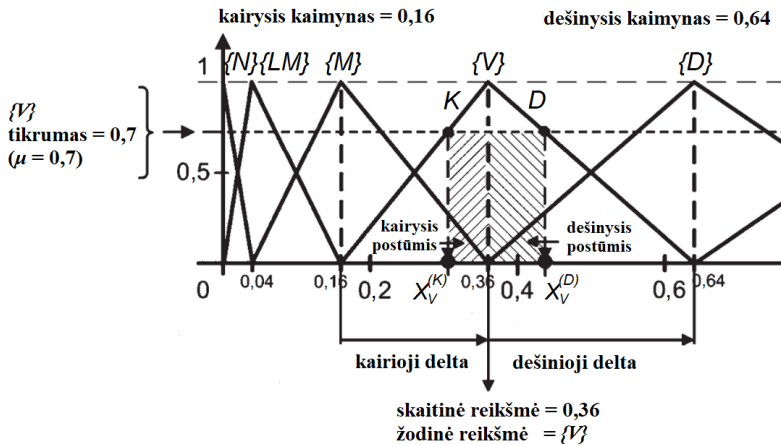
15 pav. Skaitinės informacijos iškodavimas

Verbalizuojama skaitinė vertė 0,4. X ašyje ties šia žyma brėžiama vertikali punktyrinė linija ir pažymimi du sankirtos taškai su termų priklausomybės funkcijų linijomis. Nuo šių sankirtos taškų brėžiamos horizontalios linijos, lygiagrečios su X ašimi ir sankirtose su Y ašimi gaunamos skaitinės reikšmės – tikrumo laipsniai. Pavyzdyje pavaizduotas skaičius 0,4 iškoduojamas į du įverčius: „vidutiniškai“ (termas $\{V\}$) su tikrumu 0,86 ir „daug“ (termas $\{D\}$) su tikrumu 0,14.

1 algoritmas: žodinio įverčio vertimas skaitine išraiška

1. Žodinis įvertis $\{X\}$ (termas) su tikrumu Y turi savo trikampę priklausomybės funkciją – pažymimas kairysis, dešinysis kraštai ir viršūnė [kair., centr., deš.].
2. Kairioji delta = centr. – kair.
3. Dešinioji delta = deš. – centr.
4. Kairioji (K) termo $\{X\}$ skaitinė vertė $X_{\{X\}}^{(K)} = \text{centr.} - (1 - Y) * \text{kairioji delta}$ (pesimistinė skaitinė vertė).
5. Dešinioji (D) termo $\{X\}$ skaitinė vertė $X_{\{X\}}^{(D)} = \text{centr.} + (1 - Y) * \text{dešinioji delta}$ (optimistinė skaitinė vertė)
6. Vidutinė skaitinė vertė = optimistinė + pesimistinė / 2.

1 pavyzdys: žodinio įverčio vertimas skaitine išraiška. Žodinio įverčio „vidutiniškai“ (termas $\{V\}$) su skaitiniu tikrumu 0,7 kodavimas į skaitinę vertę parodytas 16 paveiksle.



16 pav. Žodinio įverčio „vidutiniškai“ su skaitiniu tikrumu 0,7 kodavimas į skaitinę vertę

Žodinio įverčio „vidutiniškai“ (termas $\{V\}$) su skaitiniu tikrumu 0,7 kodavimo į skaitinę vertę pavyzdys:

1. Termo $\{V\}$ trikampės priklausomybės funkcijos viršūnė yra taške $X = 0,36$.
2. Termo $\{V\}$ trikampės priklausomybės funkcijos kairysis kraštai yra taške $X = 0,16$ (kairiojo kaimyno viršūnė), dešinysis yra taške $X = 0,64$ (dešiniojo kaimyno viršūnė).
3. Kairioji delta = $0,36 - 0,16 = 0,2$.
4. Dešinioji delta = $0,64 - 0,36 = 0,28$.
5. Pagal nurodytą skaitinį tikrumą, brėžiama punktyrinė tiesė, lygiagreti su X ašimi ($Y = 0,7$) ir pažymimi sankirtos taškai su termo $\{V\}$ trikampę priklausomybės funkcija K ir D .

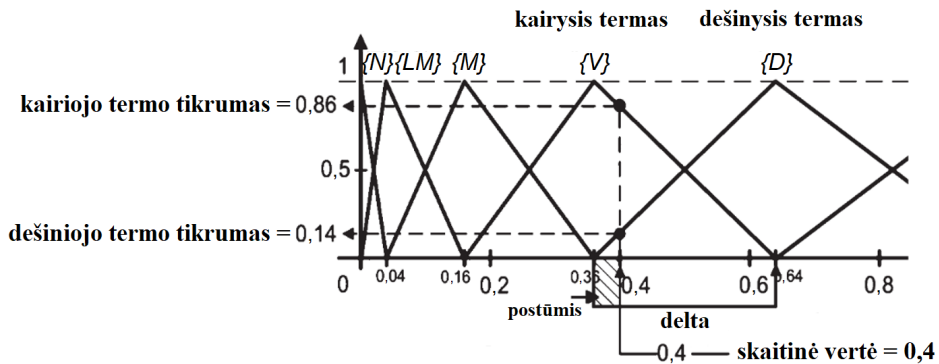
6. K sankirtos taško X koordinatės nuotolis nuo termo $\{V\}$ trikampės priklausomybės funkcijos viršūnės X koordinatės yra kairysis postūmis. Kairysis postūmis = $(1 - \text{tikrumas}) * \text{kairioji delta} = (1 - 0,7) * 0,2 = 0,06$.
7. D sankirtos taško X koordinatės nuotolis nuo termo $\{V\}$ trikampės priklausomybės funkcijos viršūnės X koordinatės yra dešinysis postūmis. Dešinysis postūmis = $(1 - \text{tikrumas}) * \text{dešinioji delta} = (1 - 0,7) * 0,28 = 0,084$.
8. Kairioji skaitinė vertė $X_V^{(K)} = \text{termo } \{V\} \text{ trikampės priklausomybės funkcijos viršūnės } X \text{ koordinatė} - \text{kairysis postūmis} = 0,36 - 0,06 = 0,3$.
9. Dešinioji skaitinė vertė $X_V^{(D)} = \text{termo } \{V\} \text{ trikampės priklausomybės funkcijos viršūnės } X \text{ koordinatė} + \text{dešinysis postūmis} = 0,36 + 0,084 = 0,444$.
10. Kairioji skaitinė vertė $(0,3)$ yra pesimistinė skaitinė vertė, dešinioji $(0,444)$ yra optimistinė skaitinė vertė. Vidutinė skaitinė vertė = $(0,3 + 0,444) / 2 = 0,372$.

2 algoritmas: skaitinio įverčio vertimas žodine išraiška su tikrumu

1. Termai, kurių X koordinatės intervaluose patenka nurodytas skaitinis įvertis, pažymimi [termas1; termas2].
 - Jei nurodytas skaitinis įvertis sutampa su kurio nors termo viršūne – rezultatas yra tas termas su visišku tikrumu ir greta esantys termai su nuliniu tikrumu.
2. Delta = termas2 viršūnė – termas1 viršūnė.
3. Postūmis = nurodytas skaitinis įvertis – termas1 viršūnė.
4. termas1 tikrumas = $1 - \text{postūmis} / \text{delta}$.
5. termas2 tikrumas = $1 - \text{termas1 tikrumas}$.

2 pavyzdys: skaitinio įverčio vertimas žodine išraiška su tikrumu

Skaitinio įverčio 0,4 iškodavimo į žodinę vertę su tikrumu pavyzdys pateiktas 17 paveiksle.



17 pav. Skaitinio įverčio 0,4 iškodavimas į žodinę vertę su tikrumu

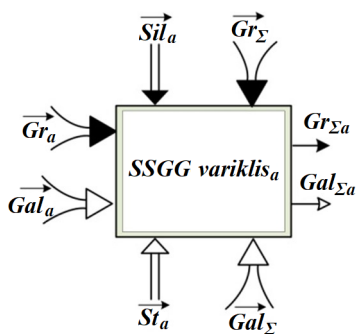
Skaitinio įverčio 0,4 iškodavimo į žodinę vertę su tikrumu pavyzdys:

1. Brėžiama vertikali punktyrinė tiesė pagal nurodytą skaitinį įvertį $X = 0,4$.
2. Pažymimi nubrėžtos punktyrinės tiesės sankirtos su trikampėmis priklausomybės funkcijomis taškai.
3. Sankirtos taškai išrikiuojami: $\{V\}$ – kairysis terminas, $\{D\}$ – dešinysis terminas.
4. Apskaičiuojama delta tarp kairiojo ir dešiniojo termų trikampių priklausomybių funkcijų viršūnių X koordinatčių $= 0,64 - 0,36 = 0,28$.
5. Apskaičiuojamas nurodyto skaitinio įverčio $X = 0,4$ postūmis nuo arčiausiai esančio termino (pateiktu atveju $\{V\}$) trikampės priklausomybės funkcijos viršūnės X koordinatės $= 0,4 - 0,36 = 0,04$.
6. Kairiojo termino tikrumas $= 1 - \text{postūmis} / \text{delta} = 1 - 0,04/0,28 = 0,86$.
7. Dešiniojo termino tikrumas $= 1 - \text{kairiojo termino tikrumas} = 1 - 0,86 = 0,14$.

Pateikiant SSGG analizės rezultatus žodine išraiška, vaizduojami pesimistinis, optimistinis ir vidutinis variantai su tikrumo reikšmėmis. Šie rezultatai yra siūlomo rizikų vertinimo metodo pirmojo žingsnio rezultatai, pritaikomi antrajame žingsnyje.

3.2. Miglotųjų SSGG planų metodas

Klasikinis SSGG metodas yra statiškas ir taikomas vienos izoliuotos situacijos ar projekto analizei. Realioje aplinkoje projektai tarpusavyje būna susiję ir vienas kitam daro įtaką. Vieno projekto parametrų pokytis gali pakeisti kito susijusio projekto rezultatus. Šios problemos sprendimui siūloma idėja tarpusavyje sujungti kelias SSGG analizes į vieną bendrą tinklą, kuriame vieno projekto galimybės ir grėsmės gali daryti įtaką kito projekto suminėms galimybėms ir grėsmėms. Tokiame tinkle pavienė SSGG analizė tampa mazgu, pavadintu SSGG varikliu, kaip parodyta 18 paveiksle.



18 pav. SSGG variklis

Kiekviena aplinka a turi savo galimybių \vec{Gal}_a , grėsmių \vec{Gr}_a , silpnųjų \vec{St}_a ir stiprybių \vec{St}_a vektorius, kuriuos kaip įėjimo duomenis naudoja tos aplinkos SSGG variklis_a (teigiamai veikiantys dydžiai pažymėti baltomis rodyklėmis, neigiamai – juodomis). SSGG variklio rezultatai yra suminiai galimybių ir grėsmių dydžiai aplinkai a – $\vec{Gal}_{\Sigma a}$ ir $\vec{Gr}_{\Sigma a}$. Tam, kad kelias izoliuotas SSGG analizes būtų galima sujungti į bendrą tinklą, SSGG variklis specialiai papildytas dviem įėjimo

parametrais – galimybių ir grėsmių dydžiais iš kitų susijusių projektų – $\overrightarrow{Gal_{\Sigma}}$ ir $\overrightarrow{Gr_{\Sigma}}$. Įvedus projektų tarpusavio sąryšius suminiai galimybių ir grėsmių dydžiai apskaičiuojami analogiškai kaip (5) ir (6) formulėse, tik papildomai pridedami suminių galimybių ir grėsmių rezultatai iš kitų susijusių aplinkų Gal_{Σ} ir Gr_{Σ} , kaip parodyta formulėje (9).

$$\begin{cases} Gal_{\Sigma a} = \sum_{agal=1}^{aG} \{c_{ag}(\rho_{ag} + \sum_{ast=1}^{aS} St_{agalst} + \sum_{asil=1}^{aS} Sil_{agatsil})\} + Gal_{\Sigma} \\ Gr_{\Sigma a} = \sum_{agr=1}^{aG} \{c_{ag}(\rho_{ag} + \sum_{ast=1}^{aS} St_{agrst} + \sum_{asil=1}^{aS} Sil_{agrsil})\} + Gr_{\Sigma} \end{cases} \quad (9).$$

Tarpusavyje vieno projekto galimybės gali daryti įtaką kito projekto galimybės, o grėsmės – kito projekto grėsmėms. Tokiam ryšiui tarp projektų sukurti reikia įvertinti sukuriama ryšio stiprumą. Ryšio stiprumas vertinamas vienu iš trijų būdų, analogiškai žodinio įverčio tikrumo lygmenis nusakymui:

- Skaitinė įtaka – ryšio stiprumas nurodomas skaitine išraiška intervale [0–1]. Įvedus toki sąryšį, projekto, nuo kurio vedamas ryšys, suminės galimybės ar grėsmės dydis dauginamas iš nurodyto skaitinio ryšio stiprumo ir gautas rezultatas pridedamas prie projekto, kuriam sukurtuoju ryšiu daroma įtaka, suminių galimybių ar suminių grėsmių dydžio.
- Absoliuti įtaka – projekto, nuo kurio vedamas ryšys, suminių galimybių ar suminių grėsmių dydis tiesiogiai pridedamas prie projekto, kuriam sukurtuoju ryšiu daroma įtaka, suminių galimybių ar suminių grėsmių dydžio.
- Žodinė įtaka – ryšio stiprumas išreiškiamas žodiniu įverčiu iš žodyno (ryšio stiprumui vartojamas tas pats sudarytas žodynas, kaip ir SSGG įverčiams). Žodinis ryšio stiprumas koduojamas į skaitinę vertę intervale [0–1] ir gautą skaitinę vertę padauginus iš projekto, nuo kurio vedamas ryšys, suminės galimybės ar grėsmės dydžio, gautas rezultatas pridedamas prie projekto, kuriam sukurtuoju ryšiu daroma įtaka, suminių galimybių ar suminių grėsmių dydžio.

Įvertinus ryšius ir jų stiprumus nurodomas poliškumas:

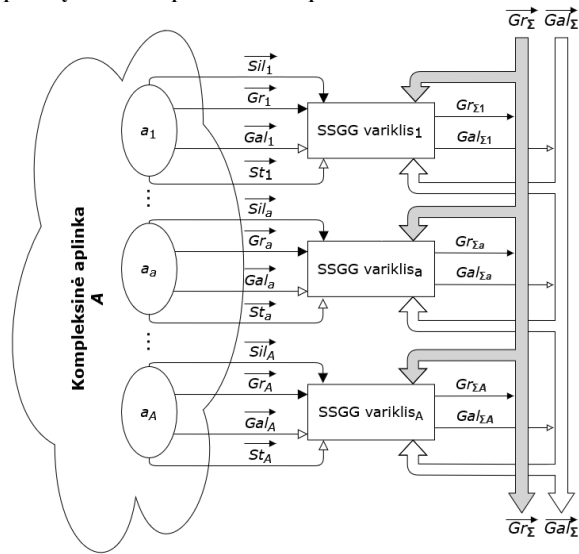
- Tiesioginis poliškumas – galimybės ar grėsmės, darydamos įtaką, sumuojamos, ir bendrasis rezultatas didėja. Tiesioginio poliškumo atveju vienų projektų galimybės stiprina kitus projektus (didina galimybes), o grėsmės silpnina (didina grėsmes).
- Atvirkštinis poliškumas – galimybės ar grėsmės, darydamos įtaką, mažina bendrąjį rezultatą. Atvirkštinio poliškumo atveju vienų projektų galimybės silpnina kitus projektus (mažina galimybes), o grėsmės stiprina (mažina grėsmes).

Visos metodo vertės (duomenys ir rezultatai) yra intervale [0–1]. Susumavus kelių projektų rezultatus bendroji vertė gali būti už intervalo [0–1] rėžių, todėl reikalingas norminimas. Norminant įvedami koeficientai, pavaizduoti formulėje (10).

$$k_{Gal} = \frac{1}{\frac{1}{\text{[takųkiekis}_{Gal+1}]}} \frac{1}{\frac{1}{\text{[takųkiekis}_{Gal+1}]}} , k_{Gr} = \frac{1}{\frac{1}{\text{[takųkiekis}_{Gr+1}]}} \frac{1}{\frac{1}{\text{[takųkiekis}_{Gr+1}]}} \quad (10).$$

Bendrieji sudėtųjų galimybių rezultatai projektui dauginami iš to projekto galimybių norminimo koeficiento k_{Gal} , o bendrieji sudėtųjų grėsmių rezultatai dauginami iš to projekto grėsmių norminimo koeficiento k_{Gr} , taip pasiekiant galutines vertes intervale [0–1]. Gauta neigiamoji vertė traktuojama kaip nulinė.

Bendroji SSGG variklių tinklo struktūra paremta miglotųjų pažintinių planų [134] sąranga, todėl siūlomas metodas pavadintas miglotaisiais SSGG planais. Miglotųjų SSGG planų schema pateikta 19 paveiksle.



19 pav. Miglotieji SSGG planai

Miglotųjų SSGG planų struktūra turi aiškintinio dirbtinio intelekto bruožų, nes kiekvienas mazgas tinkle yra „baltoji dėžė“ – išvadų grandinė yra skaidri, galima atsekti ir patikrinti, kurios taisyklės nulemia gaunamą rezultatą (kaip vienas projektas paveikė kitą). Miglotieji SSGG planai yra antrasis siūlomo rizikų vertinimo metodo žingsnis, kuriuo apskaičiuojamos tarpusavyje susijusių projektų suminės galimybių ir grėsmių skaitinės vertės pesimistine, optimistine ir vidutine perspektyvomis. Šios vertės yra parametrai, pritaikomi trečiajame siūlomo rizikų vertinimo metodo žingsnyje.

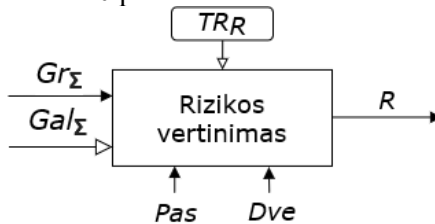
3.3. Rizikos vertinimo metodas miglotųjų SSGG planų pagrindu

Darbe formuojamas naujas rizikų vertinimo metodas, kuris, panaudojant iš praplėstosios SSGG analizės žingsnių gautas sumines projektų galimybes ir grėsmes, gebėtų įvertinti rizikas. Formuluojant metodą remiamasi atlikta rizikų vertinimo metodų analize ir D. Hillson pozityviosios rizikos teorija [4], kuri nors ir reikalauja papildomo laiko bei išteklių rizikos vertinimo atlikimui, įtraukiant

pozityviašias galimybes, bet suteikia struktūrizuotą požiūrį į rizikos vertinimą ir orientuojasi į teigiamos rizikos išnaudojimą projekto rezultatų gerinimui. Pozityviosios rizikos metodika taikytina ir dėl to, kad jau turimos apskaičiuotos suminių grėsmių ir suminių galimybių vertės, lieka įvertinti tik papildomus pasirinktus rizikos kriterijus. Renkantis šiuos kriterijus remiamasi idėja, kad rizika yra ne vien potencialiai neigiamų padarinių (grėsmių) matmuo, bet kartu ir neapibrėžtumo būklė, kurioje egzistuoja ir potencialiai teigiami padariniai (galimybės). Pavyzdžiui, kuriant naują produktą susiduriama su neapibrėžtumu, ar jis bus sėkmingas ir priimtas rinkos, tačiau kartu, produkto sėkmės atveju, atsiranda potencialios galimybės uždirbti pelną. Kitas pavyzdys – naujų technologijų taikymas, kuris sukelia neapibrėžtumą, nes nežinoma, ar jos bus veiksmingos ir ar sėkmingai pavyks jas integruoti į vykdomus procesus, bet sėkmės atveju atsiranda galimybė padidinti pelną ir konkurencingumą. Siūlomas rizikų vertinimo metodas remiasi pateikiamu požiūriu, kad rizika – tai veiksena kompleksinėje aplinkoje sunormintas neapibrėžtumo lygmuo, kurį sudaro keturi komponentai: galimybės, grėsmės, įdėtos pastangos ir dvejonės (neapibrėžtumai), pavaizduotos (11) formulėje.

$$R = R (Gal\downarrow; Gr\uparrow; Pas\uparrow; Dve\uparrow) \quad (11).$$

Formulę sudarantys komponentai – grėsmės, reikiamų įdėti pastangų kiekis ir neapibrėžtumai riziką didina, o potencialios galimybės – mažina. Visi komponentai formulėje yra skaitinių reikšmių intervale [0–1] masyvai, sudaryti iš trijų elementų: pesimistinio, vidutinio ir optimistinio įverčių. Du iš šių keturių rizikos vertinimo komponentų – galimybių ir grėsmių dydžiai – apskaičiuojami pirmuose dvejuose siūlomo rizikų vertinimo metodo žingsniuose (SSGG analizės ir miglotųjų SSGG planų); trečiame žingsnyje ekspertai turi įvertinti dar du riziką sudarančius komponentus – reikiamų įdėti pastangų ir neapibrėžtumų dydžius kiekvienam nagrinėjamam projektui. Išlaikant vientisumą šie įverčiai, kaip ir pirmuose dvejuose analizės žingsniuose, pateikiami žodine išraiška su tikrumu, išreikštu absoliučiuoju, skaitiniu ar žodiniu pavidalu. Pats svarbiausias dėmuo, kurį turi įvertinti ekspertai – miglotosios logikos taisyklių rinkinys rizikos vertinimui TR_R . Rizikos vertinimo komponentų schema pavaizduota 20 paveiksle.



20 pav. Rizikos vertinimo komponentai

Rizikos vertinimo miglotosios logikos („JEI..., TAI...“ pavidalo) taisyklių rinkinys TR_R yra ekspertų įvertinta žinių bazė, kuria sudaromas rizikos ir ją lemiančių parametų tarpusavio sąveikos žemėlapis. Šiame žemėlapyje visoms galimoms riziką sudarančių parametų žodinių įverčių kombinacijoms ekspertas turi priskirti žodinį rizikos įvertį, kaip pateikta 2 lentelėje.

2 lentelė. Rizikos vertinimo miglotosios logikos taisyklių rinkinys TR_R

Taisyklės numeris	<i>Gal</i>	<i>Gr</i>	<i>Pas</i>	<i>Dve</i>	<i>R</i>
1	Nėra	Nėra	Nėra	Nėra	α_{R1}
2	Nėra	Nėra	Nėra	Labai mažai	α_{R2}
...
731	Vidutiniškai	Mažai	Labai mažai	Daug	α_{R731}
...
1032	Daug	Daug	Vidutiniškai	Labai daug	α_{R1032}
...
1295	Labai daug	Labai daug	Labai daug	Daug	α_{R1295}
1296	Labai daug	Labai daug	Labai daug	Labai daug	α_{R1296}

α – eksperto priskiriamas žodinis rizikos įvertis iš sudaryto žodyno (8). Vartojamas žodynas sudarytas iš 6 termų, o riziką lemia 4 parametrai, todėl iš viso rinkinyje yra $6^4 = 1296$ taisyklės [135]. Miglotosios logikos taisyklių rinkinys sudaro priežasčių ir pasekmių sąryšius, o kadangi šie sąryšiai yra skaidri sąsaja tarp riziką sudarančių parametru ir prognozuojamų rizikos verčių, galima teigti, jog rizikos prognozės modelis sudarytas remiantis aiškintinio dirbtinio intelekto principu [136].

Tokio didelio kiekio taisyklių įvertinimas ekspertui užima labai daug laiko ir yra netikslus procesas. Šiai problemai spręsti siūloma agreguoti rizikos taisykles į kombinacijas, kad ekspertas galėtų viename agreguotame įrašė pateikti kelis žodinius riziką sudarančio komponento įverčius, kuriems esant rizika įgyja tą pačią vertę. Toks agreguotas rizikos įrašas sutransliuojamas į paprastas taisykles pritaikius Dekarto sandaugą. Agreguotų rizikos įverčių sudarymas žymiai padidina ekspertų sukauptų žinių išgavimo efektyvumą sutaupant laiko ir tuo pat metu ekspertui suteikiant galimybę koncentruotis tik į dalį jo eksperto patirtimi reikšmingai riziką lemiančių kombinacijų, kurios automatiškai sutransliuojamos į pavienes miglotosios logikos taisyklių bloko eilutes. Rizikos taisyklių įrašas transliuojamas į miglotosios logikos taisyklių rinkinio eilutes aiškintinio dirbtinio intelekto pagrindu, nes tarp eksperto įvedamų duomenų ir sutransliuoto taisyklių rinkinio transformacijos procesas yra skaidrus ir atsekamas. Ekspertui įvedus visas jam žinomas riziką lemiančias kombinacijas po transformacijos automatiškai užpildoma tam tikra taisyklių rinkinio dalis. Likusias neapibrėžtas taisykles galima užpildyti vienu iš trijų būdų pasirinktinai:

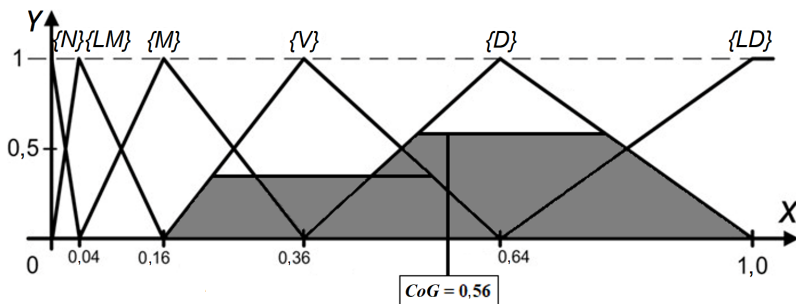
- numatytoju užpildu – kiekvienam vartojamo žodyno įverčiui suteikiamas skaitinis svoris ir neužpildytų taisyklių rizikos dydis apskaičiuojamas išvedant keturių riziką lemiančių parametru įverčių svorio vidurkį (apvalinant į didesnę pusę);
- interpoliavimu – neužpildytos taisyklės interpoliuojamos pagal artimiausias užpildytas eilutes;
- konkrečia reikšme – neužpildytų taisyklių rizikos įverčiui priskiriama konkreti iš anksto nurodyta bendra reikšmė (pvz., nulinė arba didžiausia rizika).

Užpildyto miglotosios logikos rizikos taisyklių rinkinio pagrindu daromos išvados (pvz., JEI galimybės = didelės, grėsmės = mažos, įdedamos pastangos = vidutinės ir dvejonės = mažos, TAI rizika = maža). Šios išvados daromos ne absoliučios (kaip standartinės logikos atveju), o su vienokiu ar kitokiu tikrumo laipsniu, priklausomu nuo įėjimo parametrų tikrumo laipsnio. Suminiai galimybių ir grėsmių dydžiai iš antrojo rizikų vertinimo metodo žingsnio bei trečiajame žingsnyje ekspertų įvertinti galimybių ir grėsmių dydžiai yra žodiniai įverčiai su tikrumais. Kiekvienas iš keturių riziką lemiančių parametrų, jei nėra įvertintas su absoliučiuoju tikrumu, turi po kelis žodinius įverčius su tikrumais (pvz., „vidutiniškai“ su tikrumu 0,6 ir „daug“ su tikrumu 0,4). Visos riziką sudarančių galimybių, grėsmių, pastangų ir dvejonių žodinių įverčių kombinacijos dengia atitinkamas rizikų vertinimo taisyklių rinkinio eilutes. Kiekvienai tokiai atitikusiai eilutei išrašomas tos taisyklės rizikos žodinis įvertis, kuriam tikrumas priskiriamas pagal mažiausią iš keturių rizikos komponentų žodinių įverčių tikrumą, kaip parodyta (12) formulėje.

$$\forall i \in \{1, \dots, n\}. [R, tikrumas] = \min_{tikrumas}(Gal[i], Gr[i], Pas[i], Dve[i]);$$

čia i – taisyklių rinkinio eilutės numeris
(12).

Po šios procedūros gaunama aibė rizikos žodinių įverčių su tikrumais, iš kurių pasikartojantiems išrenkama po vieną su didžiausiu tikrumu. Išrinkti rizikos žodiniai įverčiai su tikrumais pažymimi naudojamame miglotosios logikos priklausomybių funkcijos grafike, kaip parodyta 21 paveiksle.



21 pav. Rizikos apskaičiavimas masės centro metodu

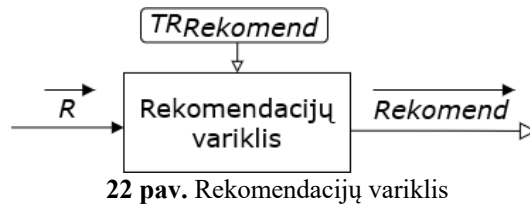
Paženklinama išrinktųjų rizikos žodinių įverčių termų trikampių priklausomybių funkcijų apatinė dalis iki tiesių, lygiagrečių su X ašimi, kurių Y ašies koordinatė atitinka išrinktojo rizikos žodinio įverčio tikrumą. Pateiktame pavyzdyje paženklinta termo $\{V\}$ apatinė dalis iki $Y=0,34$ ir $\{D\}$ termo apatinė dalis iki $Y=0,58$. Iš paženklintų termų dalių gaunama galutinės rizikos geometrinė figūra, iš kurios apskaičiuojama skaitinė vertė. Iš šios figūros skaitinė rizikos vertė gali būti apskaičiuota, taikant skirtingus metodus, bet šiame darbe pasirinktas masės centro (angl. CoG – *Center of Gravity*) metodas [133] dėl savo paprastumo (nesudėtinga formulė apskaičiavimui) ir efektyvumo (metodui giminingos variacijos sėkmingai taikomos daugybėje sričių), be to, tai natūralus būdas nustatyti geometrinės figūros centro tašką. Taikant šį metodą, apskaičiuojamas kiekvienos pažymėtos termo dalies

plotas ir geometrinės figūros viršutinės kraštinės vidurio taško X koordinatė, iš kurių išskaičiuota masės centro vertė pagal (13) formulę prilyginama galutinės rizikos skaitinei vertei:

$$Rizika = \frac{\sum_{i=1}^R S_i \cdot \text{viršutinės_kraštinės_vidurio_taškas_X}}{\sum_{i=1}^R S_i} \quad (13).$$

Ši apskaičiuota skaitinė rizikos vertė, kaip ir pirmuose dviejuose rizikų vertinimo metodo žingsniuose, verbalizuojama ir pateikiama pesimistine, optimistine ir vidutine perspektyvomis.

Pasiūlytas rizikos vertinimo metodas taikytinas tik projektų rizikos apskaičiavimui, realioje aplinkoje taikytinos sprendimų paramos sistemos turi ne vien vertinti rizikas, bet ir pateikti rekomendacijas įvertintų rizikų valdymui [137]. Rekomendacijomis apibrėžiama, kokie veiksmai turi būti atliekami ir kokių priemonių turi būti imamasi, kad rizikos būtų valdomos jas optimizuojant iki toleruotino lygmens. Rekomendacijos nusako rinkinį potencialiai įgyvendinamų veikslių – svertų, keičiančių situacijos parametrus. Darbe siūlomas aprašytas rizikų vertinimo metodo trečiojo žingsnio principas gali būti pritaikytas ir rekomendacijų generavimui pagal apskaičiuotas projektų rizikų vertes, kaip pateikta 22 paveiksle:



Apskaičiuotų kompleksinėje aplinkoje kelių susijusių projektų rizikų įverčių vektorius \vec{R} susideda iš atskirų projektų rizikų verčių, kaip parodyta (14) formulėje:

$$\vec{R} = (R_1, \dots, R_p, \dots, R_P), p = 1, \dots, P \quad (14).$$

Kiekvieno projekto apskaičiuotas rizikos įvertis, išreikštas žodiniu pavidalu su tikrumu, tampa vienu iš rekomendacijų variklio įvesties parametru, kuriuos turi apdoroti eksperto rekomendacijoms sudaromas miglotosios logikos taisyklių rinkinys $TR_{rekomend.}$. Rekomendacijų taisyklių rinkinio sudarymas analogiškas rizikų vertinimo atvejui, tik čia vietoj vieno išeities parametro gali būti formuluojama visa aibė rekomenduojamų situacijos reguliavimo svertų, atsižvelgiant į ekspertų vertinimą, kaip parodyta (15) formulėje:

$$\vec{Rekomend} = (Rekomend_1, \dots, Rekomend_s, \dots, Rekomend_S), s = 1, \dots, S \quad (15).$$

S – rekomendacinių svertų rinkinys nagrinėjamiems projektams. Rekomendaciniai svertai yra ekspertų sudarytas veikslių rinkinys, kurio elementų įverčiai gali būti iš skirtingų žodžių ir turėti skirtingas priklausomybės funkcijas (pvz., vienas rekomendacinis svertas gali siūlyti padidinti kurio nors projekto

finansavimą ir jo įverčiai gali būti iš to paties sudaryto žodyno, kaip ir rizikų vertinimo etapuose; kitas rekomendacinis svertas gali siūlyti samdyti papildomą personalą ir jo įverčiai gali te būti tik du – taip arba ne, o žodyno miglotosios logikos teiginių tikrumo funkcijos išdėstytos ne pagal šiame darbe taikomą kvadratinės parabolės dėsnį). Supaprastintas rekomendacijų taisyklių rinkinio pavyzdys pateiktas 3 lentelėje.

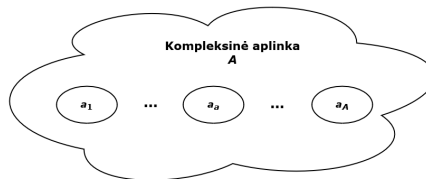
3 lentelė. Pavyzdinis rekomendacijų taisyklių rinkinys $TR_{\text{rekomend.}}$

Taisyklės numeris	R_1	R_2	R_3	S_1	S_2
1	Nėra	Nėra	Nėra	Mažai	Ne
2	Nėra	Nėra	Labai mažai	Mažai	Ne
...
121	Vidutiniškai	Mažai	Labai mažai	Vidutiniškai	Ne
...
160	Daug	Mažai	Vidutiniškai	Daug	Taip
...
215	Labai daug	Labai daug	Daug	Labai daug	Taip
216	Labai daug	Labai daug	Labai daug	Labai daug	Taip

Galutinės rekomendacijų vertės apskaičiuojamos taikant tą patį masės centro metodą, kaip ir rizikų vertinimo atveju. Remdamiesi apskaičiuotomis galutinėmis rekomendacijų vertėmis sprendimų priėmėjai gali formuoti veiksmų planą rizikų valdymui, analizuodami, kokie nagrinėjamų projektų parametrų pokyčiai reikalingi, taip sukurdami grįžtamąjį ryšį ir visą rizikų vertinimą paversdami uždarąja organine kilpa. Siūlomo rekomendacijų mechanizmo tikslas – minimizuoti apskaičiuotas projektų rizikas iki mažiausių įmanomų arba toleruotinų verčių. Kuo labiau apskaičiuota rizika minimizuojama po projektų parametrų pokyčių pagal gautas rekomendacijas, tuo labiau galima teigti, jog siūlomas rekomendacijų mechanizmas veikia efektyviai.

3.4. Funkcinė organizacija

Reali mus supanti aplinka yra kompleksinė, susidedanti iš tarpusavyje susijusių elementų, kaip parodyta 23 paveiksle:

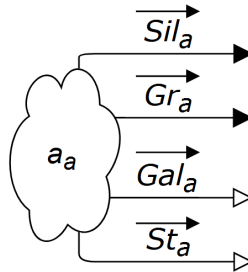


23 pav. Kompleksinės aplinkos A elementų aibė

Kompleksinę aplinką A sudaro elementų a aibė, kaip parodyta (16) formulėje:

$$A = (\{a_1\}, \dots, \{a_a\}, \dots, \{a_A\}), a = 1, \dots, A \quad (16).$$

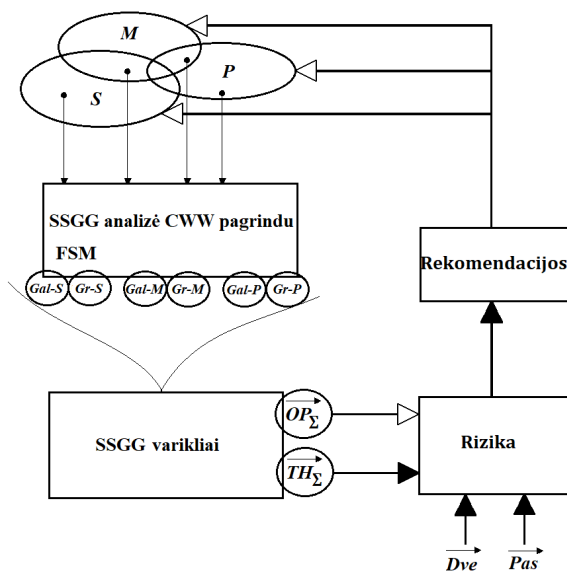
Kiekvienas kompleksinės aplinkos A elementas a_a turi aibę parametrų, iš kurių ekspertai išskiria keturis vektorius: Galimybes (\overrightarrow{Gal}_a), grėsmes (\overrightarrow{Gr}_a), silpnyles (\overrightarrow{Sil}_a) ir stiprybes (\overrightarrow{St}_a), kaip parodyta 24 paveiksle:



24 pav. Aplinkos A elementas a_a

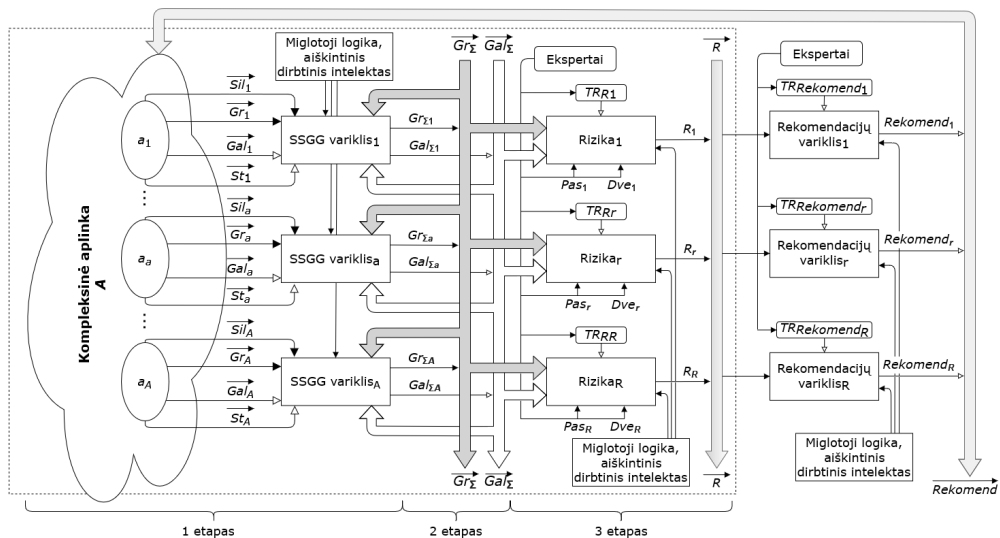
Šie keturi vektoriai pritaikomi kiekvienos aplinkos SSGG matricų sudarymui ir suminių galimybių bei grėsmių dydžių apskaičiavimui pasitelkiant miglotosios logikos skaičiavimus žodinei informacijai apdoroti. Apskaičiuotų suminių galimybių ir grėsmių dydžiai dar kartą perskaičiuojami įvertinant aplinkų tarpusavio įtakas. Perskaičiuoti galutiniai suminių galimybių ir grėsmių dydžiai panaudojami rizikų apskaičiavimui pagal formulę $R = \mathcal{R} (Gal\downarrow; Gr\uparrow; Pas\uparrow; Dve \uparrow)$, kurios pagrindu projekto riziką veikiančių pastangų ir dvejonių dydžius papildomai turi įvertinti ekspertai. Turint išskirtą riziką sudarančių komponentų įverčius, kitas labai svarbus žingsnis yra rizikų vertinimo taisyklių sudarymas, kad iš šių įverčių būtų galima apskaičiuoti galutines rizikos vertes. Sudaromas taisyklių rinkinys yra miglotosios logikos JEL..., TAI... tipo taisyklės, kurios apibrėžia, kokia rizikos vertė gaunama esant kiekvienai riziką sudarančių parametrų kombinacijai. Taikant sudarytą taisyklių rinkinį apskaičiuojamos projektų rizikos ir jų tikrumo laipsniai.

Toks siūlomas metodas yra sprendimų paramos sistemos dalis. Apibrėžiant metodo funkcinę organizaciją verta paminėti filosofinį pagrindą. Remiamasi požiūriu, kad tikslui pasiekti ir sėkmingam problemos sprendimui pasiūlyti reikia taikyti trijų dimensijų požiūrį [138]. Šis požiūris apima sistemologiją (S), metodologiją (M) ir prakseologiją (P), kadangi kiekvienos problemos nagrinėjimui reikalinga gera idėja (S), efektyvūs metodai (M) ir priimtini rezultatai (P). SMP filosofijos pagrindu situacijos nagrinėjimui tinkamas požiūris yra SSGG analizė dėl savo universalumo, taikomumo ir patikimumo. Rizikų vertinimo metodo funkcinė organizacija parodyta 25 paveiksle.



25 pav. Rizikų vertinimo metodo funkcinė organizacija

Projektų rizikų apskaičiavimas sudaro siūlomo metodo apimtį. Papildomai prie pasiūlyto metodo apimties jungiamas rekomendacijų modulis. Teikiant rekomendacijas apskaičiuotų rizikų pagrindu ir imantis veiksmų rekomendacijų įgyvendinimui, formuojamas grįžtamasis ryšys, orientuotas rizikos mažinimui. Formuojant grįžtamąjį ryšį remiamasi aiškintinio dirbtinio intelekto principu rekomendacijų ir projektų parametrų derinimui rizikos mažinimo užduočiai įgyvendinti. Koreguojant metode figūruojančius taisyklių blokus keičiasi ir sistemos apskaičiuotų rizikų vertės, dėl to formuojamos naujos rekomendacijos, perduodant sprendimų priėmėjams tikslesnę informaciją apie rizikas kompleksinėje aplinkoje. Rekomendacijomis perduota informacija yra papildomas svertas priimant sprendimus, lemiančius riziką sudarančių aplinkos veiksnių reguliavimą. Pritaikius pastovią stebėseną siūloma rizikų vertinimo sistema užtikrina uždara organinę kilpą vertinant ir kontroliuojant realioje kompleksinėje aplinkoje kylančias tarpusavyje susijusių projektų rizikas. Pasiūlyto rizikų vertinimo metodo apibendrinimo schemos vaizdas pateiktas 26 paveiksle.



26 pav. Rizikų vertinimo sistemos apibendrinimo schema

Schemoje vartojamos santrumpos: *Sil* – silpnybės; *Gr* – grėsmės; *Gal* – galimybės; *St* – stiprybės; *Pas* – pastangos; *Dve* – dvejonės, *TR* – taisyklių rinkinys ir *R* – rizika, *Rekomend* – rekomendacija.

Apibendrinant, rizikos vertinimas pasiūlytu metodu vykdomas trimis etapais.

1 etapas: bet kokia kompleksinė aplinka *A*, kurią norima formaliai aprašyti, susideda iš tarpusavyje susijusių atskirų aplinkų *a*. Taikant SSGG metodą galima sudaryti kiekvienos atskiros aplinkos *a_a* aprašą, įvertinant teigiamus aspektus (galimybės bei stiprybės), neigiamus (grėsmės bei silpnybės) ir jų tarpusavio sąveiką. Praplečiant klasikinę SSGG analizę žodinės informacijos apdorojimu, taikant miglotąją logiką ir remiantis aiškintiniu dirbtiniu intelektu, sukuriamas modulis, pavadintas SSGG varikliu. Kiekvienas SSGG variklis apskaičiuoja situacijos *a_a* bendrųjų grėsmių ir galimybių dydžius $\overrightarrow{Gr_{\Sigma}}$ ir $\overrightarrow{Gal_{\Sigma}}$.

2 etapas: apibendrinimo schemoje bendrieji galimybių ir grėsmių dydžiai pavaizduoti magistralėmis, įvedant atskirų aplinkų *a_a* tarpusavio susietumą, kartu su grįžtamuju ryšiu, kada vienos SSGG analizės rezultatai gali daryti įtaką kitos SSGG analizės rezultatams. Antrojo etapo rezultatas – perskaičiuoti po ryšių pritaikymo bendrųjų galimybių ir grėsmių dydžiai $\overrightarrow{Gr_{\Sigma}}$ ir $\overrightarrow{Gal_{\Sigma}}$ kiekvienam nagrinėjamam projektui.

3 etapas: rizikos apskaičiavimas atliekamas taikant antrojo etapo rezultatus kartu su papildomais ekspertų įvertintais parametrais – reikiamų įdėti pastangų bei egzistuojančių neapibrėžtumų dydžiais ir rizikos vertinimo miglotosios logikos taisyklių rinkiniu *TR* [135]. Rizika apskaičiuojama pagal sudarytą formulę (11), taikant miglotąją logiką ir aiškintinį dirbtinį intelektą.

3.5. Metodų apibendrinimas

- Pasiūlytas naujas metodas, klasikinį SSGG analizės metodą papildantis „skaičiavimo žodžiais“ paradigma. Klasikinės SSGG analizės atveju įverčiai išreiškiami skaitine išraiška, o tai neretais atvejais gali būti sudėtingas, lėtas ir netikslus procesas. Pasiūlyto naujojo metodo pranašumas – galimybė įverčius išreikšti žmogui priimtina žodine išraiška vartojant sudarytą žodyną ir priskiriant žodiniam įverčiui tikrumo laipsnį.
- Pasiūlytas naujojo metodo plėtinys kelių tarpusavyje susijusių projektų kompleksinėje aplinkoje galimybių ir grėsmių vertinimui. Plėtinys pavadintas miglotaisiais SSGG planais dėl savo giminingumo miglotųjų pažintinių planų struktūrai. Pagal šį metodą, kompleksinėje aplinkoje keli tarpusavyje susiję projektai sudaro tinklą, kurio mazgas – SSGG varikliu pavadintas elementas, atliekantis pavienio projekto SSGG analizę. Metodas įgalina projektų tarpusavio dinamikų vertinimą, atsižvelgiant, kad vieno projekto SSGG analizės rezultatai gali daryti įtaką kito projekto rezultatams.
- Projektų rizikų vertinimui suformuluota rizikos formulė, įtraukianti suminių galimybių ir grėsmių dydžius, gaunamus iš miglotųjų SSGG planų etapo, kartu pridėdant projekto įgyvendinimui reikalingų pastangų mastą ir neapibrėžtumų lygmenį. Rizikų apskaičiavimui panaudojamas ekspertų sudaromas miglotosios logikos JEL..., TAI... tipo taisyklių blokas, nusakantis riziką sudarančių elementų tarpusavio priklausomybes. Ekspertai turi įvertinti tik svarbiausias taisykles, pagal kurias vienu iš pasirinktų būdų užpildomas blokas – numatytais reikšmėmis, interpoliuojant arba konkrečia nurodyta reikšme. Galutinis rizikos dydis apskaičiuojamas pritaikius masės centro skaičiavimo metodą.
- SSGG su „skaičiavimo žodžiais“ paradigmos, miglotųjų SSGG planų ir rizikos vertinimo etapuose gauti rezultatai pateikiami skaitine ir žodine išraiškomis trimis perspektyvomis: optimistine, vidutine ir pesimistine.
- Darbe siūloma rizikų vertinimo sistema apima kelių tarpusavyje susijusių projektų rizikų apskaičiavimą. Apskaičiuotų rizikų pagrindu gali būti formuluojamos rekomendacijos, suteikiančios sprendimų priėmėjams papildomos informacijos. Formuluojant rekomendacijas gali būti įvedamas grįžtamasis ryšys, skirtas sudaryto miglotosios logikos taisyklių bloko derinimui, siekiant rizikų optimizacijos. Grįžtamuosiu ryšiu taisyklių derinimas gali būti pasiekiamas remiantis aiškintiniu dirbtiniu intelektu.

4. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

Pasiūlytam metodui validuoti sukurtas programinio įrankio prototipas, kuriuo atlikti kelių tarpusavyje susijusių projektų rizikų analizės eksperimentiniai tyrimai. Metodas taikytas ir realioje medicininės diagnostikos sprendimų paramos sistemoje. Šiame skyriuje aprašomas sukurtas įrankis ir metodo pagrindu atlikti tyrimai.

4.1. Programinio įrankio prototipas rizikoms vertinti

Programinio įrankio prototipo kūrimo dokumentacija pateikta prieduose. Sukurtas programinės įrangos prototipas veikia žiniatinklio principu, todėl norint naudoti jį reikia patalpinti internete serverio pusėje užtikrinant, kad patalpintas tinklalapis būtų prieinamas tinkle galutiniam naudotojui. Naudotojui nereikia turėti jokios papildomos įrangos, kad galėtų pasinaudoti įrankiu; ir, kadangi tai yra prototipas, nėra suprogramuoto sesijos valdymo, dėl to nereikia nei specialių priemonių, nei paskyros, reikia interneto naršyklėje įvesti patalpinto tinklalapio adresą. Naudotojas, naudodamas įrankį, sukuria naują projektą, pagrindiniame lange tam skirtuose laukuose įvesdamas pavadinimą, akronimą ir projekto datos bei laiko žymę, naudojantis datos ir laiko parinkimo valdikliu (koreguotina datos bei laiko žymė naudinga savarankiškam projektų grupavimui ar laiko žymės atnaujinimui, esant reikšmingiems projekto pokyčiams, o netaikant rankinio žymės nustatymo funkcionalumo įrankis informaciją užpildo automatiškai pagal esamą datą ir laiką). Suvedus naujo projekto antraštinę informaciją, pradedamas duomenų pildymas. Projekto informacijos išsaugojimas vykdomas pasirinktinai rankiniu būdu paspaudus išsaugojimo mygtuką bet kuriuo rizikų vertinimo žingsnio metu. Išsaugant atnaujinama duomenų bazėje esanti projekto duomenų informacija pagal tai, koks modelis yra kliento naršyklėje – tai leidžia kelis kartus išbandyti skirtingus scenarijus, modifikuojant tuos pačius pradinis duomenis jų neprarandant. Esant poreikiui galima nustatyti, kad darbiniai pakeitimai atnaujintų duomenų bazėje esančius projekto duomenis periodiškai nustatytu intervalu. Projekto duomenų pildymo nuoseklumas nėra privalomas – naudotojas gali pasirinkta tvarka įvesti galimybes, grėsmes, stiprybes, silpnybes ir tarpusavio įtakų įverčius, reikalingus SSGG matricos sudarymui ir SSGG žingsnio rezultatų apskaičiavimui. Projekto galimybių ir grėsmių įvedimo langai vienas kitam analogiški, todėl pateikiamas vienas jų – galimybių įvedimo langas, parodytas 27 paveiksle.

ŽODINĖS ĮVESTYS

GALIMYBĖ

Nr.	Antraštė	Akronimas
1	Tikėtina investicinė grąža	IG

SVARBUMO LAIPSNIS

SVARBUMO LAIPSNIS TIKRUMO REIKŠMĖ

visiškai įsitikinęs skaitmeninis tikrumas žodinis tikrumas

Žodinis įvertis **Tikrumo laipsnis**

Vidutiniškas

27 pav. Sukurto programinio įrankio galimybių įvedimo langas

Šiame lange paeiliui įvedamos sukurto projekto rezultatus stiprinančios galimybės (eilės numeris, galimybės antraštė ir akronimas), jos svarbumo laipsnis ir

tikrumo reikšmė. Svarbumo laipsnis ir tikrumo reikšmė įvertinama žodiniu įverčiu, kurio tikrumo laipsnį galima nurodyti absoliučiuoju, skaitmeniniu ar žodiniu pavidalu. Įvedus duomenis apie projektą stiprinančią galimybę, paspaudus mygtuką „Pridėti galimybę“, langas išvalomas naujos galimybės duomenų įvedimui arba naudojantis meniu galima pereiti prie kito SSGG komponento įvedimo. Projekto rezultatus silpninančios grėsmės įvedamos analogiškai kitame lange.

Projekto galimybes ir grėsmes veikiančių stiprybių ir silpnybių įvedimo langai vienas kitam irgi analogiški, todėl pateikiamas vienas jų – stiprybių įvedimo langas, parodytas 28 paveiksle.

ŽODINĖS ĮVESTYS

STIPRYBĖ

Nr.	Antraštė	Akronimas
1	Kompanijos patirtis	KP

Pridėti stiprybę

EX ▾ **DARO ĮTAKĄ**

GALIMYBĖ GRĖSMĖ

↓

Galimybė

RV ▾

visiškai įsitikinęs skaitmeninis tikrumas žodinis tikrumas

Žodinis įvertis **Tikrumo laipsnis**

Mažas ▾ Mažas ▾

Pridėti įtaką

28 pav. Sukurto programinio įrankio stiprybių įvedimo langas

Projekto galimybes ir grėsmes veikiančių stiprybių informacijos įvedimo lange pateikiami duomenys apie stiprybę (eilės numeris, stiprybės antraštė ir akronimas), kurią galima pridėti į sąrašą. Tame pačiame lange žemiau galima nurodyti pasirinktos vienos iš įvestų stiprybių įtaką pasirinktai įvestai galimybei ar grėsmei. Įtakos dydis nurodomas žodine išraiška su tikrumo laipsniu, įvedamu absoliučiuoju, skaitmeniniu ar žodiniu pavidalu. Paspaudus pridėjimo mygtuką langas išvalomas naujų duomenų įvedimui. Projekto galimybes ir grėsmes veikiančių silpnybių duomenys įvedami analogiškai kitame lange.

Bet kuriuo metu galima patikrinti įvestų galimybių, grėsmių, stiprybių ir silpnybių sąrašus, atlikti korekcijas ar peržiūrėti suformuotą SSGG matricą. Naudotojui įvedus tik dalį informacijos, likusi SSGG matricos dalis paliekama neužpildyta, rezultatai skaičiuojami atsižvelgiant į įvestą informaciją. Apskaičiuotus SSGG analizės rezultatus visada galima peržiūrėti, nepriklausomai nuo to, kokia dalis galutinių duomenų buvo įvesta.

SSGG matricų sudarymui ir naudotojo įvedamų duomenų kodavimui bei iškodavimui pagal miglotąją logiką nenaudota jokia išorinė biblioteka, kaip ir duomenų įvedimo, įvestų komponentų sąrašų ar suformuotos SSGG matricos vizualizacijai, todėl įrankyje SSGG papildytos „skaičiavimo žodžiais“ paradigma

analizės dalis yra nepriklausoma nuo trečiųjų šalių, ir tai užtikrina stabilų veikimą ilgalaikėje perspektyvoje. Vienintelė išorinė biblioteka pasirinkta naudoti šiame žingsnyje rezultatų grafikų atvaizdavimui – „RGraph“. Parinkta biblioteka tik vizualizuoja apskaičiuotus skaitinius rezultatus grafiku ir naudojama konkrečiai atsiųsta bibliotekos versija apsaugant nuo galinčių atsirasti nesuderinamumų po atnaujinimo. Kilus poreikiui, nesunkiai galima pritaikyti bet kurią kitą biblioteką rezultatų grafikų atvaizdavimui arba suprogramuoti nepriklausomą modulį.

Tol, kol sukurtas tik vienas projektas arba keli tarpusavyje ryšiais nesusieti projektai, apskaičiuoti rezultatai atspindi tik nagrinėjamo projekto sumines galimybes ir grėsmes, neįvertinant išorinių projektų įtakos. Išorinių projektų įtakoms vertinti, naudojantis įrankiu sukuriama ryšiai tarp išsaugotų projektų. Projektų ryšių įvedimo langas parodytas 29 paveiksle.

PASIRINKITE PROJEKTĄ, SU KURIUO NORITE ĮVESTI SĄRYŠĮ

Naujo viešbučių komplekso statyba poilsio zonose (HOTEL) ▾

GALIMYBĖ GRĖSMĖ

TEIGIAMA NEIGIAMA

visiškai įsitikinęs skaitmeninis tikrumas žodinis tikrumas

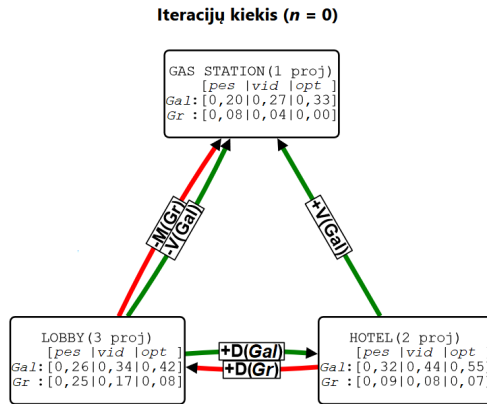
Tikrumo laipsnis

0,43

Pridėti sąryšį

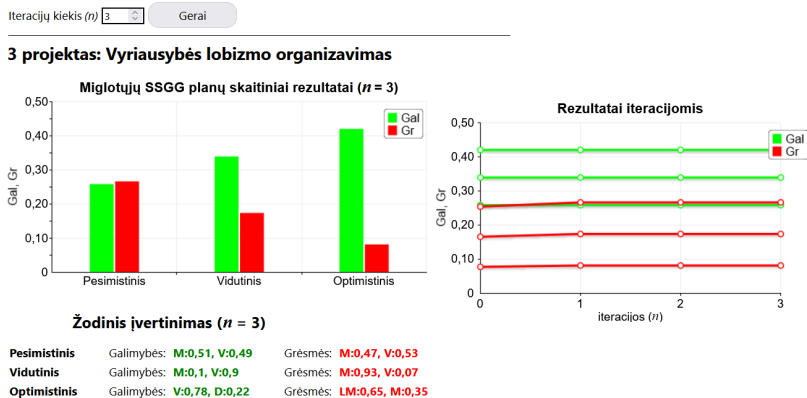
29 pav. Sukurto programinio įrankio projektų ryšių įvedimo langas

Ryšių įvedimo lange parenkama, kuriam iš sukurtų projektų turi įtakos esamo projekto rezultatai. Parenkama, ar įtaką darantis komponentas yra suminės galimybės, ar suminės grėsmės, ir kokia šio ryšio kryptis – teigiamoji ar neigiamoji. Atsižvelgiant į šias parinktis, nagrinėjamo projekto suminių galimybių arba suminių grėsmių dydžiai teigiamai didina arba neigiamai mažina projekto, kuriam priskiriamas ryšys, suminių galimybių arba suminių grėsmių dydį. Įtakos dydis priklauso nuo ryšio tarp projektų tikrumo laipsnio, kuris šiame lange įvedamas absoliučiuoju, skaitiniu arba žodiniu būdu. Ryšių tarp projektų duomenų įvedimui ir rezultatų apskaičiavimui, kaip ir SWOT papildytos „skaičiavimo žodžiais“ paradigma analizės žingsnio atveju, nenaudojama jokia išorinė biblioteka. Visus įvestus ryšius tarp projektų įrankyje galima peržiūrėti sąrašė arba pateiktame grafe, kaip pavaizduota 30 paveiksle.



30 pav. Sukurto programinio įrankio įvestų ryšių atvaizdavimo grafas

Pateiktą projektų ryšių atvaizdavimo grafą iš įvestų duomenų ir apskaičiuotų rezultatų generuoja sukurtas įrankis, naudojantis konkrečia atsiūsta „Cytoscape.js“ bibliotekos versija grafo vizualizavimui. Grafe galima matyti visus tarpusavyje susijusius projektus (grafo mazgai) ir juos jungiančius ryšius (rodyklės) – vieno projekto suminių galimybių ar suminių grėsmių įtakas kito projekto suminėms galimybėms ar suminėms grėsmėms. Projektus jungiančios rodyklės papildytos užrašais, indikuojančiais ryšio poliškumą ir stiprumą, skliausteliuose pažymėta, kuris komponentas veikiamas (žalios rodyklės indikuoja ryšį tarp suminių galimybių, raudonos – tarp suminių grėsmių, užrašai skliausteliuose naudingi, kai nėra spalvų). Projektų grafo mazgų viduje antraštėje įrašytas projekto akronimas kartu su priskirtu eilės numeriu, o žemiau lentelė pateikiami apskaičiuoti projektų rezultatai pagal įvestą ryšių informaciją. Vienas kitą projektai veikia iteracijomis. Grafo mazgų viduje pateikiami galutinės iteracijos suminių galimybių ir grėsmių rezultatai pesimistine (*pes*), vidutine (*vid*) ir optimistinė (*opt*) išraiškomis. Pateiktame pavyzdyje grafo mazguose vaizduojami projektų rezultatai nepritaikius įtakų – nulinės iteracijos rezultatas. Projektų rezultatai vienas kitą veikia (rezultatai perskaičiuojami) tiek kartų, koks parenkamas iteracijų skaičius. Projekto rezultatų skaičiavimas, pritaikius ryšius, plačiau aprašytas 3 skyriuje ir [139]. Suminių galimybių ir grėsmių rezultatų atvaizdavimui skaitine ir žodine išraiška sukurtas atskiras langas, parodytas 31 paveiksle.



31 pav. Sukurto programinio įrankio SSGG analizės rezultatų langas

Rezultatų lange parenkamas iteracijų kiekis n , tada atitinkamai perskaičiuojami rezultatai nurodytam iteracijų kiekiui. Galutinės iteracijos rezultatai pateikiami kairėje skaitine forma stulpelinėmis diagramomis ir žodine forma pesimistiniams, vidutiniams ir optimistiniams variantams. Rezultatai iteracijomis vaizduojami dešiniajame grafike kreivėmis (po tris žalias kreives pesimistiniams, vidutiniams ir optimistiniams variantams suminėms galimybėms ir po tris raudonas kreives suminėms grėsmėms). Dešinėje pusėje vaizduojamų kreivių piešimui naudojama ta pati biblioteka, kaip ir stulpelinių grafikų atvaizdavimui – „RGraph“. Kreivės iteracijų grafike indikuoja rezultatų pokytį ir amplitudes tarp pesimistinių, vidutinių ir optimistinių verčių. Pateiktame pavyzdyje po trijų iteracijų suminių galimybių rezultatai nesikeičia, o suminės grėsmės nežymiai padidėja. Tiek suminių galimybių, tiek suminių grėsmių atveju amplitudės tarp pesimistinių, vidutinių ir optimistinių verčių yra gana panašios.

SSGG analizės ir miglotųjų SSGG planų žingsnių metu gauti suminių galimybių ir grėsmių dydžiai yra du komponentai rizikų vertinimo skaičiavimams atlikti. Dar du trūkstamus elementus – neapibrėžtumų ir įdėtų pastangų dydžius turi įvesti ekspertai. Neapibrėžtumų ir įdėtų pastangų dydžių įvedimo langai yra analogiški, todėl vienas jų – neapibrėžtumų įvedimo langas – parodytas 32 paveiksle.

ŽODINIS NEAPIBRĖŽTUMŲ ĮVERČIO ĮVEDIMAS

visiškai įsitikinęs
 skaitmeninis tikrumas
 žodinis tikrumas

Žodinis įvertis Tikrumo laipsnis

Vidutiniškas

Priskirti neapibrėžtumų reikšmę

32 pav. Sukurto programinio įrankio neapibrėžtumų įvedimo langas

Įverčiams naudojama ta pati žodinė išraiška su tikrumo laipsniu, įvedamu absoliučioju, skaitiniu ar žodiniu pavidalu, kaip ir ankstesniuose SSGG ar miglotųjų SSGG planų duomenų įvedimo žingsniuose. Kartu su rizikų vertinimui reikalingų keturių komponentų dydžiais, ekspertai turi išgryninti ir rizikų vertinimui

reikalingą taisyklių rinkinį. Įrankio suteikiamas rizikos vertinimo taisyklių įvedimo langas parodytas 33 paveiksle.

TAISYKLĖS

GALIMYBĖS:

× Mažai

× Vidutiniškai

GRĖSMĖS:

× Labai mažai

PASTANGOS:

× Mažai

× Vidutiniškai

× Daug

NEAPIBRĖŽTUMAI:

× Daug

RIZIKA:

Daug

Pridėti taisykles

Užpildyta taisyklių = 369/1296

Užpildyti neapibrėžtas taisykles: Numatytasis užpildymas Interpoliavimas Konkreti reikšmės

TAISYKLIŲ SĄRAŠAS

GALIMYBĖS	GRĖSMĖS	PASTANGOS	NEAPIBRĖŽTUMAI	RIZIKA	
LD	N, LM	N, LM	N	N	↓ ×
D, LD	N, LM	N, LM, M	N, LM	LM	↑ ↓ ×
V, D, LD	LM, M	LM, M, V	N, LM, M	M	↑ ↓ ×
V, D	M, V	M, V	LM, M	V	↑ ↓ ×
LM, M, V	M, V, D	M, V, D	M, V	D	↑ ↓ ×
N, LM, M	V, D, LD	V, D, LD	V, D, LD	LD	↑ ↓ ×
D, LD			D, LD	V	↑ ↓ ×
V, D, LD	D, LD	D, LD	N, LM	D	↑ ×

33 pav. Sukurto programinio įrankio rizikos vertinimo taisyklių įvedimo langas

Neapibrėžtumų, pastangų įverčių ir rizikų taisyklių rinkinio įvedimui nenaudotos jokios išorinės bibliotekos. Įrankyje taisyklių įvedimo langas susideda iš dviejų dalių – viršuje pridodamas naujas taisyklių įrašas, o apačioje vaizduojami visi sukurti įrašai, leidžiant atlikti manipuliacijas tam dešinėje skirtais mygtukais – keisti jų prioritetą ar pašalinti iš sąrašo. Šios įvedamos taisyklės yra patobulintas būdas, kaip ekspertams sudaryti miglotosios logikos JEI..., TAI... tipo taisyklių rinkinį (TR), kadangi klasikiniu atveju taisyklių kiekis priklauso nuo komponentų kiekio ir miglotosios logikos termų kiekio. Šiuo atveju komponentai yra 4, o termų kiekis atitinka žodyno dydį (6 skirtingi žodžiai įverčiams). Iš viso turima $6^4 = 1296$ taisyklių, sudarančių rizikos taisyklių rinkinį. Ekspertų duomenų įvedimo supaprastinimui įrankyje įvedamos galimybių, grėsmių, pastangų bei neapibrėžtumų įverčių kombinacijos (kiekvienam komponentui galima parinkti kelias reikšmes) ir rizikos vertė, kuri gaunama esant šioms kombinacijoms. Kiekvienam įvestam taisyklių įrašui atliekama Dekarto sandauga, kurios rezultatas apima tam tikrą dalį originalaus miglotosios logikos taisyklių rinkinio. Tokiu būdu įrankis suteikia galimybę ekspertams įvesti kelis reikšmingus įrašus apie taisyklių rinkinį, iš kurių sugeneruojamos pačios JEI..., TAI... taisyklės. Trūkstantoms taisyklėms užpildyti naudotojas gali pasirinkti vieną iš trijų būdų: numatytuoju užpildu (paskaičiuota vidutinė rizikos vertė su esamais komponentų įverčiais), interpoliuojant arba nurodant užpildymui konkrečią rizikos reikšmę (pvz., visoms taisyklių rinkinio eilutėms, kurios nebuvo padengtos sugeneravimu, galima nustatyti mažiausią arba didžiausią rizikos vertę). Taisyklių įvedimo lange rodoma, kokią viso miglotosios

logikos JEI..., TAI... taisyklių rinkinio dalį sudaro ekspertų įvesti taisyklių įrašai. Sugeneruotas taisyklių rinkinys įrankyje nevaizduojamas.

Turint visų keturių rizikos vertinimui reikalingų komponentų įverčius ir išgrynintas rizikos taisykles, apskaičiuojamos galutinės projekto rizikos vertės, kurios, kaip ir SSGG analizės ar miglotųjų SSGG planų atveju, atskirame lange pateikiamos tuo pačiu pavidalu skaitine ir žodine išraiškomis pesimistine, vidutine ir optimistine perspektyvomis panaudojant „RGraph“ biblioteką vizualizacijai. Kaip ir pirmuose dviejuose rizikų vertinimo metodo žingsniuose, kodavimas ir iškodavimas tarp žodinės ir skaitinės informacijos, taikant miglotąją logiką, įrankiu atliekamas nenaudojant išorinių bibliotekų.

4.2. Sukurto programinio įrankio pagrindu atliktų tyrimų rezultatai

Sukurtoju programiniu įrankiu atlikti eksperimentiniai kelių tarpusavyje susijusių projektų tyrimai rizikos apskaičiavimui. Nagrinėti trys projektai tarpusavyje susijusioje aplinkoje – Palangos mieste. Vienas iš projektų (GAS STATION) analizuotas straipsnyje [140] pasiūlant ir validuojant SSGG metodo plėtinį. Antrojo projekto (HOTEL) duomenys pakartotinai panaudoti ir adaptuoti iš senesnio bendraautorių straipsnio [141], kuriame analizė atlikta klasikinės SSGG analizės būdu. Kartu su šiais dviem projektais straipsnyje [139] papildomai pridėjus trečiąjį projektą (LOBBY) pasiūlytas ir validuotas miglotųjų SSGG planų metodas. Visi trys projektai kartu sudaro aprašytą eksperimentinį tyrimą, kurio rizikų vertinimo rezultatai publikuoti straipsnyje [142]. Kadangi šio darbo tikslas yra pagerinti ekspertų sukauptų žinių panaudojimą rizikos vertinimui, pritaikant SSGG metodo plėtinį klasikinės SSGG analizės būdu vertintam HOTEL projektui, patikrintas naujojo metodo taikymo efektyvumas. Gauti rezultatai tiek klasikinės analizės, tiek naujojo metodo būdu labai panašūs (nėra didesnio nei 10 procentų nuokrypio), tačiau duomenų įvedimas naujuoju metodu taikant žodinius įverčius ir neapibrėžtumų lygius leidžia kur kas lanksčiau išreikšti žinias nei skaitiniais įverčiais, ir ginčytiniems įvedimo duomenims sprendimas priimamas keliskart greičiau, nes diskutuoti dėl žodinio įverčio vertės yra greitesnis procesas, nei suderinti tikslų skaitinį įvertį.

Praktinės vertės patvirtinimui rezultatai aprobuoti MTEP projekte „Sumanių, apsimokančių ir adaptyvių pastatų kompetencijų centras (SAVAS)“. Eksperimentinį tyrimą sudarantys projektai pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. Eksperimentinį tyrimą sudarantys projektai su akronimais

Akronimas	Pavadinimas
GAS STATION	Naujos degalinės pastatymas ir atidarymas [140]
HOTEL	Naujo viešbučių komplekso statyba poilsio zonose [141]
LOBBY	Vyriausybės lobizmo organizavimas [139]

Nagrinėjamas hipotetinis Lietuvos kurorto – Palangos miesto scenarijus, kuriame svarstomos galimybės statyti naują viešbučių kompleksą, atidaryti naują degalinę ir kartu vertinamos vyriausybės lobizmo organizavimo kuriamos galimybės bei keliamos grėsmės. Kiekvienam iš trijų projektų, pagal SSGG metodą,

išskiriamos teigiamus laukiamus rezultatus stiprinančios galimybės bei silpninančios grėsmės, jų svarbos (*c*) ir tikrumo (*p*) laipsniai, šioms galimybėms ir grėsmėms įtaką darantys vidiniai veiksniai – stiprybės ir silpnybės, taip pat įtakų vertės. Iš visų šių duomenų kiekvienam projektui sudaromos SSGG matricos. Toliau pateikiami kiekvieno projekto galimybių, grėsmių, stiprybių, silpnybių sąrašai ir SSGG matricos atskiromis lentelėmis su komentarais. 5–8 lentelėse pateikiami naujos degalinės pastatymo ir atidarymo projekto SSGG analizės duomenys.

5 lentelė. Projekto GAS STATION galimybių sąrašas su akronimais [140]

Akronimas	Pavadinimas
TIG	Tikėtina investicinė grąža
IG	Infrastruktūros gerinimas
PG	Paslaugos gerinimas

Naujos degalinės pastatymas ir atidarymas potencialiai pagerintų miesto paslaugų teikimą ir infrastruktūrą, kadangi dideli poilsiautojų srautai, atvykstantys nuosavu transportu, turėtų didesnę pasirinkimą degalų papildymui, o pačiai degalinei ilgainiui tai atneštų investicinę grąžą.

6 lentelė. Projekto GAS STATION grėsmių sąrašas su akronimais [140]

Akronimas	Pavadinimas
PTM	Papildoma tarša miestui
NK	Nereikalinga konkurencija
PKP	Papildomos kliūtys pėstiesiems

Pastačius dar vieną naują degalinę atsirastų ir nereikalinga konkurencija su jau esančiomis, susidarytų papildomos kliūtys pėstiesiems bei potencialiai padidėtų miesto tarša.

7 lentelė. Projekto GAS STATION stiprybių sąrašas su akronimais [140]

Akronimas	Pavadinimas
KP	Kompanijos patirtis
PF	Pakankamas finansavimas

Svarstant naujos degalinės Palangos mieste pastatymo ir atidarymo scenarijų išskirti du vidiniai veiksniai, didinantys projekto sėkmę – kompanijos, kuri ruošiasi statyti degalinę patirtis ir pakankamas finansavimas.

8 lentelė. Projekto GAS STATION silpnybių sąrašas su akronimais [140]

Akronimas	Pavadinimas
PT	Personalo trūkumas
LT	Laiko trūkumas

Naujos degalinės pastatymui ir atidarymui išskirti du vidiniai veiksniai, mažinantys projekto sėkmę – personalo ir laiko trūkumas. Naujos degalinės pastatymo ir atidarymo projekto SSGG matrica pateikta 9 lentelėje.

9 lentelė. Projekto GAS STATION SSGG matrica [140]

	<i>c</i>	<i>ρ</i>	KP	PF	PT	LT
TIG	LD	LD	LD	D	LD	D
IG	D	LD	D	V	V	D
PG	LD	LD	LD	LD	LD	D
PTM	D	D	V	D	V	LM
BK	LD	LD	D	LD	D	M
PKP	D	D	D	D	M	V

10–13 lentelėse pateikiami naujo viešbučių komplekso statybos projekto SSGG analizės duomenys.

10 lentelė. Projekto HOTEL galimybių sąrašas su akronimais [139]

Akronimas	Pavadinimas
MVKS	Modernaus viešbučių komplekso statymas
MIP	Modernios infrastruktūros plėtra
DIGP	Didelės investicinės gražos perspektyva

Naujo viešbučių komplekso projektas būtų modernus statinys ir galėtų prisidėti prie modernios infrastruktūros plėtros, taip pat egzistuoja didelės investicinės gražos perspektyva.

11 lentelė. Projekto HOTEL grėsmių sąrašas su akronimais [139]

Akronimas	Pavadinimas
SKE	Spartėjanti kopų erozija
ATD	Aplinkos taršos didinimas

Statant naują viešbučių kompleksą gali būti paspartinta kopų erozija ir padidinta aplinkos tarša.

12 lentelė. Projekto HOTEL stiprybių sąrašas su akronimais [139]

Akronimas	Pavadinimas
RF	Reikšmingas finansavimas
DKP	Didelės kompetencijos personalas

Vidiniai veiksniai, didinantys naujo viešbučių komplekso projekto sėkmę – reikšmingas finansavimas ir didelės kompetencijos personalas.

13 lentelė. Projekto HOTEL silpnybių sąrašas su akronimais [139]

Akronimas	Pavadinimas
IT	Infrastruktūros trūkumas
DA	Dažnos audros
DVBP	Dažnesni vietinės bendruomenės protestai

Palangos miestas yra pajūryje, todėl šioje geografinėje zonoje daug dažnesnės audros, be to, egzistuojantis infrastruktūros trūkumas ir dažnesni vietinės gyventojų

bendruomenės protestai kartu sudaro projekto sėkmei nepalankius vidinius veiksnius. Naujo viešbučių komplekso projekto SSGG matrica pateikta 14 lentelėje.

14 lentelė. Projekto HOTEL SSGG matrica [139]

	<i>c</i>	<i>p</i>	RF	DKP	IT	DA	DVBP
MVKS	LD	LD	LD	D	V	LM	V
MIP	D	D	D	D	D	LM	V
DIGP	LD	LD	D	LD	V	M	M
SKE	V	D	M	M	M	LD	N
ATD	D	V	V	V	V	LM	M

15–18 lentelėse pateikiami vyriausybės lobizmo organizavimo projekto SSGG analizės duomenys.

15 lentelė. Projekto LOBBY galimybių sąrašas su akronimais [139]

Akronimas	Pavadinimas
VP	Valdžios parama
UI	Užsienio investicijos
IL	Įstatymų lankstumas

Organizuojant vyriausybės lobizmą didžiausios išvengiamos galimybės – egzistuojančių įstatymų lankstumas, valdžios parama ir užsienio investicijos.

16 lentelė. Projekto LOBBY grėsmių sąrašas su akronimais [139]

Akronimas	Pavadinimas
NSR	Neigiama spaudos reakcija
RS	Reputacijos sumažėjimas

Vyriausybės lobizmo organizavimo projektui galinčios kliudyti grėsmės – neigiama spaudos reakcija ir suprastėjusi reputacija.

17 lentelė. Projekto LOBBY stiprybių sąrašas su akronimais [139]

Akronimas	Pavadinimas
DPK	Didelė personalo kvalifikacija
EKT	Efektyvus komunikacinis tinklas

Vidiniai veiksniai, didinantys vyriausybės lobizmo projekto sėkmę – didelė personalo kvalifikacija ir efektyvus komunikacijų tinklas.

18 lentelė. Projekto LOBBY silpnųjų sąrašas su akronimais [139]

Akronimas	Pavadinimas
PT	Personalo trūkumas
LT	Laiko trūkumas

Analogiškai naujos degalinės statybos projektui, pagrindiniai vidiniai veiksniai, mažinantys vyriausybės lobizmo projekto sėkmę – personalo ir laiko

trūkumas. Vyriausybės lobizmo organizavimo projekto SSGG matrica pateikta 19 lentelėje.

19 lentelė. Projekto LOBBY SSGG matrica [139]

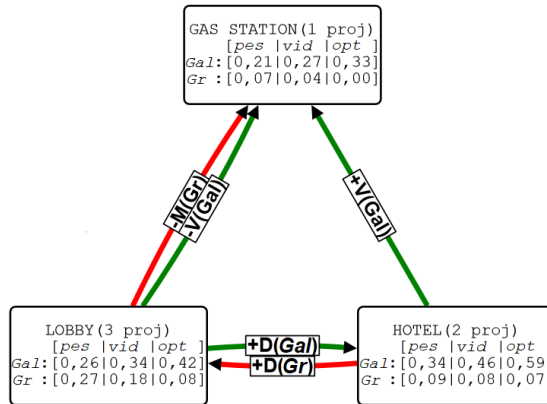
	<i>c</i>	<i>p</i>	DPK	EKT	PT	LT
VP	LD	D	D	LD	V	D
UI	LD	D	LD	LD	D	D
IL	D	D	D	V	M	D
NSR	LD	LD	D	D	V	D
RS	LD	LD	LD	D	D	V

Kiekvieno projekto SSGG matricose eilutėse sužymėtos išgrynintos galimybės ir grėsmės, šiame žingsnyje dar nevertinama projektų tarpusavio sąveika. Antrajame rizikų vertinimo metodo žingsnyje įvedami ryšiai tarp atskirų projektų, tada kiekvieno projekto SSGG matricose galimybių ir grėsmių sąrašai papildomi suminėmis galimybėmis arba suminėmis grėsmėmis iš kito projekto, su kuriuo įvedamas ryšys. Sukuriant tokius ryšius tarp projektų rezultatų skaičiavime atsižvelgiama ne tik į paties projekto potencialą, bet ir į tai, kaip jis keičiasi kompleksinėje aplinkoje dalyvaujant kitiems projektams ir kokia įtaka daroma tiems projektams. Eksperimentinį tyrimą sudarančių projektų ryšių duomenys pateikti 20 lentelėje.

20 lentelė. Eksperimentinį tyrimą sudarančių projektų ryšiai [139]

Ryšys nuo	Ryšys į	Komponentas	Poliškumas	Ryšio stiprumas
HOTEL	GAS STATION	OP	+	V
HOTEL	LOBBY	TH	+	D
LOBBY	HOTEL	OP	+	D
LOBBY	GAS STATION	OP	-	V
LOBBY	GAS STATION	TH	-	M

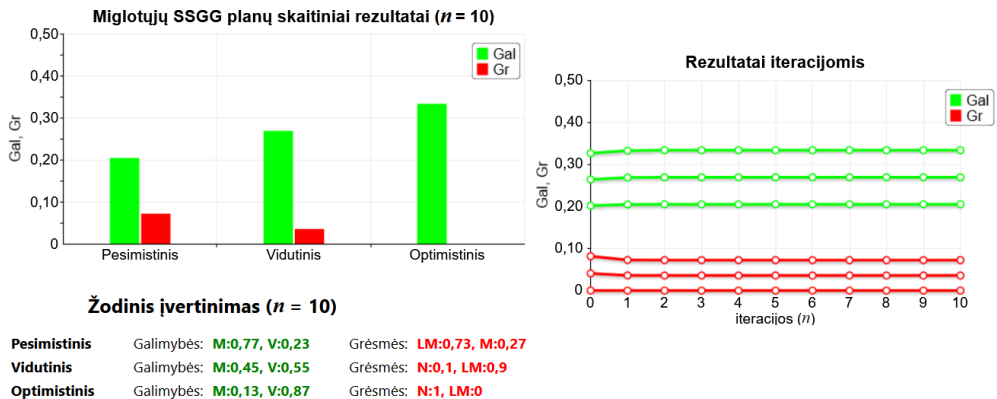
Ryšys kuriamas nuo vieno projekto suminių galimybių ar grėsmių į kito projekto galimybes ar grėsmes. Įrankyje galimybės pažymėtos OP (angl. *opportunities*), o grėsmės TH (angl. *threats*). Kuriant ryšį galima nurodyti poliškumą – ar vieno projekto suminės galimybės arba grėsmės didins kito projekto sumines galimybes arba grėsmes (+), ar mažins (-). Svarbiausias dėmuo, kuris nurodomas kuriant ryšį – stiprumas, nuo kurio priklauso, kokio dydžio įtaką vieno projekto rezultatai daro kitam projektui įvedus tokį ryšį. Projektų ryšius, surašytus 20 lentelėje, įrankis pavaizduoja grafiškai. Projektų ryšių grafai su ryšių duomenimis ir rezultatais po 10 iteracijų parodytas 34 paveiksle.



34 pav. Projektų ryšių grafas su rezultatais po 10 iteracijų

Projektų ryšių grafė vizualiai atspindima atskirų projektų tarpusavio sąveika kompleksinėje aplinkoje ir papildomai pateikiami galutiniai skaitiniai projektų rezultatai, nusistovėję po nustatyto iteracijų skaičiaus. Projektų ryšių grafo mazguose pateikti rezultatai yra tik pagalbinė informatyvi priemonė, pagrindinis SSGG analizės rezultatų vaizdas, pritaikius įvestus ryšius (miglotųjų SSGG planų analizė), po 10 iteracijų parodytas 35–37 paveiksluose.

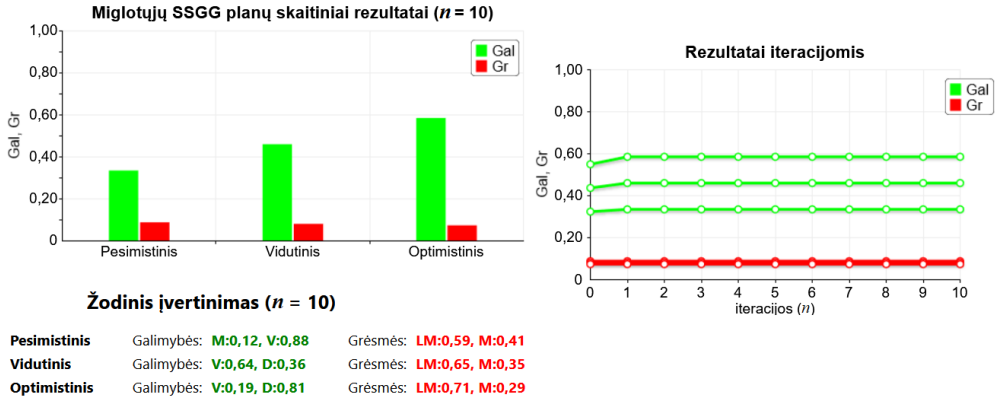
1 projektas: Naujos degalinės pastatymas ir atidarymas



35 pav. Projekto GAS STATION miglotųjų SSGG planų analizės rezultatai

Naujos degalinės pastatymo ir atidarymo projekto miglotųjų SSGG planų analizės rezultatai rodo, jog šio projekto galimybes per kelias iteracijas kiti projektai nežymiai padidina, o grėsmes kiek ryškiau sumažina, po to rezultatai nusistovi.

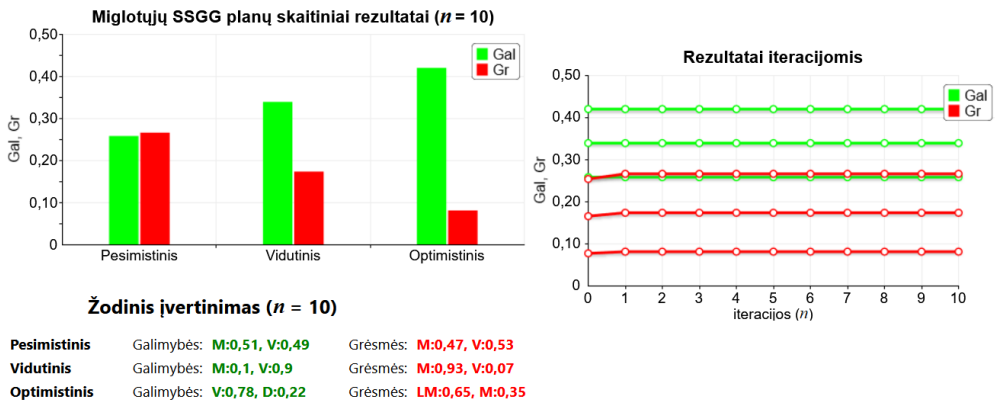
2 projektas: Naujo viešbučių komplekso statyba poilsio zonoje



36 pav. Projekto HOTEL miglotųjų SSGG planų analizės rezultatai

Naujo viešbučių komplekso projekto miglotųjų SSGG planų analizės rezultatai rodo, jog šio projekto galimybes per pirmąją iteraciją kiti projektai žymiai padidina, o grėsmės lieka nepakitusios (grėsmėms kiti projektai įtakos nedaro, nes nėra tokio ryšio tarp projektų). Po pirmosios iteracijos galimybės dar labai nežymiai padidėja keliose tolesnėse iteracijose, paskui rezultatai nusistovi.

3 projektas: Vyriausybės lobizmo organizavimas



37 pav. Projekto LOBBY miglotųjų SSGG planų analizės rezultatai

Vyriausybės lobizmo organizavimo projekto miglotųjų SSGG planų analizės rezultatai rodo, jog šio projekto grėsmės per pirmąją iteraciją kiti projektai žymiai padidina, o galimybės lieka nepakitusios (galimybėms kiti projektai įtakos nedaro, nes nėra tokio ryšio tarp projektų). Po pirmosios iteracijos grėsmės dar labai nežymiai padidėja keliose tolesnėse iteracijose, paskui rezultatai nusistovi.

Miglotųjų SSGG planų rezultatuose matoma dinamika, kaip tarpusavyje projektai daro įtaką vienas kito rezultatams (išsamesnei analizei reikalinga papildoma paprogramė, vizualizuojanti įrankyje sukauptas tarpines reikšmes atliekant skaičiavimus tiek pirmajame, tiek antrajame rizikų vertinimo metodo

žingsniuose). Turint miglotųjų SSGG planų analizės rezultatus, pereinama prie paskutiniojo, trečiojo, rizikų vertinimo metodo žingsnio. Šiame žingsnyje reikalingi pastangų ir neapibrėžtumų ekspertų nurodyti įverčiai, kurie kiekvienam projektui pateikti 21 lentelėje.

21 lentelė. Eksperimentinį tyrimą sudarančių projektų pastangų ir neapibrėžtumų įverčiai [142]

Projektas	Pastangų įvertis	Neapibrėžtumų įvertis
GAS STATION	V	M
HOTEL	D	M
LOBBY	D	V

Atsižvelgiant į miglotųjų SSGG planų analizės rezultatus, naujos degalinės pastatymo ir atidarymo projektui galimybės yra nemažos, o grėsmės nėra reikšmingos, todėl neapibrėžtumas čia įvertintas kaip mažas, o reikiamų pastangų dydis – vidutinis. Naujo viešbučių komplekso statybos projekto atveju grėsmės yra nedidelės ir stabilios, o potencialios galimybės didelės, todėl neapibrėžtumas įvertintas kaip mažas, bet reikiamų pastangų dydis – didelis. Vyriausybės lobizmo projektui grėsmės yra didžiausios, todėl neapibrėžtumas įvertintas kaip vidutinis, o reikiamų pastangų dydis – didelis.

Nagrinėjamų projektų rizikų apskaičiavimui dar reikalinga įvertinti rizikos taisyklės. Sukurtu įrankiu ekspertams sudaryta galimybė viename įrašė pateikti kelis galimybių, grėsmių, pastangų ir neapibrėžtumų įverčius, kuriems esant rizika įgauna nustatytą vertę. Iš šių įverčių kombinacijų Dekarto sandaugos būdu rizikos įrašą įrankis sutransliuoja į miglotosios logikos JEL..., TAI... tipo taisyklių rinkinį, užpildydamas neaprašytas taisyklės vienu iš parinktų užpildų – šiuo atveju vidutine rizikos verte. Eksperimentinį tyrimą sudarančių projektų rizikų skaičiavimui taikomų taisyklių įrašai pateikti 22–24 lentelėse.

22 lentelė. Projekto GAS STATION rizikos taisyklės [142]

Galimybės	Grėsmės	Pastangos	Neapibrėžtumai	Rizika
LD	N, LM	N, LM	N	N
D, LD	N, LM	N, LM, M	N, LM	LM
V, D, LD	LM, M	LM, M, V	N, LM, M	M
V, D	M, V	M, V	LM, M	V
LM, M, L	M, V, D	M, V, D	M, V	D
N, LM, M	V, D, LD	V, D, LD	V, D, LD	LD
D, LD	-	-	D, LD	V
V, D, LD	D, LD	D, LD	N, LM	D

Naujos degalinės pastatymo ir atidarymo projekto taisyklių įrašai sutransliavus padengia 369 miglotosios logikos taisyklės iš viso 1296 taisyklių rinkinio (~28,5 %).

23 lentelė. Projekto HOTEL rizikos taisyklės [142]

Galimybės	Grėsmės	Pastangos	Neapibrėžtumai	Rizika
LD	N, LM	N, LM, M	N, LM	LM
D, LD	LM, M	LM, M	LM	M
V, D	LM, M, V	LM, M, V	LM, M	V
M, V	M, V, D	M, V, D	M, V	D
N, LM, M	V, D, LD	V, D, LD	V, D, LD	LD
D, LD	-	-	D, LD	D
V, D	D, LD	D, LD	N, LM	D

Naujo viešbučių komplekso projekto taisyklių įrašai sutransliavus padengia 319 miglotosios logikos taisyklių iš viso 1296 taisyklių rinkinio (~24,6 %).

24 lentelė. Projekto LOBBY rizikos taisyklės [142]

Galimybės	Grėsmės	Pastangos	Neapibrėžtumai	Rizika
LD	N, LM	N, LM, M	N	N
D, LD	N, LM, M	LM, M	N, LM	LM
V, D, LD	LM, M, V	M, V	N, LM	M
V, D	M, V, D	M, V, D	LM, M	V
LM, M, V	V, D	V, D	LM, M, V	D
N, LM	D, LD	D, LD	V, D, LD	LD
V, D, LD	-	-	V, D, LD	D
V, D, LD	V, D, LD	D, LD	N, LM	D
V, D	N, LM	V, D, LD	N, LM	D

Vyriausybės lobizmo organizavimo projekto taisyklių įrašai sutransliavus padengia 505 miglotosios logikos taisykles iš viso 1296 taisyklių rinkinio (~39 %).

Vos iš 7–9 rizikos taisyklių įrašų padengiama iki trečdalis ar net daugiau viso miglotosios logikos taisyklių rinkinio eilučių. Likusios nepadengtos eilutės užpildomos vidutine rizikos reikšme – visų keturių komponentų įverčiai įgauna svorius ir apskaičiuojamas vidurkis, kuris suapvalinus (jei reikia) į didesnę pusę traktuojamas kaip rizika šioms neapibrėžtoms eilutėms (numatytojo užpildo parinkimo scenarijus įrankyje).

Pagal keturių rizikos vertinimui reikalingų komponentų įverčius ir sudarytas rizikos taisykles apskaičiuoti projektų rizikų rezultatai parodyti 38–40 paveiksluose.



Žodinis įvertinimas

Pesimistinis M:0,55, V:0,45
Vidutinis M:0,74, V:0,26
Optimistinis M:0,93, V:0,07

38 pav. Projekto GAS STATION rizikų vertinimo rezultatai



Žodinis įvertinimas

Pesimistinis V:0,79, D:0,21
Vidutinis M:0,11, V:0,89
Optimistinis M:0,52, V:0,48

39 pav. Projekto HOTEL rizikų vertinimo rezultatai



Žodinis įvertinimas

Pesimistinis D:0,96, LD:0,04
Vidutinis V:0,16, D:0,84
Optimistinis V:0,36, D:0,64

40 pav. Projekto LOBBY rizikų vertinimo rezultatai

Pagal gautas miglotųjų SSGG planų suminių galimybių ir suminių grėsmių vertes, ekspertų įvertintus neapibrėžtumų ir reikiamų įdėti pastangų dydžius galima atsekti, kurios taisyklių rinkinio eilutės nulėmė galutinį apskaičiuotą projekto rizikos įvertį (tam įrankyje reiktų papildomo vizualizacijos modulio). Gautų rizikų vertinimo rezultatų suvestinė pateikta 25 lentelėje.

25 lentelė. Eksperimentinį tyrimą sudarančių projektų rizikų vertinimo rezultatų suvestinė [142]

Projektas	Pesimistinis		Vidutinis		Optimistinis	
	Žodinis	Skaitinis	Žodinis	Skaitinis	Žodinis	Skaitinis
GAS STATION	M:0,55 V:0,45	0,251	M:0,74 V:0,26	0,213	M:0,93 V:0,07	0,174
HOTEL	V:0,79 D:0,21	0,419	M:0,11 V:0,89	0,338	M:0,52 V:0,48	0,257
LOBBY	D:0,96 LD:0,04	0,654	V:0,16 D:0,84	0,596	V:0,36 D:0,64	0,538

Gautų rizikos vertinimo rezultatų interpretavimas:

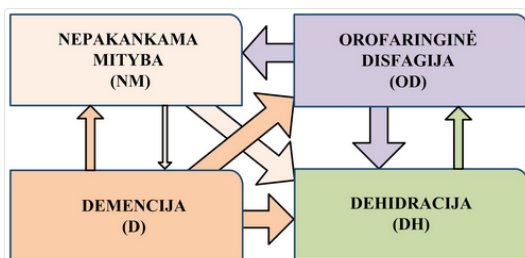
- Projektui GAS STATION apskaičiuota rizika yra santykinai žema visomis trimis perspektyvomis, todėl labiausiai tikėtina, kad sprendimų priėmėjas remdamasis tokiais rezultatais būtų labiau linkęs priimti teigiamus projekto eigą lemiančius sprendimus.
- Projektui HOTEL apskaičiuota rizika nemažai skiriasi pesimistine ir optimistine perspektyvomis. Sprendimų priėmėjas turi pasirinkti, ar tokiaime vertinime stengtis labiau išvelgti potencialą iš optimistinio vertinimo, ar susilaikyti nuo projekto plėtos iškeliant pesimistinį vertinimą.
- Projekto LOBBY apskaičiuota rizika santykinai didelė, tačiau dėl šio projekto vidinių dinamikų sprendimų priėmėjas gali tokią riziką traktuoti kaip toleruotiną priimdamas sprendimus.

Vertinant gautus projektų rezultatus galima istoriškai patikrinti jų koreliaciją su realybe – per pastaruosius keletą metų lygiagrečiai atliekant Palangos miesto situacijos rizikos analizę buvo tiek pastatyta nauja degalinė, tiek sėkmingai pastatyti nauji viešbučiai; taip pat rengiami nauji tokio pobūdžio projektai, o vyriausybės lobizmo srityje įvyko teigiamų pokyčių įstatyminėje bazėje, kurie labiau skatina vykdyti tokio pobūdžio veiklą. Taigi, galima teigti, jog atliktos rizikos vertinimo rezultatai koreliuoja su realybe.

4.3. Metodo taikymas medicininės diagnozės sprendimų paramos sistemoje

Metodo taikomumo tyrimui rezultatai aprobuoti jungtiniame Kauno technologijos universiteto ir Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Geriatrijos klinikos projekte. Projekto metu Kauno technologijos universiteto Realaus laiko kompiuterinių sistemų centre sukurta medicininės diagnozės sprendimų paramos sistema „Gerimodis“, kurios branduolyje integruotas šiame darbe aprašytas metodas. Sistema testuota realiomis sąlygomis, naudojant bioetikos sutikimą pasirašiusių 83 Geriatrijos klinikos pacientų duomenis, kurių sveikatos būklės skiriasi. Sistemos apskaičiuoti rezultatai – pacientų sveikatos rizikos įverčiai keliems tarpusavyje susijusiems sindromams, publikuoti straipsnyje [143].

Pritaikius metodą „Gerimodis“ sistemoje apskaičiuojami Geriatrijos klinikos paciento keturių tarpusavyje susijusių sindromų (nepakankamos mitybos, orofaringinės disfagijos, dehidracijos ir maitinimosi sutrikimų sergant demencija) rizikų įverčiai. Šie keturi sindromai susiję su paciento mitybos sutrikimais, tai didžiausi sveikatos sutrikimų riziką lemiantys veiksniai vyresniems žmonėms, kartu darantys įtaką gretutiniams sutrikimams ir keliantys naujų sveikatos grėsmių. Sindromų tarpusavio sąveikos vaizdas parodytas 41 paveiksle.



41 pav. Sveikatos sutrikimų riziką lemiančių sindromų tarpusavio sąveika

Rodyklės rodo sindromų tarpusavio sąveikos ryšio kryptį, o kiekvienos rodyklės plotis – ryšio stiprumą. Kiekvieno šių keturių sindromų rizikos skaičiavimui pritaikytas siūlomas metodas, praleidžiant nenaudojamas dalis. Medicininės diagnozės Geriatrijos klinikos pacientams taikymo srities dinamika nulemia tai, kad aktualu nagrinėti tik kylančias sveikatos grėsmes, galimybės nėra apskaičiuojamos. Gauti grėsmių įverčiai dėl srities dinamikos yra tolygūs sveikatos rizikai, todėl pakanka taikyti tik pirmuosius du metodo žingsnius. Pirmame metodo žingsnyje SSGG analizei panaudojami tik du taikymo sričiai reikalingi komponentai – grėsmių ir silpnybių įverčiai.

Kiekvienam realiam pacientui pasirašius bioetikos sutikimą kartu su jo duomenimis (amžius, svoris, ūgis) buvo surinkti atsakymai į plačiai medicinoje taikomas anketas sindromų vertinimui, kartu su bendros simptomų vertinimo anketos atsakymais. Bendrosios simptomų anketos duomenys naudojami kaip SSGG metodo silpnybės, darančios įtaką sindromų grėsmėms, kurių duomenys gauti iš atskirų keturių anketų. Bendrosios simptomų anketos vaizdas parodytas 42 paveiksle.

Simptomai

	Simptomas	Vertinimas (0 – 3)
NM	Sumažėjo apetitas	2
	Mažiau valgo	2
	Krenta svoris	0
	Drabužiai, batai, žiedai tapo per dideli	0
OD	Springsta geriant ir valgant	2
	Kosėja geriant ir valgant	2
	Atsigėrus pasikeičia balsas, kalba	2
	Sunku nuryti tabletes	0
D	Atsisako išsižioti	0
	Maistas išsilieja, iškrenta iš burnos	1
	Išspjauna maistą	2
	Nebemoka pavalgyti	2
DH	Geria mažai skysčių	3
	Šlapimas tapo tamsesnės spalvos	3
	Mažiau šlapinasi	3
	Sausa ar džūsta burna	3

42 pav. „Gerimodis“ bendroji simptomų anketa

Keturių sindromų (NM – nepakankamos mitybos, OD – orofaringinės disfagijos arba rijimo sutrikimų, D – demencijos, DH – dehidratacijos) grėsmių anketų vaizdas parodytas 43 paveiksle.

Nepakankamos mitybos patikros anketa Rijimo įvertinimo anketa EAT-10

	Vertinimas		Vertinimas
1. Ar sumažėjo suvalgomo maisto kiekis dėl apetito stokos, pasireiškusio virškinimo, kramtymo ar rijimo sutrikimo per pastaruosius 3 mėnesius?	2	Dėl rijimo problemos man krenta svoris	0
2. Svorio kritimas per pastaruosius 3 mėnesius	1	Mano rijimo problema trukdo man valgyti	2
3. Judrumas	2	Man sunku nuryti skysčius	2
4. Pacientas jautė psichologinį stresą ar sirgo ūmine liga per pastaruosius 3 mėnesius	0	Man sunku nuryti kietą maistą	1
5. Neuropsichologiniai sutrikimai	2	Man sunku nuryti tabletes	1
6. KMI arba BA	0	Rijimas yra skausmingas	1
7. Blauzdos apimtis (BA)	0	Mano rijimas sutrikdo valgyimo malonumą	1
Suminis balas	7	Ryjas maistas stringa gerklėje	1
Maksimalus balų kiekis	14 (keturiolika)	Valgydamas kosėju	2
		Rijimas kelia man stresą	1
		Suminis balas	12
		Maksimalus balų kiekis	40 (keturiasdešimt)

Modelio įvertis		
0 – 2 balai	normali mityba (gerai)	0
3 – 6 balai	NM rizika (gali būti blogai)	0,5
7 – 14 balai	NM (blogai)	1

Modelio įvertis		
0 – 2 balai	gerai	0
3 – 10 balai	gali būti blogai	0,5
11 – 40 balai	blogai	1

Demencijos patikra pagal Edinburgo anketą

Dehidracijos patikros anketa

	Vertinimas		Vertinimas
1. Ar reikia pastovios ligonio priežiūros valgant?	0	1. Ar vargina troškulis?	0
2. Ar reikia fizinės pagalbos, kai liginis maitinamas?	0	2. Ar jaučiamas raumenų silpnumas?	0
3. Ar yra išsiliejimas iš burnos valgant?	0	3. Ar vargina galvos skausmas?	0
4. Ar lieka maisto lėkštėje pavalgius?	0	4. Ar atsirado nerimo jausmas?	0
5. Ar pacientas atsisako valgyti?	0	5. Ar gleivinės ir liežuvis tapo sausi?	0
6. Ar pacientas nusuka galvą maitinant?	0	6. Ar sumažėjo kūno svoris?	0
7. Ar pacientas atsisako išsižioti?	0	7. Ar sumažėjo šlapimo kiekis?	0
8. Ar pacientas išspjauna maistą?	0	8. Ar sumažėjo išmatų kiekis, jos tapo kietesnės?	0
9. Ar pacientas lieka išsižiojęs ir maistas iškrenta iš burnos?	0	9. Ar padažnėjo širdies veikla, pulsas?	0
10. Ar pacientas atsisako ryti?	0	10. Ar atsistojus sumažėja kraujo spaudimas ir padažnėja pulsas?	0
Suminis balas	0	Suminis balas	0
Maksimalus balų kiekis	20 (dvidešimt)	Maksimalus balų kiekis	40 (keturiasdešimt)

Modelio įvertis		
0 – 5 balai	gerai	0
6 – 10 balai	gali būti blogai	0,5
11 – 20 balai	blogai	1

Modelio įvertis		
0 – 5 balai	gerai	0
6 – 10 balai	gali būti blogai	0,5
11 – 40 balai	blogai	1

43 pav. „Gerimodis“ sindromų grėsmių anketos

Kiekviena anketa turi savo skirtingus atsakymų įverčių režius, todėl atliekant SSGG skaičiavimus visi duomenys norminami, kad būtų vienos bendros dimensijos. Apskaičiuavus sumines SSGG grėsmes visiems keturiems sindromams taikomas antrasis darbe pasiūlyto metodo žingsnis ir, pritaikius sindromų tarpusavio sąveikų įverčius iš 41 paveikslėlio, perskaičiuojamos suminės sindromų grėsės po vienos iteracijos. Skaitinių rezultatų verbalizacijai vartojamas žodynas (17).

$$(17). \left\{ \begin{array}{l} \{NĖRA\} \\ \{MAŽA\} \\ \{VIDUTINĖ\} \\ \{DIDELĖ\} \end{array} \right.$$

Keturių žodyno termų miglotosios logikos priklausomybės funkcijos išdėstomos tuo pačiu darbe siūlomu kvadratinės parabolės dėsnio [133]. Gautų paciento sindromų rizikos rezultatų vaizdas parodytas 44 paveiksle.

Rezultatai:

Labiausiai tikėtinos prognozės:
 "Orofaringinė disfagija" – "Vidutinė" su tikrumu 0,835
 "Maitinimosi sutrikimai sergant demencija" – "Maža" su tikrumu 0,719
 "Nepakankama mityba" – "Vidutinė" su tikrumu 0,616
 "Dehidracija" – "Vidutinė" su tikrumu 0,613

Išvada ir rekomendacijos: -

Geriatrinė maitinimosi ir mitybos būklės sutrikimų prognozė

	Nepakankama mityba NM	Orofaringinė disfagija OD	Maitinimosi sutrikimai sergant demencija D	Dehidracija DH
Pesimistinė prognozė	VIDUTINĖ su tikrumu 0,616	VIDUTINĖ su tikrumu 0,835	VIDUTINĖ su tikrumu 0,281	DIDELĖ su tikrumu 0,387
Optimistinė prognozė	MAŽA su tikrumu 0,384	MAŽA su tikrumu 0,165	MAŽA su tikrumu 0,719	VIDUTINĖ su tikrumu 0,613
Labiausiai tikėtina prognozė	VIDUTINĖ su tikrumu 0,616	VIDUTINĖ su tikrumu 0,835	MAŽA su tikrumu 0,719	VIDUTINĖ su tikrumu 0,613

44 pav. „Gerimodis“ paciento sindromų rizikos rezultatai

Atliktų tyrimų rezultatai palyginti su rezidentų (pirmųjų–antrųjų metų gydytojų) kartu bendrai priimtais sprendimais, netaikant sukurtos medicininės sprendimų paramos sistemos ir su gydytojų ekspertų (turinčių per 20 metų darbo patirties) diagnozėmis, gautomis taikant standartinius vertinimo metodus. Visų diagnozių suvestinė pateikta 26 lentelėje.

26 lentelė. „Gerimodis“, gydytojų rezidentų ir gydytojų ekspertų diagnozės

	Gerimodis diagnozė				Rezidentų diagnozė				Ekspertų diagnozė			
	NM	OD	D	DH	NM	OD	D	DH	NM	OD	D	DH
Serga	53	23	6	65	41	21	9	66	59	27	14	63
Neserga	30	60	77	18	42	62	74	17	24	56	69	20

„Gerimodis“ sistemos rezultatuose įvairios statistiškai nežymios paklaidos galėjo atsirasti dėl tyrime dalyvavusių pacientų netiksliai ar klaidingai pateiktų atsakymų į anketų klausimus. Gydytojų ekspertų įvertinimai laikomi kaip „aukso standartas“, kuris apsprendžia rezultatų teisingumą.

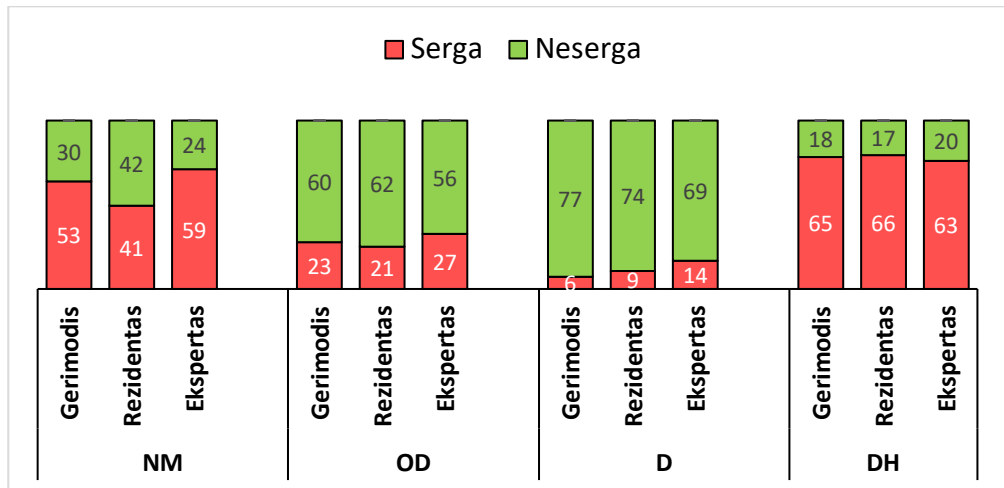
Kiekvienam iš keturių sindromų apskaičiuoti standartiniai nuokrypiai:

- NM: 9,195;
- OD: 3,055;
- D: 4,041;
- DH: 1,53.

Tarp atskirų diagnozių apskaičiuoti koreliacijos koeficientai:

- „Gerimodis“ – gydytojas rezidentas = 0,97;
- „Gerimodis“ – gydytojas ekspertas = 0,993;
- Gydytojas rezidentas – gydytojas ekspertas = 0,938.

Diagnozių duomenys grafiškai pateikti 45 paveiksle.



45 pav. „Gerimodis“, gydytojų rezidentų ir gydytojų ekspertų diagnozės

Iš gautų statistinių duomenų ir grafiko galima matyti, kad trims iš keturių sindromų didesnio statistinio nuokrypio nėra, tačiau NM sindromo atveju gaunamas reikšmingas rezultatų skirtumas tarp „Gerimodis“ sistemos ir gydytojo recenzento diagnozių, lyginant su gydytojo eksperto. Visų keturių sindromų kiekvienam atskiram pacientui diagnozių palyginimo tarp „Gerimodis“ sistema gautų rezultatų ir rezidentų bei ekspertų įvertinimų suvestinė pateikta 27 lentelėje.

27 lentelė. „Gerimodis“ rezultatų palyginimo suvestinė

	Sutapimas „Gerimodis“ – rezidentas			Sutapimas „Gerimodis“ – ekspertas			Sutapimas rezidentas – ekspertas
	Serga	Neserga	Iš viso	Serga	Neserga	Iš viso	
NM	34 (41,0 %)	23 (27,7 %)	57 (68,7 %)	51 (61,4 %)	22 (26,5 %)	73 (87,9 %)	55 (66,3 %)
OD	18 (21,7 %)	57 (68,7 %)	75 (90,4 %)	21 (25,3 %)	54 (65,1 %)	75 (90,4 %)	77 (92,8 %)
D	4 (4,8 %)	72 (86,7 %)	76 (91,5 %)	6 (7,3 %)	69 (83,1 %)	75 (90,4 %)	72 (86,7 %)
DH	57 (68,7 %)	9 (10,8 %)	66 (79,5 %)	58 (69,9 %)	13 (15,7 %)	71 (85,6 %)	74 (89,2 %)
Iš viso	113 (34,0 %)	161 (48,5 %)	274 (82,5 %)	136 (41,0 %)	158 (47,6 %)	294 (88,6 %)	278 (83,7 %)

Lyginant su gydytojų ekspertų diagnozėmis „Gerimodis“ rezultatų sutapimo procentai yra šie: NM – 87,9 %, OD – 90,4 %, D – 90,4 %, DH – 85,6 %, o gydytojų rezidentų rezultatų sutapimas su ekspertų: NM – 66,3 %, OD – 92,8 %, D – 86,7 %, DH – 89,2 %. Bendras „Gerimodis“ sistemos rezultatų sutapimas su gydytojų ekspertų diagnozėmis – 88,6 %, o rezidentų – 83,7 %. Nors rezidentų pateiktos orofaringinės disfagijos ir dehidratacijos diagnozės kiek tikslesnės, tačiau demencijos sutrikimas buvo diagnozuotas tiksliau sistemoje, o prognozuojant nepakankamos mitybos sutrikimą įrankis pateikia žymiai tikslesnius rezultatus, nei recenzentai. Bendras įrankio sutapimas su ekspertų diagnozėmis yra 88,6 % ir beveik 5 procentais pralenkia gydytojų recenzentų diagnozių tikslumą (83,7 %).

Gauti rezultatai leidžia teigti, jog tokia medicininės sprendimų paramos sistema yra efektyvi, padeda veiksmingai įvertinti geriatrijos pacientų sveikatos rizikas, o kai kuriais atvejais priima net tikslesnį sprendimą nei mažiau patyręs gydytojas ir gali būti naudojama kaip pagalbinis įrankis. Gauti rezultatai patvirtina pasiūlyto metodo universalumą taikyti pagal sritį ir validuoja metodo veiksmingumą taikyti praktikoje realių problemų sprendimui.

4.4. Eksperimentų apibendrinimas

- Pasiūlyto metodo validavimui sukurtas programinis įrankis, kuriuo galima atlikti kelių tarpusavyje susijusių projektų kompleksinėje aplinkoje rizikų analizę.
- Sukurtuoju įrankiu taikant pasiūlytą rizikų vertinimo metodą atlikta Palangos mieste esančių trijų susijusių projektų rizikų analizė – naujo viešbučių kompleksų statybos poilsio zonoje, naujos degalinės pastatymo bei atidarymo ir vyriausybės lobizmo organizavimo. Gauti rezultatai paskelbti keliuose publikacijose ir istoriškai atitinka realybę – naujos degalinės pastatymo rizika nedidelė ir suponuoja projektą įgyvendinti, naujo viešbučių komplekso statybos rizika vidutinė ir projekto įgyvendinimas kelia dvejonių, tačiau dėl galimos investicinės grąžos labiau priimtinas, o vyriausybės lobizmo organizavimo rizika didelė, bet savame kontekste toleruotina, todėl projekto įgyvendinimas yra skatintinas.
- Praktinės vertės patvirtinimui rezultatai aprobuoti MTEP projekte „Sumanių, apsimokančių ir adaptyvių pastatų kompetencijų centras (SAVAS)“.
- Jungtiniame Kauno technologijos universiteto ir Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Geriatrijos klinikos projekte sukurta medicininės diagnozės sprendimų paramos sistema „Gerimodis“, kurios branduolyje taikomas darbe aprašytas metodas. Atlikta realių pacientų sveikatos rizikų analizė ir palyginta su rezidentų diagnozėmis nenaudojant įrankio. Gauti rezultatai publikuoti straipsnyje ir validuoja metodo efektyvumą bei pritaikomumą.

5. IŠVADOS

Disertacijos darbo metu pasiektas iškeltas tikslas ir įgyvendinti tikslo siekimui apibrėžti uždaviniai; iš jų formuluojamos šios išvados:

1. Išanalizuotos esamos rizikos sampratos, vertinimo metodai ir sistemos. Dažniausiai sutinkama tikimybinė rizikos samprata, jog rizika yra kokia nors žala, padauginta iš tų žalą galinčių sukelti veiksnių pasireiškimo tikimybės. Suformuluota rizikos samprata pagal atliktą analizę ir D. Hillson skelbiamą pozityviają rizikos teoriją, sujungiant keturias dedamąsias – galimybes, grėsmes, neapibrėžtumus ir įdėtas pastangas.
2. Pasiūlytas naujas nuo taikymo srities nepriklausantis metodas kompleksinių rizikų vertinimui, grįstas pasiūlyta rizikos samprata ir ekspertiniais įverčiais situacijos aprašo sudarymui. Ekspertinių duomenų įvedimui pirmą kartą pasiūlytas klasikinio SSGG analizės metodo papildinys, įgalinantis žinias išreikšti natūralios kalbos žodžiais su tikrumo laipsniu, taip pat šis patobulinimas praplėstas kelių tarpusavyje susijusių situacijų analizės atlikimui. Pasiūlytas metodas taikytinas skirtingų prototipų realizacijai. Metodas turi aiškintinio dirbtinio intelekto bruožų, nes žodinės informacijos kodavimas į skaitinę ir iškodavimas, kaip ir rezultatus nulemiančių taisyklių rinkiniai, yra „baltosios dėžės“.
3. Sukurtas prototipinis programinis įrankis pasiūlyto metodo validavimui ir panaudoti straipsniuose publikuotų projektų duomenys kompleksinio modelio rizikoms vertinti sudarymui. Sudaryto modelio pagrindu atlikus pasiūlyto SSGG analizės plėtinio tyrimus įvertinta, jog rezultatai nuo to paties vertinimo netaikant pasiūlyto metodo skiriasi statistiškai nereikšmingai (iki 10 procentų), o sudėtingų įvertinti duomenų įvedimas gali būti net keliskart greitesnis procesas. Atliktas trijų tarpusavyje susijusių projektų Palangos mieste rizikų vertinimas – naujos degalinės statymo (rizika maža–vidutinė), naujo viešbučių komplekso statybos (rizika maža–vidutinė / didelė) ir vyriausybės lobizmo organizavimo (rizika didelė–labai didelė). Gauti rezultatai istoriškai žvelgiant koreliuoja su realybe.
4. Praktinės vertės patvirtinimui gauti rezultatai aprobuoti MTEP projekte „Sumanių, apsimokančių ir adaptyvių pastatų kompetencijų centras (SAVAS)“. Pasiūlyto rizikų vertinimo metodo dalys įdiegtos ir sukurtoje medicininės diagnozės paramos sistemoje „Gerimodis“, jungtiniame Kauno technologijos universiteto ir Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Geriatrijos klinikos projekte. Atlikta 83 Geriatrijos klinikos pacientų, pasirašiusių bioetikos sutikimus teikti duomenis, sveikatos rizikų analizė. Gauti rezultatai palyginti su gydytojų rezidentų ir profesionalų diagnozėmis. Dviem iš keturių sindromų rezidentų diagnozės buvo kiek tikslesnės (89,2 % lyginant su 85,6 % ir 92,8 % su 90,4 %), trečiajam įrankiu gauti geresni rezultatai (90,4 % su 86,7 %), o ketvirtajam sindromui įrankiu gauti žymiai geresni rezultatai (87,9 % prieš 66,3 %). Bendras įrankio sutapimas su ekspertų diagnozėmis yra 88,6 % ir beveik penkais procentais pralenkia gydytojų recenzentų diagnozių tikslumą (83,7 %). Gauti rezultatai leidžia

teigti, jog tokia medicininės sprendimų paramos sistema yra efektyvi, padeda veiksmingai įvertinti Geriatrijos klinikos pacientų sveikatos rizikas, o kai kuriais atvejais priima net tikslesnį sprendimą nei mažiau patyręs gydytojas ir gali būti naudojama kaip pagalbinis įrankis. Gauti rezultatai patvirtina pasiūlyto metodo universalumą taikyti pagal sritį ir validuoja metodo veiksmingumą taikyti praktikoje realių problemų sprendimui.

6. SANTRAUKA

INTRODUCTION

Motivation

Each activity is a subject to the existing circumstances and other related activities that affect the outcome by exposing it to various risks. Risk is an integral part of life, affecting all people without any exceptions, and there will always be factors that can be influenced by an individual or society as a whole that as a result can be underestimated or overlooked [1]. Living in a constantly changing environment, people are constantly exposed to risks accompanied by various challenges and potential opportunities at hand. Risk is the entity that decisively influences a person, groups of people, organizations, institutions, states, etc., decisions taken, and, on that ground, any of their activities as a whole. Risk is a context-sensitive concept which meaning varies on a situational basis and rests contingently on a variety of perspectives. Although the most obvious differences in the interpretations of risk are noticeable following the distinction between the technical and social sciences; in related disciplines, the term risk and analyses are understood ambiguously. The discrepancies in understandings and approaches to risk are observed in the contrast of different disciplines as well within each of the disciplines due to the different epistemological assumptions held about the concept of risk. In the context of challenges that modern society is faced with, risk and related situations sustain relevance as objects of research and interest to various groups of scientists. Thus, it is essential to properly locate, assess existing risks, and develop strategies that in turn can help manage them and assess the impact of made decisions. There is a need for a unified risk approach applicable to different fields of activity and a risk assessment method based on this approach, thus reconciling the existing differences and providing a platform for assessing the risks of interrelated situations. The experts have knowledge in different fields of activity, and this should be used to create a common platform for the expert system. The common platform should make use of the existing artificial intelligence techniques for the efficient collection of expert knowledge and risk assessment calculations.

Object of the research

The object of research in this dissertation is the concept of risk, the approach of a domain-independent intelligent risk assessment system method based on the expert knowledge for the development of evaluated risk management strategies.

Aim of the thesis

The aim of the work is to enhance the utilization of expert knowledge in risk assessment by developing a new expert-based risk assessment method that is independent of the application domain, based on a unique risk concept and experimentally evaluated for its effectiveness.

Objectives of the thesis

In order to achieve the goal of the dissertation and solve the scientific problem, the following objectives have been raised:

1. Analyze the existing risk approaches, concepts, systems, methods, and structures in various fields and propose a new concept of risk.
2. Based on a new concept of risk, propose a method for assessing risks in complex environments and find a suitable functional organization for method implementation.
3. Develop software prototypes for the proposed risk assessment approach, capable of performing risk assessment calculations, and demonstrate the performance of prototypes.

Research methodology

Research methods that have been used to achieve the aim of the thesis:

1. Comparative analysis of existing risk concepts and philosophies in different fields of activity.
2. A new method for risk assessment, based on a newly developed concept of risk, gathering expert knowledge by the newly proposed addition to the classical SWOT method, enabling verbal information processing.
3. Experimental study of the proposed risk assessment method using the developed prototype software tool.
4. A method for evaluating the results of the thesis.

Scientific novelty of the thesis

The scientific novelty of the work is assessed by:

1. The addition to the classical SWOT method is proposed, applying the “Computing with Words” (CWW) paradigm, thus enabling experts to express their knowledge in verbal form (“small”, “medium”, etc.). This approach, proposed for the first time, combining the SWOT method with the CWW paradigm, is used for the assessment of situation by finding the magnitudes of opportunities and threats.
2. The new addition to the SWOT method is extended by introducing the possibility to analyze several interrelated situations in a complex environment.
3. A new concept of risk is formulated, building on Hillson’s positive risk theory [4] and assessing uncertainties. For this approach, a generic, domain-independent risk formula is developed.
4. A new method for risk assessment in complex environments is proposed based on a formulated risk formula and a new extended SWOT method.

Practical significance of the research findings

A software tool has been developed and experimentally validated for risk assessment in a complex environment, which:

1. Enables experts, decision-makers, and other people working with the system to be more flexible in presenting their knowledge (numerically and verbally) when assessing uncertainties.
2. Provides an ability to perform a simulation of the investigated situation, while representing the simulation results in numerical, verbal, and graphical form.
3. Due to its modular structure, it allows for the execution of partial simulation (e.g., the risk assessment module can be omitted if the output results of the final threats are the desired outcome).
4. It is suitable for expert risk assessment of new situations for which insufficient knowledge exists, providing advices for decision-makers.

Statements for the defense

1. A field-independent common risk concept and method enables the assessment of risks of interrelated situations in a complex environment.
2. The addition to the widely used SWOT analysis method for the situation assessment improves the collection and utilization of expert knowledge.
3. The results of a newly proposed risk assessment method, using the methods of artificial intelligence, based on the formulated risk concept and proposed extended SWOT analysis method, can be used to provide recommendations to the decision-makers for the formulation of risk management strategies.

Scientific approval

The results of the dissertation have been approbated by the two international scientific conferences. Two articles were published in peer-reviewed scientific journals with citation index in Clarivate Analytics Web of Science databases:

1. V. Petrauskas, R. Jasinevicius, G. Damuleviciene, A. Liutkevicius, A. Janaviciute, V. Lesauskaite, J. Knasiene, Z. Meskauskas, J. Dovydaitis, V. Kazanavicius, R. Bitinaite-Paskeviciene, “Explainable Artificial Intelligence-Based Decision Support System for Assessing the Nutrition-Related Geriatric Syndromes,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 24, 2021. doi: 10.3390/app112411763.
2. Z. Meskauskas, E. Kazanavicius, “About the New Methodology and XAI-Based Software Toolkit for Risk Assessment,” *Sustainability*, vol. 14, no. 9, 2022. doi: 10.3390/su14095496.

Published book chapter, indexed in the SCOPUS database and under consideration for indexing in “Clarivate Analytics Web of Science”:

V. Petrauskas, R. Jasinevicius, E. Kazanavicius, and Z. Meskauskas, “The Paradigm of an Explainable Artificial Intelligence (XAI) and Data Science (DS)-Based Decision Support System (DSS),” in *Data Science in Applications*, Cham, Springer International Publishing, 2023, pp. 167–209.

The results were presented at one national conference and published in two journals that do not have a Clarivate Analytics Web of Science citation index.

The method proposed in the work was used and tested in a joint project of Kaunas University of Technology and Lithuanian University of Health Sciences, Clinic of Geriatrics, and in the MTEP project “Sumanių, apsimokančių ir adaptyvių pastatų kompetencijų centras (SAVAS)”.

ANALYSIS OF THE RISK ASSESSMENT PROBLEM AREA

Various studies have attempted to refine a common approach to the risk assessment for all applications [5], but none has been widely adopted in practice for the following reasons:

- Numerous scientific studies have been conducted in the field of information technology risk management systems, yet there is still a lack of a unified risk concept that would be widely accepted and utilized across various domains. Only broadly accepted standards, such as ISO31000 [3], have been established.
- The scientific literature focuses on the development and critique of new risk assessment ideas and paradigms, making it difficult to reach a broad scientific consensus on a common approach to risk assessment.

A picture of the risk standardization pyramid based on [8] is presented in Figure 1.

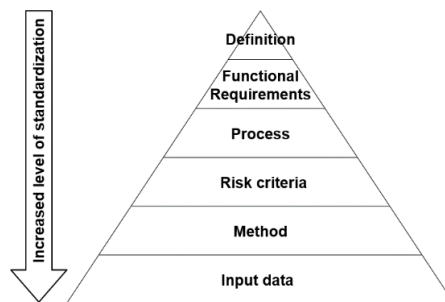


Fig. 1. Risk standardization pyramid

Different concepts of risk are formed due to the differences in subject areas and issues to be addressed as well as differences in competencies between theorists and practitioners working with or in the field of risk assessment. The differences in risk conceptualization can be observed both across disciplines and within disciplines, confirming that the conceptualization of risk is context dependent. An economist, politician, producer, manager, psychologist, or sociologist formulates their subject area-specific questions related to the risk assessment that arise from different epistemological assumptions of risk understanding. However, there are certain commonalities in the conceptualization of risk: all concepts of risk have one thing in common, i.e., the difference between possible and actual action, which philosophers call uncertainty [6]. Scientists view risk as a component in a situation, process, or characteristic with a dimension of uncertainty. In different fields of sciences, risk is seen not as a permanent condition but as a complex phenomenon,

possessing within itself the potential for different outcomes [7]. The current concepts of risk assessment are reviewed, considering the aim of the thesis, and grouped into affinity groups:

- **Probabilistic risk assessment.** The most widely used risk assessment utilized by the risk managers can be described by the equation: risk = probability of an event · consequences of an event [99]. Based on a probabilistic assessment, risk is calculated by multiplying the probability of an adverse event occurring by the magnitude of the adverse effects of that event. The disadvantage of these types of methods is that the uncertainties or possible positive effects are not estimated.
- **Risk assessment by the components.** Risk indicates a complex condition that is a component of the environment [15]. When assessing risk by components, the result depends on what risk factors are identified as essential. A larger number of identified factors increases the number of risk parameters of the calculation, providing more data, and therefore, more complexity and redundancy is introduced. In contrast, not enough risk parameters underestimate the situation, which is why it is important to make a reasoned choice of the key risk factors and their quantity.
- **Risk assessment by the uncertainties.** When assessing risk by uncertainties, it is important to distinguish whether this will be considered as a parameter, an outcome, or both.
- **Risk assessment according to possibilities.** Risk is defined as the likelihood of danger, loss, injury, or other adverse consequences. However, risk-taking can have positive consequences as well. Risk is related to the uncertainty of the outcome of the situation where it occurs [21]. This approach to risk assessment weighs up the potential positive consequences, opportunities, alongside the threats and uncertainties.
- **Risk differentiations depending on the area.** Risk is difficult to define because it can be understood and calculated differently in each area. The existing different risk assessment methods, depending on the scope, underline the lack of a cohesive risk calculation method for all sets of areas. As the crystallization of such a general method is quite a complicated procedure, it is proposed to separate the dynamics of the subject area from the risk calculation method to the one of risk assessment.

In the most general sense, the concept of risk is determined according to two main approaches [26]:

1. Risk is assessed objectively when all factors influencing the instance of the risk can be identified and quantified.
2. Risk is assessed subjectively when the factors that determine the occurrence of the risk may be difficult to quantify and accurately measure by the mathematical methods.

Objective risk assessment is appropriate for the new unique concept of risk that is being developed, as the aim of the thesis is not to make subjective qualitative assessments but to measure quantitative values of risks by applying mathematical methods. The analysis of the risk assessment concepts that have been made requires a reasoned choice as to whether risks should be assessed more probabilistically or in

terms of components of the risk assessment, whether to include the assessment of opportunities and uncertainties, how to separate the calculation of the risk assessment from the dynamics of the field and whether additional new components are needed that are not included in the analysis. The existing risk assessment concepts use different methods for the implementation: neural networks, fuzzy logic, holistic methods, hybrid methods, and others.

Risk assessment is an integral part of various decision support systems. Decision support systems use a variety of artificial intelligence techniques that have evolved rapidly over the past couple of years to produce the most accurate mathematical models possible, but the accuracy of the models reduces the explainability (the system becomes a “black box”, and the inference chain cannot be tracked directly). As a result, and with funding from the US Department of Defense's Advanced Research Projects Agency (DARPA) in early 2017, there has been a significant increase in the amount of explainable Artificial Intelligence (ADI) research [112]. XAI methods are applicable to the recommendation systems, can have field-independent functional organization, and are typically developed for security-critical domains [129]; therefore, they are suitable and have a strong potential to develop risk assessment decision support system based on XAI. They are promising to combine XAI methods in a hybrid way with flexible processing of input data, considering uncertainties when data is inaccurate or incomplete.

Summary of the analysis section

- The existing concepts of risk assessment are analyzed, most of which are based on the classical probability model, stating that risk is some kind of harm multiplied by the probability of occurrence of factors that could cause that harm.
- The main intellectual methods used in the risk assessment are artificial neural networks and fuzzy logic. Artificial neural networks have the advantage of accuracy of results but require a very large amount of data and time to train the model, while fuzzy logic models require expert information but allow dealing with uncertainties and verbal information processing.
- In addition to the basic intellectual methods, risk assessment as well uses questionnaires, scenario-based or holistic methods, granular computing, genetic algorithms, or hybrid combinations of several different methods. On the basis of these methods, a number of proposed systems for risk assessment exist.
- The analysis results of the risk concepts, methods, and systems create conditions to find a niche for a new proposal, considering the existing strengths and weaknesses. In the search for a niche, it is important to clarify the functional organization of the proposed concept and method by identifying and justifying the key priorities.
- The analysis of the risk assessment situation in Lithuania reveals that it is worthwhile to complement the existing scientific work with new research.

RISK ASSESSMENT METHOD

SWOT method enrichment by “computing with words” paradigm

One of the most widely used methods for situation evaluation is the classical SWOT analysis (strengths, weakness, opportunities, and threats) [129]. This method is based on human experience and used for strengths and weaknesses assessment of the investigated situation. In SWOT analysis method, the opportunities and threats are external factors that can cause positive or negative consequences to the situation or project that is investigated; the strengths and weaknesses are internal factors that help or hinder the achievement of the set goals. Four vectors: (1), (2), (3) and (4), are formed from these factors.

$$\vec{Op} = (\{Op_1\}, \dots, \{Op_o\}, \dots, \{Op_O\}), o = 1, \dots, O \quad (1)$$

$$\vec{Th} = (\{Th_1\}, \dots, \{Th_t\}, \dots, \{Th_T\}), t = 1, \dots, T \quad (2)$$

$$\vec{St} = (\{St_1\}, \dots, \{St_s\}, \dots, \{St_S\}), s = 1, \dots, S \quad (3)$$

$$\vec{Wk} = (\{Wk_1\}, \dots, \{Wk_w\}, \dots, \{Wk_W\}), w = 1, \dots, W \quad (4)$$

In order to describe the situation, the experts need to identify SWOT factors and assess their interactions, i.e., how strongly the strengths and weaknesses influence the opportunities and threats. The SWOT evaluation matrix is formed from this quantitative interaction. By using the classical SWOT method, the experts have to assess the impact quantitatively, which is often a complex, inaccurate, and slow process. In order to improve this process, for the first time, the extension of the SWOT method was proposed in this work, which enriches it with the CWW (computing with words) paradigm [130]. A possibility is provided for the experts to assess the influence with a natural language verbal assessment from a defined vocabulary [131] along with the level of certainty. The proposed extension of the classical SWOT method introduces the elements of soft computing and word processing by using fuzzy logic calculations to work with uncertainties. SWOT enriched CWW method model is transparent (“white box” principle): the algorithm for transforming expert-entered verbal estimates into numerical values is open for the verification; thus, the proposed new method can be considered as having features of the explainable artificial intelligence. The SWOT evaluation matrix is displayed in Figure 2.

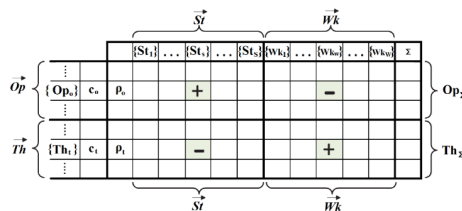


Fig. 2. SWOT evaluation matrix

SWOT element interactions:

1. St_{opst} – the influence of strength **st** on opportunity **op** (increases),
2. Wk_{opwk} – the influence of weakness **wk** on opportunity **op** (decreases),
3. St_{thst} – the influence of strength **st** on threat **th** (decreases),
4. Wk_{thwk} – the influence of weakness **wk** on threat **th** (increases).

The total opportunity Op_{Σ} and total threat Th_{Σ} values are calculated according to formulas (5) and (6).

$$Op_{\Sigma} = \sum_{op=1}^O \{c_o(\rho_o + \sum_{st=1}^S St_{opst} + \sum_{wk=1}^W Wk_{opwk})\} \quad (5)$$

$$Th_{\Sigma} = \sum_{th=1}^T \{c_t(\rho_t + \sum_{st=1}^S St_{thst} + \sum_{wk=1}^W Wk_{thwk})\} \quad (6)$$

Op_{Σ} and Th_{Σ} in the classical SWOT analysis are numerical values that are additionally verbalized by using the proposed method extension. The general structure of the SWOT enriched CWW method is displayed in Figure 3.

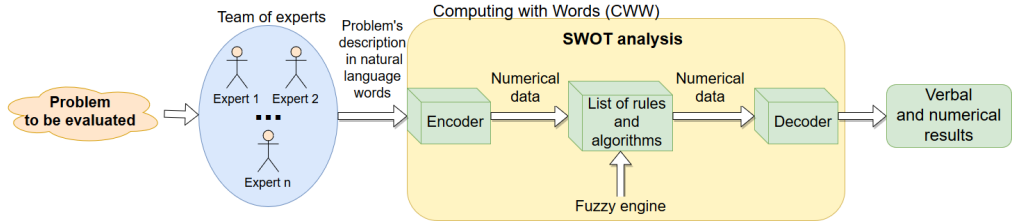


Fig. 3. General structure of the SWOT enriched CWW method

The encoder and decoder transform the input and output data of the SWOT analysis between the numeric and verbal values using fuzzy logic. A predefined vector of verbal estimates (7) is used to verbalize information.

$$\{\vec{a}\} = (\{a_1\}, \dots, \{a_a\}, \dots, \{a_A\}) \quad (7)$$

According to Miller's law, which is widely cited in psychology [132], a person can differentiate up to 7 classifications (with an error of several estimates). In this work, the selected vocabulary is formed of six estimates as presented in (8).

$$\left\{ \begin{array}{l} \{Z\} - Zero \\ \{VS\} - Very Small \\ \{S\} - Small \\ \{M\} - Medium \\ \{L\} - Large \\ \{VL\} - Very Large \end{array} \right. \quad (8)$$

In order to associate the selected vocabulary with numerical values, fuzzy logic terms with triangular certainty functions are utilized with vertices spaced in the range of [0–1], according to the law of square parabola [133]. The interval [0–1] is required for the normalization of values of different dimension. After normalization, all numeric values of the input and output are within this range. Fuzzy logic terms of certainty from the constructed vocabulary are displayed in Figure 4.

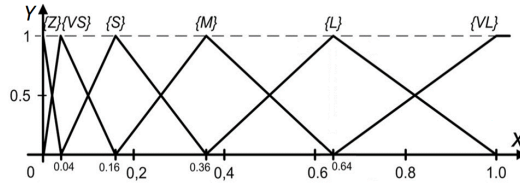


Fig. 4. Fuzzy logic terms of certainty from the constructed vocabulary

The degree of certainty must be assessed in order to calculate the numerical value from a verbal estimate. It has been proposed that the degree of certainty can be assessed in one of three ways:

1. Numerical certainty (range [0–1]),
2. Absolute certainty (100%),
3. Certainty expressed as a verbal estimate from a selected vocabulary.

The verbal results of SWOT analysis are presented with certainties in pessimistic, optimistic, and medium perspectives. These are the results that are used in the next stage.

Fuzzy SWOT maps method

In a real environment, a change in the parameters of one project may affect the results of another related project. For this reason, further extension of the SWOT method is proposed for the analysis of several interconnected projects in a complex environment, combining separate SWOT analyses into a common network where the opportunities and threats of one project can affect the opportunities and threats of another project. In this network, a single SWOT analysis of environment e is a node named SWOT-engine $_e$, as shown in Figure 5.

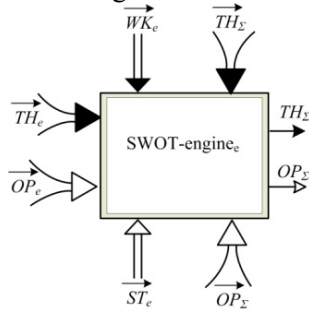


Fig. 5. SWOT-engine

Each environment e has its unique vectors of opportunities $\overrightarrow{Op_e}$, threats $\overrightarrow{Th_e}$, weaknesses $\overrightarrow{Wk_e}$, and strengths $\overrightarrow{St_e}$, which are used as input data for the SWOT-engine $_e$ (vectors that are increasing the results are marked as white arrows and those that decrease the results, as black arrows). The results of the SWOT-engine are the total opportunity and the total threat values for the environment e – $Op_{\Sigma e}$ and $Th_{\Sigma e}$. In order to integrate several isolated SWOT analyses into a common network, two input parameters were added to the SWOT engine: the sizes of opportunities and threats from other related projects, i.e., $\overrightarrow{Op_{\Sigma}}$ or $\overrightarrow{Th_{\Sigma}}$. After introducing the

interrelationships of projects, the total opportunities and threats values are calculated correspondingly to formulas (5) and (6) with the addition of the total opportunity and total threat values from the other related environments, i.e., $Op\Sigma$ and $Th\Sigma$, as shown in formula (9).

$$\begin{cases} Op_{\Sigma e} = \sum_{eop=1}^{eo} \{c_{eo}(\rho_{eo} + \sum_{est=1}^{es} St_{eopst} + \sum_{ewk=1}^{es} Wk_{eopwk})\} + Op\Sigma \\ Th_{\Sigma e} = \sum_{eth=1}^{et} \{c_{et}(\rho_{et} + \sum_{est=1}^{es} St_{ethst} + \sum_{ewk=1}^{es} Wk_{ethwk})\} + Th\Sigma \end{cases} \quad (9)$$

The opportunities of one project can affect the total opportunity value of another project, and the threats can affect the total threat value of another project. In order to establish a connection between the projects, the strength of the connection has to be assessed in one of three ways:

1. Numerical influence strength (range [0–1]),
2. Absolute influence (100%),
3. Verbal influence strength (estimate from the selected vocabulary).

Moreover, the projects can influence each other directly or inversely. Once all the connections are assessed, the total opportunity and threat values can be calculated, which can potentially be outside the range of [0–1]; thus, standardization is required. The coefficients of standardization are introduced in formula (10).

$$k_{Op} = \frac{1}{InfluencesCount_{Op+1}}, k_{Th} = \frac{1}{InfluencesCount_{Th+1}} \quad (10)$$

The total opportunity and threat values are multiplied by these coefficients, thus achieving the final values in the range of [0–1]. The resulting negative value is treated as zero.

The general structure of the SWOT-engine network is based on the fuzzy cognitive maps [134]; therefore, the proposed method is called fuzzy SWOT maps. Fuzzy SWOT maps structure has the characteristics of explainable artificial intelligence, as each node in the network is a white box, it is possible to trace the calculation of the results that have been obtained and check how one project has affected another. Fuzzy SWOT maps is the second stage in the proposed risk assessment method, which calculates the total opportunity and total threat values for the interconnected projects in a pessimistic, optimistic, and medium perspective. The calculated values are used as parameters in the next stage of the proposed risk assessment method.

Risk assessment based on the fuzzy SWOT maps method

A new method for risk assessment in this work is proposed based on Hillson's positive risk theory [4] and the results of risk assessment analysis. A proposed approach states that risk is not only a measure of potentially negative consequences (threats) but a state of uncertainty, in which potentially positive effects exist (opportunities). The proposed risk assessment method is based on the suggested approach that risk is a standardized level of uncertainty in a complex environment, consisting of four interacting components: opportunities, threats, efforts, and uncertainties, as shown in formula (11).

$$R = R (Op\downarrow; Th\uparrow; Eff\uparrow; Hes \uparrow) \quad (11)$$

The components of the formula: threats, the amount of required effort, and uncertainties, increase the risk, while potential opportunities reduce it. In addition to the total opportunity and threat values calculated by the fuzzy SWOT maps, the experts must verbally assess the required efforts and uncertainty values for each project under investigation along with certainty, expressed in absolute, numerical, or verbal form. The experts have to evaluate a list of fuzzy logic rules for risk assessment LoR_R as well. A general structure of the risk assessment components is shown in Figure 6.

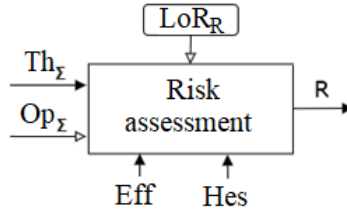


Fig. 6. Risk assessment components

The fuzzy inference rules (IF..., THEN...) for risk assessment LoR_R are an expert-evaluated knowledge base that maps the interaction between the risk and risk parameters. In this map, an expert must assign a verbal risk assessment to all possible combinations of risk parameter verbal estimations, as presented in Table 1.

Table 1. Fuzzy inference rules for risk assessment LoR_R

Rule number	Op	Th	Eff	Hes	R
1	None	None	None	None	α_{R1}
2	None	None	None	Very Small	α_{R2}
...
731	Medium	Small	Very Small	Large	α_{R731}
...
1032	Large	Large	Medium	Very Large	α_{R1032}
...
1295	Very Large	Very Large	Very Large	Large	α_{R1295}
1296	Very Large	Very Large	Very Large	Very Large	α_{R1296}

Thus, α is the expert estimate from a predefined vocabulary (9). The used vocabulary consists of six terms, and the risk is determined by four parameters, resulting in a total set of $6^4 = 1296$ rules [135]. A set of fuzzy logic rules establishes the cause-effect relationships, and since these relationships create a clear link between the risk parameters and predicted values of risk, it could be argued that the risk prediction model has been built based on the principle of explainable artificial intelligence.

The evaluation of such a large number of rules for an expert is a time-consuming and inaccurate process. In order to solve this issue, it has been proposed

to aggregate the risk rules into combinations, allowing the expert to present several verbal estimations in a single record. This aggregated record is transformed into fuzzy inference rules using the Cartesian product. After transformation, a certain part of the fuzzy inference rules list is produced, and the remaining undefined rules are produced in one of three ways: default fill, interpolation, or specific value. The produced fuzzy inference risk rules are used to calculate the results (e.g., IF opportunities = large, threats = small, efforts = medium, and hesitations = small, THEN risk = small), with the resulting values being not absolute, unlike in standard logic, but instead, with a degree of certainty depending on the input parameters. Each of the four risk parameters (if not estimated with absolute certainty) has several verbal estimates with certainty (e.g., “medium” with a certainty of 0.6 and “large” with a certainty of 0.4). All possible combinations of opportunities, threats, efforts, and hesitations of verbal assessment correspond to the specific lines of fuzzy inference rule list of risk assessment. For each matched rule, verbal risk estimate is selected, and certainty is assigned according to the lowest certainty of the verbal estimates of four risk components, as shown in formula (12).

$$\forall i \in \{1, \dots, n\}, [R, \text{certainty}] = \min_certainty(Op[i], Th[i], Eff[i], Hes[i]),$$

where i – rule number (12)

This procedure results in a set of verbal risk estimates with certainty, from which unique verbal estimates with the highest certainty are selected. The selected verbal estimates of risk with certainties are plotted in the fuzzy term graph as shown in Figure 7.

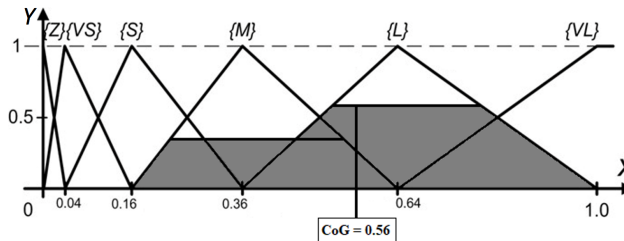


Fig. 7. Final risk calculation by CoG method

The final risk can be calculated using different methods, but the CoG (Center of Gravity) method [133] was chosen in this work due to its simplicity and efficiency (method-related variations have been successfully applied in a number of areas). Using the CoG method, the area of each marked term part and the X coordinate of the midpoint of the upper edge of the geometric figure are calculated, from which the risk result is calculated according to formula (13).

$$Risk = \frac{\sum_{i=1}^R S_i * upper_edge_midpoint_X}{\sum_{i=1}^R S_i} \quad (13)$$

This calculated numerical value of risk, as in the first two stages of the risk assessment method, is verbalized and presented from a pessimistic, optimistic, and medium perspective.

Recommendations based on the calculated risk

The proposed risk assessment method is used for project risk calculation, but the decision support systems that are applicable in the real environment must assess the risks and provide recommendations for the management of assessed risks [140]. The recommendations describe a set of potentially implemented actions, i.e., levers that change the parameters of the situation. The principle of the third step of the risk assessment method that has been proposed in this work can be used as well to generate recommendations based on the calculated project risk values, as presented in Figure 8.

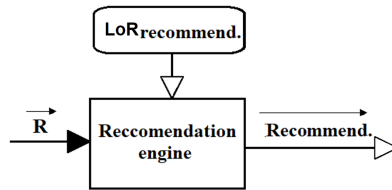


Fig. 8. Recommendation engine

The results of the calculated recommendation leverages can support the decision-makers to develop an action plan for changing the parameters of the projects under investigation, providing feedback and turning the whole system into a closed loop. The final goal of the risk analysis and assessment system is to minimize the calculated risks of the projects to the lowest possible or tolerable values. A general structure of the proposed risk management system is displayed in Figure 9.

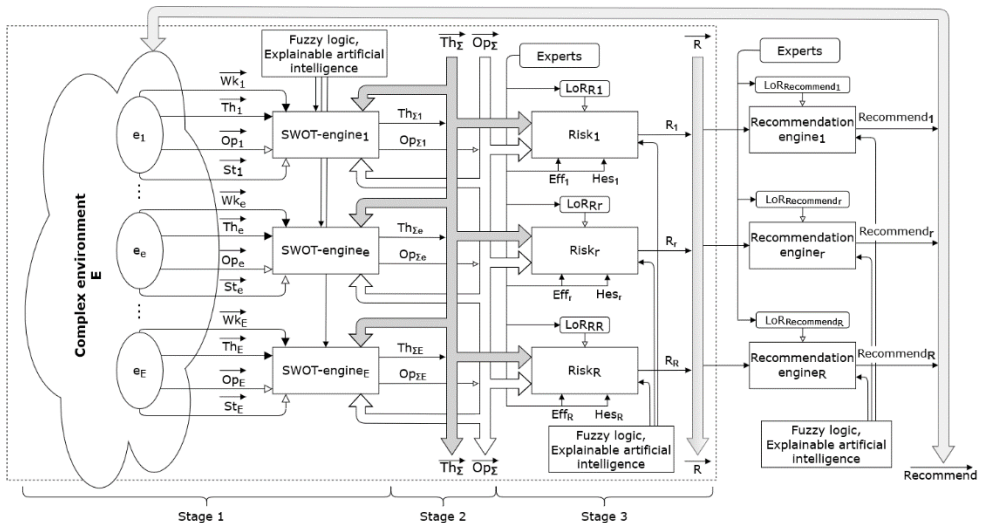


Fig. 9. General structure of the proposed risk management system

The object of this work is the risk analysis and evaluation system based on the explainable artificial intelligence. Figure 1 shows the scope of the proposed system implementation in dotted lines.

Summary of the methods section

- A new method is proposed, combining the classical SWOT analysis method with the CWW paradigm. In the case of classical SWOT analysis, the estimates are expressed in numerical form, which can often be a complex, slow and inaccurate process. The advantage of the proposed new method is the possibility to express the estimates in a human-acceptable verbal expression using the predefined vocabulary and assigning the degree of certainty to the verbal estimate.
- An extension of the SWOT enriched CWW method for assessing the opportunities and threats of several interconnected projects in a complex environment is proposed. The extension is called fuzzy SWOT maps because of its affinity to the structure of fuzzy cognitive maps. According to this method, several interconnected projects in a complex environment form a network, the node of which is an element called the SWOT-engine, which performs the SWOT analysis of a single project. The method enables the evaluation of the mutual dynamics of projects, considering that the results of the SWOT analysis of one project may influence the results of another project.
- A common risk formula is proposed to assess the risks of the projects based on the total opportunity and total threat values obtained from the fuzzy SWOT maps. Two additional parameters must be assessed by the experts: the extent of the effort required to implement the project and the level of uncertainty. The calculation of the risk uses a list of fuzzy inference IF..., THEN... type rules, which define the interdependencies of the risk elements. The experts need to evaluate the most important risk rules combinations, and the undefined rules are filled by average, interpolation, or a specified value. The final amount of risk is calculated using the center of gravity calculation method.
- The results obtained in the SWOT enriched CWW paradigm, fuzzy SWOT maps, and proposed risk evaluation method are presented in numerical and verbal form from optimistic, medium, and pessimistic perspectives.
- Based on the calculated risks, recommendation leverages can be formed to provide additional information to the decision-makers. In the formulation of recommendations, a feedback loop can be introduced to optimize the risks. The optimization can be achieved by adapting the elements of explainable artificial intelligence.

EXPERIMENTAL STUDIES

Experimental study performed on a software tool prototype

In order to validate the proposed method, a software tool prototype was developed to perform the experimental studies for risk assessment of several interconnected projects. The tool was used to examine three interrelated projects situated in a complex environment, i.e., in the city of Palanga. One of the projects (GAS STATION) was analyzed in the article [140] by proposing and validating the addition to the classical SWOT analysis method. The second project (HOTEL) utilized and adapted data from the previous co-authors article [141], in which

classical SWOT analysis was made. In addition to these two projects, the third project (LOBBY) was proposed and validated in the article [139]. All together, these three projects form the experimental study described above, and the results of this study were published in article [142]. The practical value of the results was confirmed through the MTEP project “Sumanių, apsimokančių ir adaptyvių pastatų kompetencijų centras (SAVAS)”.

According to the SWOT method, factors, such as opportunities, threats (external factors), strengths, and weaknesses (internal factors), along with the influences of internal factors on the external factors are identified for each project under investigation. SWOT evaluation matrices are formed for each project using all this data. The second step of the risk assessment approach introduces connections between individual projects. The project connections are represented as a graph using the created tool. The graph of project connections along with the calculated results after 10 iterations is presented in Figure 10.

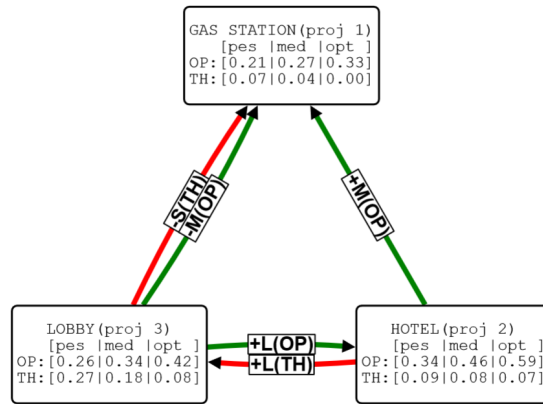


Fig. 10. Projects connections graph with results after 10 iterations

The main picture of the SWOT analysis results after applying the connections (fuzzy SWOT maps) after 10 iterations is shown in Figures 11–13.

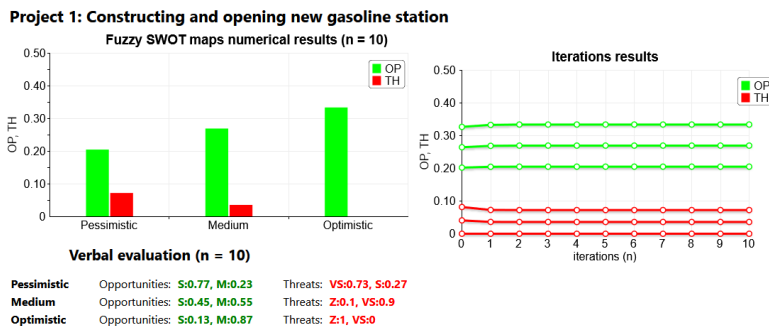


Fig. 11. Project GAS STATION fuzzy SWOT maps analysis results

Project 2: Erection of hotel complex in the area of recreation

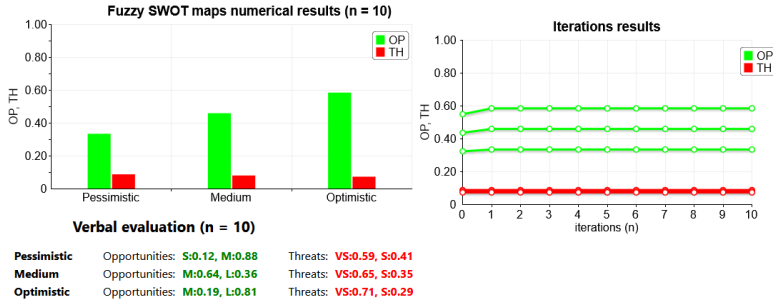


Fig. 12. Project HOTEL fuzzy SWOT maps analysis results

Project 3: Organizing the governmental lobbying

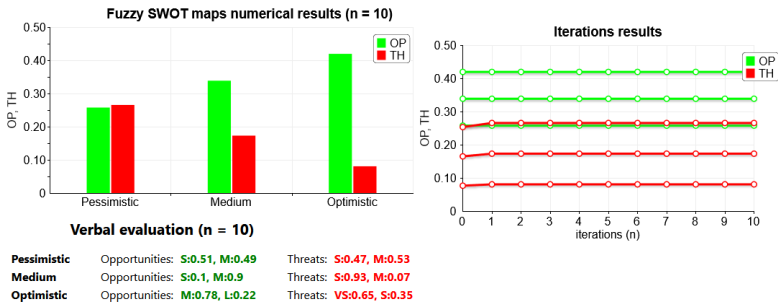


Fig. 13. Project LOBBY fuzzy SWOT maps analysis results

Along with the results of the fuzzy SWOT maps analysis, the assessment of the efforts, uncertainties, and risk rules for each project is required to assess the risks. Only 7–9 risk estimation combinations from project data cover one-third or more of the complete fuzzy logic rule list after the transformation. The remaining undefined risk rules are filled in with the calculated average risk value: the estimates for all four components are weighted and averaged, which is rounded up (if necessary) and treated as a risk evaluation for these undefined rules. The risk results of the projects, calculated according to the estimates of four risk parameters and established risk rules, are shown in Figures 14–16.

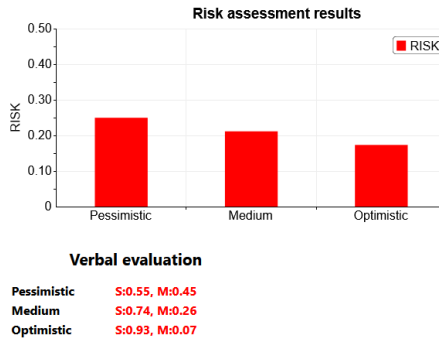


Fig. 14. Project GAS STATION risk evaluation results

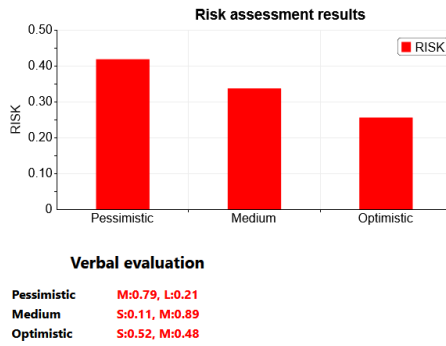


Fig. 15. Project HOTEL risk evaluation results

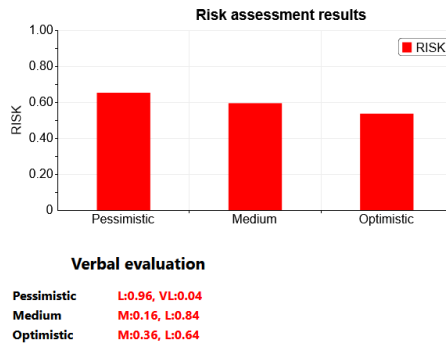


Fig. 16. Project LOBBY risk evaluation results

A summary of the risk assessment results is provided in Table 2.

Table 2. Summary of the risk assessment results [142]

Project	Pessimistic		Medium		Optimistic	
	Verbal	Numerical	Verbal	Numerical	Verbal	Numerical
GAS STATION	S:0.55 M:0.45	0.251	S:0.74 M:0.26	0.213	S:0.93 M:0.07	0.174
HOTEL	M:0.79 L:0.21	0.419	S:0.11 M:0.89	0.338	S:0.52 M:0.48	0.257
LOBBY	L:0.96 VL:0.04	0.654	M:0.16 L:0.84	0.596	M:0.36 L:0.64	0.538

Interpretation of the calculated risk assessment results:

- The calculated risk of the GAS STATION project is relatively low in all three perspectives; thus, it is most likely that the decision-maker would be more inclined to make positive decisions based on such results.
- The calculated risk of the HOTEL project differs between the pessimistic and optimistic perspectives. The decision-maker must assess whether such assessment contains more significant opportunities from an optimistic assessment or more significant threats from the pessimistic assessment.

- The calculated risk of the LOBBY project is relatively high, but due to the internal dynamics of this project, the decision-maker can treat such risk as tolerable when making decisions.

Application of the proposed risk assessment method in the medical diagnosis support system

The applicability of the proposed method was verified in a joint project of Kaunas University of Technology and Lithuanian University of Health Sciences, Clinic of Geriatrics. During the project, the medical diagnostic decision support system “Gerimodis” was developed at the Centre of Real Time Computer Systems of Kaunas University of Technology with the risk assessment method described in this work serving as its core. The system was tested under real-world conditions using data from 83 geriatric patients with varying medical conditions who signed bioethical consent. The system calculated human health risk estimates for several interrelated syndromes, and the results were published in [143].

The “Gerimodis” system estimates the risk of four interrelated syndromes (malnutrition, oropharyngeal dysphagia, dehydration, and eating disorders in dementia) in a geriatric patient. These four syndromes are related to the patient’s eating disorders, which are the most significant determinants of health risk in older individuals, simultaneously affecting co-occurring disorders and presenting new health threats. The connections graph between syndromes is shown in Figure 17.

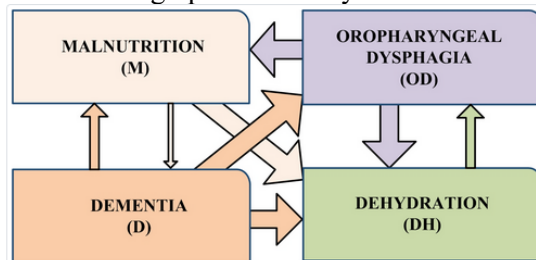


Fig. 17. Geriatric health risk syndrome connections

The arrows in the graph indicate the direction of interaction between the syndromes with the width of the arrow representing the strength of the connection. The risk assessment method proposed in this work was used to calculate the risk associated with each of the four syndromes. The dynamics of the medical diagnosis in geriatric suggest that it is relevant to examine only the emerging health threats; the opportunities are not calculated. The calculated health threats are equated to health risks; thus, only the first two stages of the proposed risk assessment method were used, i.e., SWOT enhanced CWV and fuzzy SWOT maps. In the first stage, only two components were necessary for the SWOT analysis, i.e., threats and weaknesses.

After calculating the total threat values for all four syndromes, the estimates of the syndrome interactions from Figure 17 were applied, and the total threat values of the syndromes were recalculated after one iteration. A vocabulary (17) of four estimates was used to verbalize numerical results.

$$\left\{ \begin{array}{l} \{NONE\} \\ \{LOW\} \\ \{MEDIUM\} \\ \{LARGE\} \end{array} \right. \quad (17)$$

The fuzzy term membership functions of the used vocabulary are arranged by the same law of square parabola [133] that is used in this work. The calculated risk results for the patient’s syndromes are shown in Figure 18.

Results:

Most likely prognoses:

"Oropharyngeal Dysphagia" - "Medium" with certainty of 0.835

"Eating disorders in dementia" - "Low" with certainty of 0.719

"Malnutrition" - "Medium" with certainty of 0.616

"Dehydration" - "Medium" with certainty of 0.613

Conclusion and recommendations: -

Risk Of Geriatric Nutritional Disorders				
	Malnutrition M	Oropharyngeal dysphagia OD	Eating disorders in dementia D	Dehydration DH
Pessimistic prognosis	MEDIUM with certainty of 0.616	MEDIUM with certainty of 0.835	MEDIUM with certainty of 0.281	HIGH with certainty of 0.387
Optimistic prognosis	LOW with certainty of 0.384	LOW with certainty of 0.165	LOW with certainty of 0.719	MEDIUM with certainty of 0.613
Most likely prognosis	MEDIUM with certainty of 0.616	MEDIUM with certainty of 0.835	LOW with certainty of 0.719	MEDIUM with certainty of 0.613

Fig. 18. “Gerimodis” patient syndromes risk results

The results obtained from the “Gerimodis” system were compared with the diagnosis of the residents (without applying the developed medical decision support system): the coincidence reaches 90 percent, which confirms the applicability of the proposed method and validates the effectiveness of the method in practice.

Summary of the experimental studies section

- In order to validate the proposed risk assessment method, a software tool prototype was developed to perform the risk analysis of several interconnected projects in a complex environment.
- The developed tool was used to analyze the risks of three related projects in Palanga city: erection of a hotel complex in the area of recreation, construction and opening of a new gas station, and the organization of government lobbying, using the proposed risk assessment method. The obtained results have been published in several publications and comply with reality: the risk of building a new gas station is low and makes the project feasible; the risk of building a new hotel complex is moderate and makes the project controversial; the risk of organizing a governmental lobby is high, but tolerable in its context; therefore, the project is encouraged to proceed.
- In order to confirm the practical value, the results were approved in the MTEP project “Sumanių, apsimokančių ir adaptyvių pastatų kompetencijų centras (SAVAS)”.

- During the joint project of Kaunas University of Technology and the Clinic of Geriatrics of Lithuanian University of Health Sciences, a medical diagnosis decision support system “Gerimodis” was developed with the risk assessment method described in this work serving as its core. The analysis of real patient health risks was performed and compared with residents’ diagnoses without using the tool. The obtained results were published in an article and validated the effectiveness and applicability of the method.

CONCLUSIONS

1. The existing risk concepts, assessment methods and systems were analyzed. The most commonly accepted probabilistic concept of risk is grounded in the fact that risk is some kind of damage multiplied by the probability of occurrence of factors that may cause that damage. The concept of risk has been formulated based on the conducted analysis and Hillson’s positive risk theory, combining four components: opportunities, threats, uncertainties, and invested efforts.
2. A new domain-independent method of risk assessment in complex environments is proposed, based on the proposed risk concept and situation description from the expert estimates. For the first time, an addition to the classical SWOT analysis method has been proposed for the input of expert data, enabling knowledge to be expressed in natural language words with a degree of certainty, and this improvement has been extended to the analysis of several interrelated situations. The proposed method has the characteristics of explainable artificial intelligence, as the encoding of verbal information into numeric and decoding, as well as the sets of rules determining the results, are “white-box”.
3. A software tool prototype was developed to validate the proposed method by using data from the published articles. Based on the developed model, the research that was conducted using the proposed extension of the SSGG analysis showed that the results differ statistically insignificantly (up to 10 percent) from the same assessment without using the proposed method, and the input of complex data can be several times faster. The risk assessment of three interrelated projects in Palanga city was carried out: construction of a new gas station (low/medium risk), construction of a new hotel complex (low/medium/high risk), and government lobbying organization (high/very high risk). The obtained results historically correlate with reality.
4. In order to confirm the practical value, the obtained results were validated in the MTEP project “Sumanių, apsimokančių ir adaptyvių pastatų kompetencijų centras (SAVAS)”. The core parts of developed method were applied to the newly developed medical diagnosis support system “Gerimodis” during the joint project of Kaunas University of Technology and Lithuanian University of Health Sciences, Clinic of Geriatrics. During

the project, health risk analysis of 83 geriatric patients who have signed bioethics data consent forms was performed. The obtained results were compared with the diagnoses of resident doctors and professionals. Two out of four syndromes had slightly more accurate resident doctors diagnose (89.6% compared to 85.6% and 92.8% compared to 90.4%), while the third had better results using the proposed method (90.4% compared to 86.7%), and for the fourth syndrome, the results using the method were significantly better (87.9% compared to 66.3%). The overall coincidence between the method results and expert diagnoses was 88.6%, and it is nearly five percentage points higher than the accuracy of residents (86.4%). The obtained results confirm the universality of the proposed method across domains and validate the effectiveness of the method in practical problem-solving.

7. LITERATŪRA

- [1] A. Survila, *Nepaprastųjų Situacijų Valdymas: Vadovėlis*, Vilnius: Registrų centras, 2015.
- [2] *International Organization for Standardization*, “*ISO/IEC 27005:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection — Guidance on managing information security risks*”, 2022.
- [3] *International Organization for Standardization*, “*ISO 31000:2018 Risk management – Guidelines*”, 2018.
- [4] D. Hillson, “Extending the risk process to manage opportunities,” *International Journal of Project Management*, vol. 20, no. 3, pp. 235-240, 2002.
- [5] A. Balzekiene, E. Gaule, R. Jasinevicius, E. Kazanavicius and V. Petrauskas, “International Conference on Information and Software Technologies,” in *Risk evaluation: the paradigm and tools*, Druskininkai, Lithuania, 2015.
- [6] C. C. Jaeger, T. Webler, E. A. Rosa and O. R. , *Risk, Uncertainty and Rational Action*, London: Routledge, 2001.
- [7] R. E. Kasperson and J. X. Kasperson, “The social amplification and attenuation of risk,” *The annals of the American academy of political and social science*, vol. 545, no. 1, pp. 95-105, 1996.
- [8] J. Ingvarson, „Is standardization of risk desirable?“, įtraukta *6th Society for Risk Analysis Europe Nordic Chapter*, Kaunas, 2020.
- [9] E. A. Crouch and R. Wilson, *Risk/benefit analysis*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982.
- [10] W. W. Lowrance, *Of acceptable risk: Science and the determination of safety*, Los Altos, CA: William Kaufman Inc., 1976.
- [11] S. Kaplan and B. J. Garrick, “On the quantitative definition of risk,” *Risk analysis*, vol. 1, no. 1, pp. 11-27, 1981.
- [12] M. Dolce, A. Kappos, G. Zuccaro and A. W. Coburn, “Proceedings of the 10th European conference on earthquake engineering,” in *Report of the EAEE Working Group 3: Vulnerabilities and risk analysis*, 1994.
- [13] P. L. Clemens, “Comments on the MIL-STD-882D example risk assessment matrix,” *Journal of System Safety*, vol. 36, no. 2, pp. 20-24, 2000.
- [14] *International Electrotechnical Commission*, *Risk management-Vocabulary-Guidelines for use in standards*, *International Organization for Standardization (ISO)*, 2002.
- [15] N. Luhmann, R. Barrell, N. Stehr and G. Bechmann, *Risk: a sociological theory*, Boca Raton, FL: Routledge, 2017.
- [16] J. Y. Campbell and L. M. Viceira, “The term structure of the risk-returned trade-off,” *Financial Analysts Journal*, vol. 61, no. 1, pp. 34-44, 2005.
- [17] E. A. Rosa, “Metatheoretical foundations for post-normal risk,” *Journal of*

- risk research*, vol. 1, no. 1, pp. 15-44, 1998.
- [18] D. Crichton, *Natural Disaster Management: A Presentation to Commemorate the International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR) 1990-2000*, J. Ingleton, Ed., Leicester: Tudor Rose, 1999.
- [19] E. J. Henley and H. Kumamoto, *Probabilistic risk assessment and management for engineers and scientists*, Piscataway, NJ: IEEE Press (2nd Edition), 1996.
- [20] T. Aven and O. Renn, "On risk defined as an event where the outcome is uncertain," *Journal of risk research*, vol. 12, no. 1, pp. 1-11, 2009.
- [21] P. Hopkin, *Fundamentals of risk management: understanding, evaluating and implementing effective risk management*, London: Kogan Page Publishers, 2018.
- [22] P. G. Moore and P. G. Moore, *The business of risk*, Cambridge, MA: Cambridge university press, 1983.
- [23] A. Damodaran, "Equity risk premiums (ERP): determinants, estimation and implications – A Post-Crisis Update," *Financial Markets, Institutions and Instruments*, vol. 18, no. 5, pp. 289-370, 2009.
- [24] T. Aven, "On some recent definitions and analysis frameworks for risk, vulnerability, and resilience," *Risk Analysis: An International Journal*, vol. 31, no. 4, pp. 515-522, 2011.
- [25] N. Miheyeva, "Dynamics Of The Development Of 'Risk' Notion In The Psychological Science And Its Interdisciplinary Discourse," *Social and Natural Sciences Journal*, vol. 5, 2012.
- [26] B. Babić, "Identification and Definition of Risk, Threats and Disasters," in *Disaster Risk Management in the Western Balkans*, Novi Sad, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, 2020.
- [27] M. Bourrier and C. Bieder, *Risk Communication for the Future: Towards Smart Risk Governance and Safety Management*, Cham: Springer Nature, 2018, p. 175.
- [28] S. C. Wang, "Interdisciplinary computing in java programming," in *Artificial neural network*, Boston, MA, USA, 2003.
- [29] N. Paltrinieri, L. Comfort and G. Reniers, "Learning about risk: Machine learning for risk assessment," *Safety science*, vol. 118, pp. 475-486, 2019.
- [30] A. Khashman, "Neural networks for credit risk evaluation: Investigation of different neural models and learning schemes," *Expert Systems with Applications*, vol. 7, no. 9, pp. 6233-6239, 2010.
- [31] R. Kishore and T. Kaur, "Backpropagation algorithm: an artificial neural network approach for pattern recognition," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 3, no. 6, pp. 6-9, 2012.
- [32] Z. Ma, W. Hou and D. Zhang, "A credit risk assessment model of borrowers in P2P lending based on BP neural network," *PLoS One*, vol. 16, no. 8, 2021.

- [33] W. Guo, "Safety risk assessment of tourism management system based on PSO-BP neural network," *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2021.
- [34] W. Fu, H. Zhang and F. Huang, "Internet-based supply chain financing-oriented risk assessment using BP neural network and SVM," *PLoS One*, vol. 17, no. 1, 2022.
- [35] J. H. Wu, W. Wei, L. Zhang, J. Wang, R. Damaševičius, J. Li, H. D. Wang, G. L. Wang, X. Zhang, J. X. Yuan and M. Woźniak, "Risk assessment of hypertension in steel workers based on LVQ and fisher-SVM deep excavation," *Ieee Access* 7, vol. 7, pp. 23109-23119, 2019.
- [36] A. Sperduti and A. Starita, "Supervised neural networks for the classification of structures," *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 8, no. 3, pp. 714-735, 1997.
- [37] W. Qiao, "E-Commerce across Boarder Logistics Risk Evaluation Model Based on Improved Neural Network," *Journal of Function Spaces*, 2022.
- [38] L. Kaikkonen, T. Parviainen, M. Rahikainen, L. Uusitalo and A. Lehtikainen, "Bayesian Networks in Environmental Risk Assessment: A Review," *Integrated Environmental Assessment and Management*, vol. 17, no. 1, pp. 62-78, 2020.
- [39] S. J. Moe, J. F. Carriger and M. Glendell, "Increased use of Bayesian network models has improved environmental risk assessments," *Integrated environmental assessment and management*, vol. 17, no. 1, pp. 53-61, 2021.
- [40] Y. Song and Z. Wei, "Quality Risk Management Algorithm for Cold Storage Construction Based on Bayesian Networks," *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022.
- [41] G. Wang and Y. Chen, "Enabling Legal Risk Management Model for International Corporation with Deep Learning and Self Data Mining," *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022.
- [42] X. Xu, "Risk factor analysis combined with deep learning in the risk assessment of overseas investment of enterprises," *PLoS One*, vol. 15, no. 10, 2020.
- [43] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets," *Information and Control*, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [44] F. A. Ahmad Shukri and Z. Isa, "Experts' Judgment-Based Mamdani-Type Decision System for Risk Assessment," *Mathematical Problems in Engineering*, 2021.
- [45] J. Minglin and H. Ren, "Risk Priority Evaluation for Power Transformer Parts Based on Intuitionistic Fuzzy Preference Selection Index Method," *Mathematical Problems in Engineering*, 2022.
- [46] F. Chiclana, F. Mata, L. G. Pérez and E. Herrera-Viedma, "Type-1 OWA unbalanced fuzzy linguistic aggregation methodology: application to eurobonds credit risk evaluation," *International Journal of Intelligent*

Systems, vol. 33, no. 5, pp. 1071-1088, 2018.

- [47] A. Wójcicka-Wójtowicz and K. Piasecki, "Application of the Oriented Fuzzy Numbers in Credit Risk Assessment," *Mathematics*, vol. 9, no. 5, 2021.
- [48] J. Liu, L. Martínez, H. Wang, R. M. Rodríguez and V. Novozhilov, "Computing with words in risk assessment," *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 3, no. 4, pp. 396-419, 2010.
- [49] R. Olawoyin, "Risk and reliability evaluation of gas connector systems using fuzzy theory and expert elicitation," *Cogent Engineering*, vol. 4, no. 1, 2021.
- [50] M. A. Roghabadi and O. Moselhi, "A fuzzy-based decision support model for risk maturity evaluation of construction organizations," *Algorithms*, vol. 13, no. 5, 2020.
- [51] A. F. Shapiro and M. C. Koissi, "Fuzzy logic modifications of the analytic hierarchy process," *Insurance: Mathematics and Economics*, vol. 75, pp. 189-202, 2017.
- [52] K. Yu, "Risk Evaluation of the New Fintech Institutions in China Based on Fuzzy Analytical Hierarchy Process," *Mathematical Problems in Engineering*, 2022.
- [53] M. R. Ismail, M. Sun and G. Bowles, "A risk-oriented tender evaluation system for construction projects in Malaysia," *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2020.
- [54] D. H. Stamatis, *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*, Quality Press, 2003.
- [55] A. Mascia, A. M. Cirafici, A. Bongiovanni, G. Colotti, G. Lacerra, M. Di Carlo, F. A. Digilio, G. L. Liguori, A. Lanati and A. Kisslinger, "A failure mode and effect analysis (FMEA)-based approach for risk assessment of scientific processes in non-regulated research laboratories," *Accreditation and Quality Assurance*, vol. 25, no. 5, pp. 311-321, 2020.
- [56] K. H. Chang, "A New Emergency-Risk-Evaluation Approach under Spherical Fuzzy-Information Environments," *Axioms*, vol. 11, no. 9, 2022.
- [57] Z. T. Kosztyán, T. Csizmadia, Z. Kovács and I. Mihálcz, "Total risk evaluation framework," *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2020.
- [58] L. A. Shah, A. Etienne, A. Siadat and F. Vernadat, "Process-oriented risk assessment methodology for manufacturing process evaluation," *International Journal of Production Research*, vol. 55, no. 15, pp. 4516-4529, 2017.
- [59] H. Zhao, Z. Li and R. Zhou, "Risk assessment method combining complex networks with MCDA for multi-facility risk chain and coupling in UUS," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 119, 2022.
- [60] L. Liu, J. Zhou, H. Dong, Y. Tao, Y. Wu and Y. Wang, "Investment risk assessment of dispersed wind power in low wind speed area using a hybrid multi-criteria decision-making approach based on hesitant fuzzy linguistic

- environment," *Mathematical Problems in Engineering*, 2020.
- [61] W. Li, B. Li, R. Fang, P. You, Y. Zou, Z. Xu and S. Guo, "Risk Evaluation of Electric Power Grid Enterprise Related to Electricity Transmission and Distribution Tariff Regulation Employing a Hybrid MCDM Model," *Mathematics*, vol. 9, no. 9, 2021.
- [62] M. Rezaei and N. Borjalilu, "A dynamic risk assessment modeling based on fuzzy ANP for safety management systems," *Aviation*, vol. 22, no. 4, pp. 143-155, 2018.
- [63] J. Jiang, G. Liu, X. Huang and X. Ou, "Risk Assessment of Constructing Deep Foundation Pits for Metro Stations Based on Fuzzy Evidence Reasoning and Two-tuple Linguistic Analytic Network Process," *Shock and Vibration*, 2022.
- [64] C. Tian, H. Li, S. Tian and F. Tian, "Risk Assessment of Safety Management Audit Based on Fuzzy TOPSIS Method," *Mathematical Problems in Engineering*, 2020.
- [65] X. Ziquan, Y. Jiaqi, M. H. Naseem and X. Zuquan, "Occupational Health and Safety Risk Assessment of Cruise Ship Construction Based on Improved Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Decision Model," *Mathematical Problems in Engineering*, 2021.
- [66] T. Gebrehiwet and H. Luo, "Risk level evaluation on construction project lifecycle using fuzzy comprehensive evaluation and TOPSIS," *Symmetry*, vol. 11, no. 1, 2018.
- [67] H. D. Nguyen and L. Macchion, "A comprehensive risk assessment model based on a fuzzy synthetic evaluation approach for green building projects: the case of Vietnam," *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2022.
- [68] H. Pervez, Y. Ali, D. Pamucar, M. G. Fodor and Á. C. Kocsir, "Evaluation of critical risk factors in the implementation of modular construction," *PLoS One*, vol. 17, no. 8, 2022.
- [69] Y. Guo, X. Meng, D. Wang, T. Meng, S. Lie and R. He, "Comprehensive risk evaluation of long-distance oil and gas transportation pipelines using a fuzzy Petri net model," *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol. 33, pp. 18-29, 2016.
- [70] R. X. Nie, Z. P. Tian, X. K. Wang, J. Q. Wang and T. L. Wang, "Risk evaluation by FMEA of supercritical water gasification system using multi-granular linguistic distribution assessment," *Knowledge-Based Systems*, vol. 162, pp. 185-201, 2018.
- [71] T. K. Moon, "The expectation-maximization algorithm," *IEEE Signal processing magazine*, vol. 13, no. 6, pp. 47-60, 1996.
- [72] D. Li, C. Liu and W. Gan, "A new cognitive model: Cloudmodel," *International journal of intelligent systems*, vol. 24, no. 3, pp. 357-375, 2009.
- [73] X. L. Yang, J. H. Ding and H. Hou, "Application of a triangular fuzzy AHP

- approach for flood risk evaluation and response measures analysis," *Natural hazards*, vol. 68, no. 2, pp. 657-674, 2013.
- [74] G. Žigienė, E. Rybakovas and R. Alzbutas, "Artificial intelligence based commercial risk management framework for SMEs," *Sustainability*, vol. 11, no. 16, 2019.
- [75] F. Zhu, H. Hu and F. Xu, "Risk assessment model for international construction projects considering risk interdependence using the DEMATEL method," *PLoS One*, vol. 17, no. 5, 2022.
- [76] X. Chen and Y. Deng, "An Evidential Software Risk Evaluation Model," *Mathematics*, vol. 10, no. 3, 2022.
- [77] G. I. Korshunov, E. I. Kabanov and M. Cehlar, "Occupational Risk Management In a Mining Enterprise With the Aid of an Improved Matrix Method for Risk Assessment," *Acta Montanistica Slovaca*, vol. 25, no. 3, 2020.
- [78] H. Seo, J. Shin, K. H. Kim, C. Lim and J. Bae, "Driving Risk Assessment Using Non-Negative Matrix Factorization With Driving Behavior Records," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2022.
- [79] L. Du and J. Gao, "Risk and Income Evaluation Decision Model of PPP Project," *Mathematical Problems in Engineering*, 2021.
- [80] Y. Tang, J. Shu, W. Li, Y. He, Y. Yang and P. Sun, "Quantitative risk evaluation model of the multilevel complex structure hierarchical system in the petrochemical industry," *Mathematical Problems in Engineering*, 2019.
- [81] X.-K. Wang, Y.-T. Wang, J.-Q. Wang, P.-F. Cheng and L. Li, "A TODIM-PROMETHEE II Based Multi-Criteria Group Decision Making Method for Risk Evaluation of Water Resource Carrying Capacity under Probabilistic Linguistic Z-Number Circumstances," *Mathematics*, vol. 8, no. 7, 2020.
- [82] Z. Yan and Y. Wang, "Developing a Subway Fire Risk Assessment Model Based on Analysis Theory," *Mathematical Problems in Engineering*, 2021.
- [83] Y. Zhong, H. Li and L. Chen, "Construction project risk prediction model," *PLoS One*, vol. 16, no. 2, 2021.
- [84] X. Peng and H. Huang, "Fuzzy decision making method based on CoCoSo with critic for financial risk evaluation," *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 26, no. 4, pp. 695-724, 2020.
- [85] H.-y. Zhang and T. Pan, "Public Health Risk Assessment and Prevention Based on Big Data," *Journal of Environmental and Public Health*, 2022.
- [86] D. L. Alvarez, D. F. Rodriguez, A. Cardenas, F. F. da Silva, C. L. Bak, R. García and S. Rivera, "Optimal decision making in electrical systems using an asset risk management framework," *Energies*, vol. 14, no. 16, 2021.
- [87] Z. Y. Abba, N. Balta-Ozkan and P. Hart, "A holistic risk management framework for renewable energy investments," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 160, 2022.

- [88] Y. Li, L. Wu, Y. Sun and M. Lian, "Risk Decision-Making of Multiobjective Chaos Search in Construction Projects considering Loss Level and Probability Level," *Mathematical Problems in Engineering*, 2022.
- [89] Z. Chen, T. Chen, Z. Qu, Z. Yang, X. Ji, Y. Zhou and H. Zhang, "Use of evidential reasoning and AHP to assess regional industrial safety," *PLoS One*, vol. 13, no. 5, 2018.
- [90] B. Liang, S. Zhang, D. Li, Y. Zhai, F. Wang, L. Shi and Y. Wang, "Safety Risk Evaluation of Construction Site Based on Unascertained Measure and Analytic Hierarchy Process," *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2021.
- [91] M. Abdel-Basset, M. Gunasekaran, M. Mohamed and N. Chilamkurti, "A framework for risk assessment, management and evaluation: Economic tool for quantifying risks in supply chain," *Future Generation Computer Systems*, vol. 90, no. 1, pp. 489-502, 2019.
- [92] M. L. Carreño, O. D. Cardona and A. H. Barbat, "New methodology for urban seismic risk assessment from a holistic perspective," *Bulletin of earthquake engineering*, vol. 10, no. 2, pp. 547-565, 2012.
- [93] C. L. Cummings and J. Kuzma, "Societal risk evaluation scheme (SRES): Scenario-based multi-criteria evaluation of synthetic biology applications," *PLoS One*, vol. 12, no. 1, 2017.
- [94] R. Wang and J. F. Ziegel, "Scenario-based risk evaluation," *Finance and stochastics*, vol. 25, no. 4, pp. 725-756, 2021.
- [95] C. J. de Vos, W. H. Hennen, H. J. van Roermund, S. Dhollander, E. A. Fischer and A. A. de Koeijer, "Assessing the introduction risk of vector-borne animal diseases for the Netherlands using MINTRISK: A Model for INTeGrated RISK assessment," *PLoS One*, vol. 16, no. 11, 2021.
- [96] G. Zigiene, E. Rybakovas and R. Vaitkiene, "Challenges in Applying Artificial Intelligence for Supply Chain Risk Management," *International Journal of Economics & Business Administration (IJEBA)*, vol. 8, no. 4, pp. 299-318, 2020.
- [97] J. Li, F. Wu, J. Li and Y. Zhao, "Research on risk evaluation of transnational power networking projects based on the matter-element extension theory and granular computing," *Energies*, vol. 10, no. 10, 2017.
- [98] R. Chen, Y. Lu and Y. Wang, "Genetic Algorithm Application on the Risk Assessment for Accounting Resource Sharing Management," *Mathematical Problems in Engineering*, 2022.
- [99] M. Marchand, J. Buurman, A. Pribadi and A. Kurniawan, "Damage and casualties modeling as part of a vulnerability assessment for tsunami hazards: a case study from Aceh, Indonesia," *Journal of Flood Risk Management*, vol. 2, no. 2, pp. 120-131, 2009.
- [100] B. Zou, D. Sun, J. Mu and Z. Xu, "Comprehensive risk evaluation in the long-term operation of urban subway based on multiple indices," *Mathematical Problems in Engineering*, 2021.

- [101] N. Chen, L. Chen, C. Tang, Z. Wu and A. Chen, "Disaster risk evaluation using factor analysis: a case study of Chinese regions," *Natural Hazards*, vol. 99, no. 1, pp. 321-335, 2019.
- [102] X. Liu and M. Zeng, "Renewable energy investment risk evaluation model based on system dynamics," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 73, pp. 782-788, 2017.
- [103] M. Yang, "Risk Management of Prefabricated Building Construction Based on Fuzzy Neural Network," *Scientific Programming*, 2022.
- [104] S. Kabir and Y. Papadopoulos, "Applications of Bayesian networks and Petri nets in safety, reliability, and risk assessments: A review," *Safety science*, vol. 115, pp. 154-175, 2019.
- [105] M. T. D. Albuquerque, S. Gerassis, C. Sierra, J. Taboada, J. E. Martin, I. M. H. R. Antunes and J. L. R. Gallego, "Developing a new Bayesian Risk Index for risk evaluation of soil contamination," *Science of the Total Environment*, vol. 603, pp. 167-177, 2017.
- [106] M. Gul, M. Yucesan and M. F. Ak, "Control measure prioritization in Fine-Kinney-based risk assessment: a Bayesian BWM-Fuzzy VIKOR combined approach in an oil station," *Environmental Science and Pollution Research*, pp. 1-18, 2022.
- [107] L. Guan, Q. Liu, A. Abbasi and M. J. Ryan, "Developing a comprehensive risk assessment model based on fuzzy Bayesian belief network (FBBN)," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 26, no. 7, pp. 614-634, 2020.
- [108] K. Chatterjee, E. K. Zavadskas, J. Tamošaitienė, K. Adhikary and S. Kar, "A hybrid MCDM technique for risk management in construction projects," *Symmetry*, vol. 10, no. 2, 2018.
- [109] I. Jonek-Kowalska and T. L. Nawrocki, "Holistic fuzzy evaluation of operational risk in polish mining enterprises in a," *Resources Policy*, vol. 63, 2019.
- [110] M. L. Carreño, O. D. Cardona and A. H. Barbat, "Urban seismic risk evaluation: a holistic approach," *Natural Hazards*, vol. 40, no. 1, pp. 137-172, 2007.
- [111] P. Z. Lappas and A. N. Yannacopoulos, "A machine learning approach combining expert knowledge with genetic algorithms in feature selection for credit risk assessment," *Applied Soft Computing*, vol. 107, 2021.
- [112] D. Gunning and D. Aha, "DARPA's explainable artificial intelligence (XAI) program," *AI magazine*, vol. 40, no. 2, pp. 44-58, 2019.
- [113] M. R. Islam, M. U. Ahmed, S. Barua and S. Begum, "A systematic review of explainable artificial intelligence in terms of different application domain and tasks," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 3, 2022.
- [114] I. Ubartė, "Daugiakriterė sprendimų paramos ir rekomendacijų sistema sveikam ir saugiam būstui užstatytoje aplinkoje vertinti," 2017.

- [115] R. Vageris, *Rizikos analizės vadovas*, Vilnius: Vaga, 2005.
- [116] V. Dubra and J. Abromas, "Flood risk and planning of recreational territories in the Akmena-Danė river basin of western Lithuania," *Journal of architecture and urbanism*, vol. 36, no. 2, pp. 99-106, 2012.
- [117] A. Telešienė, A. Balžekienė and A. Budžytė, "COVID-19 rizikos suvokimas ir socialiniai daugikliai Lietuvoje," *Filosofija. Sociologija*, vol. 32, no. 2, pp. 95-104, 2021.
- [118] J. Guščinskienė and J. Čiburienė, "Rizikos šiuolaikiniame aukštajame moksle," *Šiuolaikinės visuomenės ugdymo veiksniai*, vol. 4, pp. 11-24, 2019.
- [119] D. Vitkus, "Research on automated knowledge base generation methods of information security risk analysis expert systems," Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, 2022.
- [120] L. Rapolienė, "Integrali gyvensenos ir psichoemocinės būklės lemiamą sveikatos riziką, jos vertinimas ir prevencija," Vilniaus universitetas, Vilnius, 2017.
- [121] R. Jevsejev, "Information technology risk assessment methods and improvement solutions," *Science: Future of Lithuania*, vol. 12, 2020.
- [122] A. Kanopka, "Investicijų į atsinaujinančių išteklių energetiką rizikų vertinimas ir valdymas suinteresuotų šalių aspektu," Mykolo Romerio universitetas, Kaunas, 2015.
- [123] I. Blaževičė, "Bendruomenių atsparumo sukūrimams socioekonominis modelis," Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, 2021.
- [124] A. Kabašinskas, K. Šutienė and E. Valakevičius, "The risk–return profile of Lithuanian private pension funds," *Economic research-Ekonomska istraživanja*, vol. 30, no. 1, pp. 1611-1629, 2017.
- [125] A. Barkauskaitė, "Rizikos vertinimu grįstos bendros Europos Sąjungos indėlių draudimo sistemos tyrimas Lietuvoje," Kaunas, 2016.
- [126] R. Benetytė, "Įmonių inovacijų investicijų intensyvumas ir rizika šalies tvarumo kontekste," 2020.
- [127] A. Lakstutiene, A. Barkauskaite and J. Witkowska, "The importance of systemic risk assessment in a risk-based common European Union deposit insurance system: case of Lithuania," *Economic research-Ekonomska istraživanja*, vol. 31, no. 1, pp. 73-86, 2018.
- [128] E. Bareikaitė and R. Martinkutė-Kaulienė, "Liquidity risk and its management in Lithuanian banking system," *Mokslas–Lietuvos ateitis/Science–Future of Lithuania*, vol. 6, no. 1, pp. 61-71, 2014.
- [129] M. Doshier, O. Benepe, A. Humprey, R. Stewart and B. Lie, *The SWOT analysis method*, Mento Park, CA: Stanford Research Institute, 1960.
- [130] S. H. Rubin, "Computing with words," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, vol. 29, no. 4, pp. 518-524, 1999.
- [131] L. A. Zadeh, "The concept of a linguistic variable and its application to

- approximate reasoning,” *Information Sciences*, vol. 8, no. 3, pp. 199-249, 1975.
- [132] G. A. Miller, “The magical number of seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information,” *Psychological review*, vol. 63, no. 2, pp. 81-97, 1956.
- [133] R. Jasinevičius and V. Petrauskas, *Sprendimų pagrindimo kompiuterizavimas*, Kauno technologijos universitetas, Kaunas: Technologija, 2011.
- [134] B. Kosko, “Fuzzy cognitive maps,” *International journal of man-machine studies*, vol. 24, no. 1, pp. 65-75, 1986.
- [135] L. A. Zadeh, “Fuzzy logic and approximate reasoning,” *Synthese*, vol. 30, no. 3, pp. 407-428, 1975.
- [136] J. M. Alonso, “International Workshop on Fuzzy Logic and Applications,” in *From Zadeh's computing with words towards explainable artificial intelligence*, Cham, 2018.
- [137] V. Petrauskas, R. Jasinevicius, E. Kazanavicius and Z. Meskauskas, "The Paradigm of an Explainable Artificial Intelligence (XAI) and Data Science (DS)-Based Decision Support System (DSS)," in *Data Science in Applications*, Cham, Springer International Publishing, 2023, pp. 167-209.
- [138] R. Jasinevicius and V. Petrauskas, “ISCS 2013: Interdisciplinary Symposium on Complex Systems,” in *On fundamentals of global systems control science (GSCS)*, Berlin, Heidelberg, 2014.
- [139] Z. Meskauskas, R. Jasinevicius, E. Kazanavicius and V. Petrauskas, “XAI-based fuzzy SWOT maps for analysis of complex systems,” in *2020 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, Glasgow, United Kingdom, 2020.
- [140] V. Petrauskas, R. Jasinevicius, E. Kazanavicius and Z. Meskauskas, “CWW elements to enrich SWOT analysis,” *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 34, no. 1, pp. 307-320, 2018.
- [141] R. Jasinevicius and V. Petrauskas, “Dynamic SWOT Analysis as a Tool for Environmentalists,” *Environmental Research, Engineering & Management*, vol. 43, no. 1, 2008.
- [142] Z. Meskauskas and E. Kazanavicius, “About the New Methodology and XAI-Based Software Toolkit for Risk Assessment,” *Sustainability*, vol. 14, no. 9, 2022.
- [143] V. Petrauskas, R. Jasinevicius, G. Damuleviciene, A. Liutkevicius, A. Janaviciute, V. Lesauskaite, J. Knasiene, Z. Meskauskas, J. Dovydaitis, V. Kazanavicius and R. Bitinaite-Paskeviciene, “Explainable artificial intelligence-based decision support system for accessing the nutrition-related geriatric syndromes,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 24, 2021.

8. STRAIPSNĪŲ IR MOKSLINIŲ KONFERENCIJŲ SĄRAŠAS

Straipsniai, publikuoti Clarivate Analytics Web of Science pagrindinio sąrašo leidiniuose

Z. Meskauskas, E. Kazanavicius, “About The New Methodology and XAI-Based Software Toolkit for Risk Assessment,” *Sustainability*, vol. 14, no. 9, 2022. doi: 10.3390/su14095496.

V. Petrauskas, R. Jasinevicius, G. Damuleviciene, A. Liutkevicius, A. Janaviciute, V. Lesauskaite, J. Knasiene, Z. Meskauskas, J. Dovydaitis, V. Kazanavicius, R. Bitinaite-Paskeviciene, “Explainable Artificial Intelligence-Based Decision Support System for Assessing the Nutrition-Related Geriatric Syndromes,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 24, 2021. doi: 10.3390/app112411763.

V. Petrauskas, R. Jasinevicius, E. Kazanavicius, and Z. Meskauskas, “CWW elements to enrich SWOT analysis,” *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 34, no. 1, pp. 307-320, 2018. doi: 10.3233/JIFS-171280.

Publikacijos konferencijose

Z. Meskauskas. “XAI-Based fuzzy risk management methodology for analysis of complex systems,” in *World Symposium on Artificial Intelligence (WSAI) 2021*, Guangzhou, China, 2021.

Z. Meskauskas, R. Jasinevicius, E. Kazanavicius, and V. Petrauskas. “XAI-based fuzzy SWOT maps for analysis of complex systems,” in *2020 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, Glasgow, United Kingdom, 2020.

Ž. Meškauskas. “CWW enhanced fuzzy SWOT evaluation for risk analysis and decision making under uncertainty,” in *CEUR workshop proceedings: IVUS 2019 international conference on information technologies: proceedings of the international conference on information technologies*, Kaunas, Lithuania, 2019.

Knygos skyrius, indeksuojamas SCOPUS duomenų bazėje ir svarstomas įtraukti į Clarivate Analytics Web of Science indeksavimą

V. Petrauskas, R. Jasinevicius, E. Kazanavicius, and Z. Meskauskas, “The Paradigm of an Explainable Artificial Intelligence (XAI) and Data Science (DS)-Based Decision Support System (DSS),” in *Data Science in Applications*, Cham, Springer International Publishing, 2023, pp. 167-209.

Straipsniai, publikuoti kituose moksliniuose leidiniuose

V. Petrauskas, G. Damuleviciene, A. Dobrovolskis, J. Dovydaitis, A. Janaviciute, R. Jasinevicius, E. Kazanavicius, J. Knasiene, V. Lesauskaite, A. Liutkevicius, Z. Meskauskas, “XAI-based medical decision support system model,” *International journal of scientific and research publications. New Delhi: IJSRP Inc.*, vol. 10, no. 12, pp. 598-607, 2020. doi: 10.29322/IJSRP.10.12.2020.p10869.

V. Petrauskas, R. Jasinevicius, E. Kazanavicius, Z. Meskauskas, "Concept of a System Using a Dynamic SWOT Analysis Network for Fuzzy Control of Risk in Complex Environments," *Mathematics and Computer Science*, vol. 5, no. 2, pp. 42-55, 2020. doi: 10.11648/j.mcs.20200502.11.

9. INFORMACIJA APIE AUTORIŲ

Asmeninė informacija

Žygimantas Meškauskas

Gimimo vieta: Kaunas, Lietuva

Gimimo data: 1991 m. lapkričio 15 d.

El. pašto adresas: zygimantas.meskauskas@ktu.lt

Institucija

Kauno technologijos universitetas

Realaus laiko kompiuterių sistemų centras

K. Baršausko g. 59, A314, LT-51423, Kaunas, Lietuva

Išsilavinimas

2018–2022	Informatikos inžinerijos mokslo krypties doktorantūros studijos Kauno technologijos universiteto, Informatikos fakulteto Kompiuterių katedroje, Kaunas, Lietuva.
2014–2016	Igytas informatikos inžinerijos magistro kvalifikacinis laipsnis Kauno technologijos universiteto, Informatikos fakulteto Kompiuterių katedroje, Kaunas, Lietuva.
2010–2014	Igytas informatikos inžinerijos bakalauro kvalifikacinis laipsnis Kauno technologijos universiteto, Informatikos fakulteto Kompiuterių katedroje, Kaunas, Lietuva.

Moksliniai interesai

Sprendimų priėmimo paramos sistemos (angl. *Decision Support Systems*),

Aiškintinis dirbtinis intelektas (angl. *Explainable Artificial Intelligence*),

Miglotoji logika ir lanksčioji kompiuterija (angl. *Fuzzy Logic and Soft Computing*),

Ekspertinės sistemos (angl. *Expert Systems*),

Rizikų vertinimo ir valdymo tyrimai.

10. PRIEDAI

10.1. Programinio įrankio prototipo funkciniai reikalavimai

1. Sistema turi leisti naudotojams kurti naujus projektus.
2. Sistema turi leisti naudotojams išsaugoti projektus duomenų bazėje.
3. Sistema turi leisti naudotojams įkelti išsaugotus projektus.
4. Sistema turi leisti naudotojams keisti projektų duomenis.
5. Sistema turi leisti naudotojams įvesti projektams naujus duomenis.
6. Sistema turi leisti naudotojams peržiūrėti projektų rezultatus.
7. Sistemoje neturi būti galimybės naudotojams trinti projektus.
8. Sistema turi suteikti naudotojui galimybę perjungti tarp anglų ir lietuvių kalbų naudotojo sąsajoje paspaudus tam skirtą mygtuką, dėl šios priežasties turi būti atnaujinta visa naudotojo sąsaja parinktai kalbai.

10.2. Programinio įrankio prototipo nefunkciniai reikalavimai

1. Sistema turi būti prieinama naudotojui naudojant bet kurią plačiai paplitusią naršyklę ir interneto ryšį.
2. Sistemos naudotojui turi nereikėti įrašinėti papildomos programinės įrangos.
3. Sistema turi būti atspari programinės įrangos klaidoms, laikiniams tinklo sutrikimams ir nenuostoti veikti.
4. Sistemos našumas turi būti pakankamas sklandžiai veikti esant didesniai kiekiui projektų.
5. Komunikacija tarp naudotojo ir sistemos turi būti kuo greitesnė, išnaudojant duomenų podėliavimo galimybes.
6. Sistemos architektūra turi būti lanksti praplėtimui ir pakeitimams.
7. Sistemos komponentai turi būti parinkti tokie, kad jų palaikomumas nesukeltų problemų sistemos veikimui.
8. Sistemos kodo kokybė turi užtikrinti palaikomumą ir ilgaamžiškumą.
9. Sistemos sąsaja turi būti lengvai suprantama ir patogi naudojimui.
10. Sistemos naudotojai turi turėti galimybę gauti pagalbą atsiradus problemoms.

10.3. Programinio įrankio prototipo panaudos atvejų scenarijai

Kuriamas programinio įrankio prototipas apsiriboja vienu aktoriumi – naudotoju, atliekančiu veiksmus sistemoje, kurių scenarijai pateikti 28 lentelėje.

28 lentelė. Kuriamo programinio įrankio prototipo panaudos atvejų scenarijai

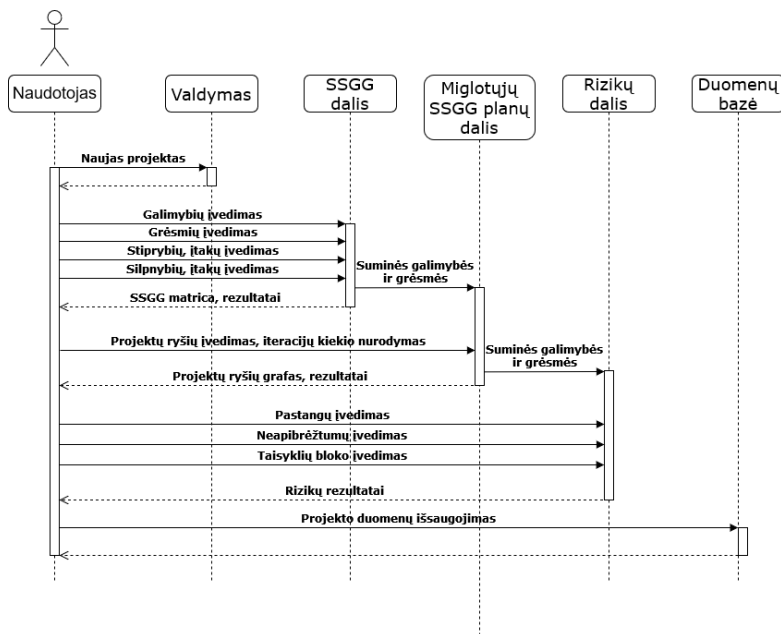
Aktorius	Panaudojimo atvejis	Scenarijus
Naudotojas	Naujo projekto sukūrimas	1. Naudotojas sistemos pagrindiniame lange tam skirtuose laukuose įveda naujo projekto antraštę, datą ir akronimą. 2. Naudotojas spaudžia „Išsaugoti projektą“.

	<p>3. Sistema išsaugo naują projektą duomenų bazėje.</p> <p>4. Naudotojui pranešama apie sėkmingą projekto duomenų išsaugojimą.</p>
Projekto SSGG parametrų įvedimas	<p>1. Naudotojas sistemos šoniniame meniu „Žodinės įvestys“ grupėje pasirenka norimą pridėti SSGG parametą.</p> <p>2. Naudotojas įveda SSGG parametro duomenis ir spaudžia pridėjimo mygtuką.</p> <p>3. Naudotojui pranešama apie sėkmingą projekto SSGG parametro pridėjimą.</p>
Projekto SSGG įtakų įvedimas	<p>1. Naudotojas sistemos šoniniame meniu „Žodinės įvestys“ grupėje pasirenka „Stiprybės“ arba „Silpnybės“.</p> <p>2. Naudotojas parenka įvestą stiprybę ar silpnybę darančią įtaką.</p> <p>3. Naudotojas parenka įvestą galimybę ar grėsmę, kuriai įtaka yra daroma.</p> <p>4. Naudotojas įveda įtakos duomenis ir spaudžia pridėjimo mygtuką.</p> <p>5. Naudotojui pranešama apie sėkmingą SSGG įtakos pridėjimą.</p>
Projekto SSGG duomenų peržiūra	<p>1. Naudotojas sistemos šoniniame meniu „Sąrašai“ grupėje pasirenka norimą peržiūrėti SSGG parametrų sąrašą arba įvertinimo lentelę.</p> <p>2. Naudotojui pateikiami SSGG parametrų sąrašai arba įvertinimo lentelė, pavaizduojantys įvestus duomenis.</p>
Projekto miglotųjų SSGG planų ryšių įvedimas	<p>1. Naudotojas sistemos šoniniame meniu pasirenka meniu punktą „Ryšiai“.</p> <p>2. Naudotojas pasirenka projekto ryšio duomenis ir spaudžia pridėjimo mygtuką.</p> <p>3. Naudotojui pranešama apie sėkmingą miglotųjų SSGG planų ryšio pridėjimą.</p> <p>4. Naudotojas gali matyti visus įvestus ryšius lentele ir grafiniu pavidalu.</p>
Projekto rezultatų peržiūra	<p>1. Naudotojas sistemos šoniniame meniu pasirenka meniu punktą „Skaitiniai ir žodiniai rezultatai“.</p> <p>2. Naudotojas pasirenka norimą pavaizduoti iteracijų kiekį.</p> <p>3. Naudotojui pateikiami visų projektų rezultatai skaitiniu bei žodiniu pavidalu, taip pat grafikais, rodančiais paskutinę iteraciją ir rezultatų kitimą iteracijose pesimistine, vidutine bei optimistine</p>

		perspektyvomis.
	Projekto rizikos parametru įvedimas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Naudotojas sistemos šoniniame meniu „Rizika“ grupėje pasirenka norimą pridėti rizikos parametru. 2. Naudotojas įveda rizikos parametro duomenis ir spaudžia pridėjimo mygtuką. 3. Naudotojui pranešama apie sėkmingą projekto rizikos parametro pridėjimą.
	Projekto rizikos taisyklių įvedimas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Naudotojas sistemos šoniniame meniu „Rizika“ grupėje pasirenka meniu punktą „Taisyklių blokas“. 2. Naudotojas po vieną įveda rizikos taisyklių duomenis ir spaudžia pridėjimo mygtuką. 3. Įvedęs visas norimas taisykles naudotojas pasirenka, kaip užpildyti nenumatytas taisykles.
	Projekto rizikos rezultatų peržiūra	<ol style="list-style-type: none"> 1. Naudotojas sistemos šoniniame meniu „Rizika“ grupėje pasirenka meniu punktą „Skaitiniai ir žodiniai rezultatai“. 2. Naudotojui pateikiami projekto rizikos rezultatai skaitiniu bei žodiniu pavidalu, taip pat grafiku pesimistine, vidutine ir optimistine perspektyvomis.

10.4. Programinio įrankio prototipo veiksmų sekos diagrama

Rizikoms vertinti naudotojas vieną po kito atlieka veiksmų seka. Naudotojo atliekami veiksmai – naujo projekto kūrimas, duomenų, reikalingų kiekvienam metodo žingsniui, įvedimas (SSGG analizė → miglotieji SSGG planai → rizikų vertinimas) ir projekto duomenų saugojimas. Apibendrinta veiksmų sekos diagrama parodyta 46 paveiksle.

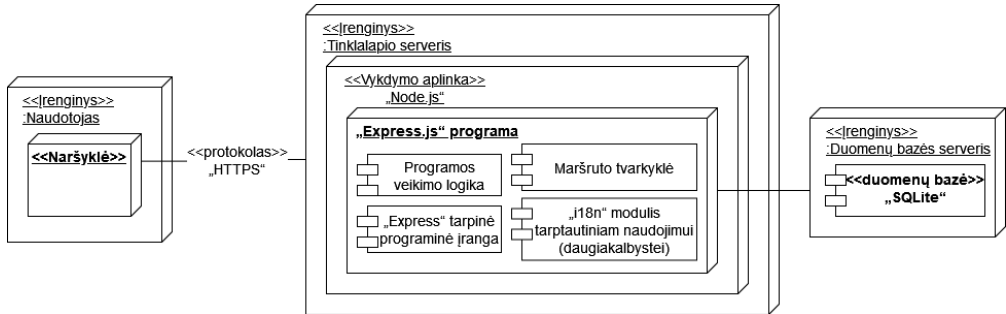


46 pav. Apibendrinta įrankio veiksmų sekos diagrama

Naudotojui sukūrus naują projektą, duomenų įvedimas gali būti vykdomas pasirinkta tvarka. SSGG dalyje rezultatai skaičiuojami iš įvestų galimybių, grėsmių, stiprybių, silpnųjų ir įtakų, pagal sudarytą SSGG matricą. Naudotojas gali įvesti tik dalį SSGG parametrų, iš kurių sudaroma SSGG matrica ir pateikiami rezultatai, dalyvaujantys tolesniame metodo žingsnyje – miglotųjų SSGG planų dalyje. Iš SSGG matricos suskaičiuotus suminių galimybių ir grėsmių dydžius panaudojant miglotųjų SSGG planų dalies suminių galimybių ir grėsmių dydžių skaičiavimui, naudotojas turi įvesti ryšių su kitais projektais informaciją ir nurodyti iteracijų kiekį, reikalingą šios dalies rezultatų skaičiavimui. Ryšių su kitais projektais informacija neprivalo būti galutinė, kaip ir SSGG dalyje. Tai naudinga lygiagrečiai pildant kelių susijusių projektų duomenis ir miglotųjų SSGG planų dalyje laipsniškai vertinant projektų tarpusavio įtakas, nustatant ryšius ir stebint tarpinius rezultatus. Prie turimų miglotųjų SSGG planų dalies rezultatų naudotojui papildomai įvedus pastangų, neapibrėžtumų dydžius ir rizikos taisykles, apskaičiuojamos galutinės projekto rizikų vertės. Rizikų dalies žingsnyje, kaip ir ankstesniuose, neprivaloma įvesti visos galutinės informacijos, kad būtų galima stebėti rezultatus. Tarpinių rezultatų stebėjimas gali suteikti papildomų išvalgų ir paskatinti persvarstyti įvedamus duomenis. Naudotojo atliekami veiksmai neprivalo būti vykdomi nuosekliai visiems trims metodo žingsniams, tačiau, kuo daugiau duomenų įvedama ankstesniuose žingsniuose, tuo tiksliau apskaičiuojami galutiniai rizikos vertinimo rezultatai. Naudotojas kurti naujus projektus ir saugoti įvestus projektų duomenis gali bet kuriuo metu.

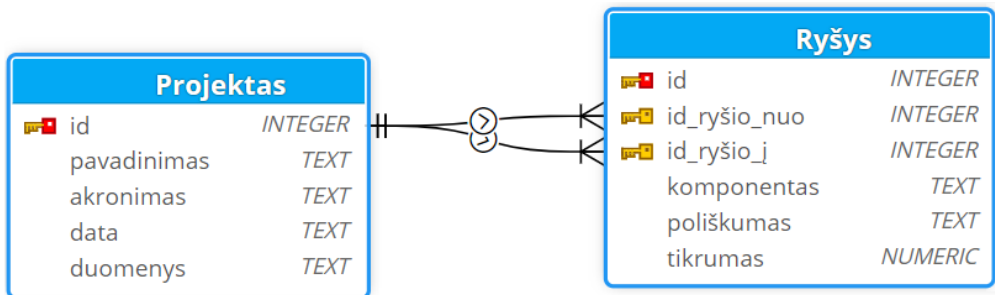
10.5. Programinio įrankio prototipo architektūra

Pasiūlyto rizikų vertinimo metodo programinės įrangos įrankio prototipo, komponentų diagrama parodyta 47 paveiksle.



47 pav. Sukurto programinio įrankio prototipo komponentų diagrama

Tam, kad nebūtų priklausomybės nuo naudojamo įrenginio operacinės sistemos, įrankis kuriamas ne kaip programa, o kaip tinklalapis, naudotojo pasiekiamas tinkle „HTTPS“ protokolu per įrenginyje esančią naršyklę. Kliento pusėje naudojamos technologijos „HTML5“ (puslapio turinio formavimui), „CSS“ (puslapio stilizavimui) ir „JavaScript“ (dinaminiam puslapio turinio programavimui). Pasirinktos atvirojo kodo „JavaScript“ bibliotekos: „jQuery“ HTML puslapio manipuliacijoms, „RGraph“ grafikų piešimui ir „Cytoscape.js“ projektų ryšių grafo atvaizdavimui. Puslapių stiliai aprašomi „CSS“ kalba, nenaudojant jokių išorinių bibliotekų. Kliento pusėje įrankio našumas didinamas podėliuojant duomenis, reikalingus rezultatų atvaizdavimui, išnaudojant naršyklės teikiamą „localStorage“ funkcionalumą (daroma mažiau kreipinių į serverį). Serverio pusės programinis kodas rašomas „Node.js“ kalba, panaudojant „Express“ modulį tinklalapio sukūrimui ir „i18n“ modulį daugiakalbystei (įrankis suprogramuotas lietuvių ir anglų kalbomis). Tarp kliento ir serverio komunikacija vyksta taikant „AJAX“ asinchroninio komunikavimo technologiją. Dėl suderinamumo su „Node.js“ technologija, savo paprastumo ir lengvasvoriškumo įrankiui parinkta naudoti „SQLite“ duomenų bazę. Įrankio duomenų bazę sudaro dvi lentelės. Duomenų bazės fizinio modelio schema parodyta 48 paveiksle.



48 pav. Programinio įrankio duomenų bazės fizinio modelio schema

Duomenų bazės projektų lentelėje saugoma kliento sukurtų rizikų vertinimo projektų informacija. Kiekvienas projektas turi savo unikalų skaitinį identifikatorių, tekstinį projekto pavadinimą, tekstinį projekto akronimą (trumpinį), sukūrimo ar paskutinio redagavimo datą, išsaugotą tekstiniu pavidalu ir įvestus duomenis, išsaugotus tekstiniu pavidalu. Naudotojo įvesta projektų ryšių informacija išsaugoma kitoje duomenų bazės lentelėje. Kiekvienam ryšiui, kaip ir projektui, priskiriamas unikalus skaitinis identifikatorius – pirminis raktas. Ryšį tarp projektų apibrėžia du skaitiniai identifikatoriai – projektų, tarp kurių įvestas ryšys, unikalūs identifikatoriai „*id_ryšio_nuo*“ ir „*id_ryšio_į*“, kurie yra susieti su duomenų bazės „*Projektas*“ lentele nuorodos raktu. Ryšių lentelėje tekstiniu pavidalu saugoma informacija ar ryšys, siejamas tarp projektų suminių galimybių ar tarp suminių grėsmių, taip pat tiesioginis arba atvirkštinis poliškumas. Skaitiniu pavidalu intervale [0–100] saugomas ryšio tikrumo dydis, nusakantis ryšio stiprumą. Įrankis kuriamas taip, kad būtų galima naudoti tiek skaitinį, tiek absoliutųjį, tiek žodinį tikrumą, įvedant ryšį, todėl duomenų bazės projektų ryšių lentelėje šis skaitmuo gali viršyti intervalo [0–100] viršutinę ribą, tai reiškia, jog išsaugotas vienas iš žodinio tikrumo įverčių.

Kiekvieno projekto duomenys saugomi tekstiniu JSON pavidalu (atributas–reikšmė poromis) ir naudojami rizikų vertinimo skaičiavimams. Projektui saugomų duomenų parametrai pateikti 29 lentelėje.

29 lentelė. Programinio įrankio duomenų bazėje saugomų projekto duomenų struktūra

Parametras	Tipas	Paskirtis
Galimybių kiekis	Skaitmuo	Projektui įvertintų galimybių kiekis
Grėsmių kiekis	Skaitmuo	Projektui įvertintų grėsmių kiekis
Stiprybių kiekis	Skaitmuo	Projektui įvertintų stiprybių kiekis
Silpnybių kiekis	Skaitmuo	Projektui įvertintų silpnybių kiekis
Galimybių pavadinimai	Tekstinių reikšmių masyvas	Projektui įvertintų galimybių pavadinimų sąrašas
Galimybių akronimai	Tekstinių reikšmių masyvas	Projektui įvertintų galimybių akronimų sąrašas
Grėsmių pavadinimai	Tekstinių reikšmių masyvas	Projektui įvertintų grėsmių pavadinimų sąrašas
Grėsmių akronimai	Tekstinių reikšmių masyvas	Projektui įvertintų grėsmių akronimų sąrašas
Stiprybių pavadinimai	Tekstinių reikšmių masyvas	Projektui įvertintų stiprybių pavadinimų sąrašas
Stiprybių akronimai	Tekstinių reikšmių masyvas	Projektui įvertintų stiprybių akronimų sąrašas
Silpnybių pavadinimai	Tekstinių reikšmių masyvas	Projektui įvertintų silpnybių pavadinimų sąrašas
Silpnybių akronimai	Tekstinių reikšmių masyvas	Projektui įvertintų silpnybių akronimų sąrašas
Galimybių svarbos laipsniai	Skaitinių reikšmių matrica	Projektui įvertintų galimybių svarbos laipsniai pesimistine, vidutine ir optimistine perspektyvomis
Galimybių tikrumo laipsniai	Skaitinių reikšmių matrica	Projektui įvertintų galimybių tikrumo laipsniai pesimistine, vidutine ir optimistine perspektyvomis
Grėsmių svarbos laipsniai	Skaitinių reikšmių matrica	Projektui įvertintų grėsmių svarbos laipsniai pesimistine, vidutine ir optimistine perspektyvomis
Grėsmių tikrumo laipsniai	Skaitinių reikšmių matrica	Projektui įvertintų grėsmių tikrumo laipsniai pesimistine, vidutine ir optimistine perspektyvomis
Stiprybių įtakos galimybėms	Skaitinių reikšmių matrica	Projektui įvertintų stiprybių įtakos galimybėms pesimistine, vidutine ir optimistine perspektyvomis
Stiprybių įtakos grėsmėms	Skaitinių reikšmių matrica	Projektui įvertintų stiprybių įtakos grėsmėms pesimistine, vidutine ir optimistine perspektyvomis
Silpnybių įtakos	Skaitinių reikšmių	Projektui įvertintų silpnybių įtakos

galimybės	matrica	galimybės pesimistine, vidutine ir optimistine perspektyvomis
Silpnųjų įtakos grėsmėms	Skaitinių reikšmių matrica	Projektui įvertintų silpnųjų įtakos grėsmėms pesimistine, vidutine ir optimistine perspektyvomis
Pastangų dydis	Skaitinių reikšmių masyvas	Projekto grėsmių suvaldymui įdėti reikiamų pastangų dydis pesimistine, vidutine ir optimistine perspektyvomis
Neapibrėžtumų dydis	Skaitinių reikšmių masyvas	Projekto rezultatus veikiančių neapibrėžtumų dydis pesimistine, vidutine ir optimistine perspektyvomis

10.6. Programinio įrankio prototipo dizainas

Kuriamas programinio įrankio prototipas turi naudoti grafinę sąsają, tačiau pagal iškeltus funkcinis reikalavimus nuspręsta nenaudoti išorinių bibliotekų ir viską stilizuoti aprašant stilius paprastomis CSS taisyklėmis. Grafiniai komponentai – įvedimo laukai, mygtukai, pasirinkimo elementai, lentelės turi naudoti minimalų stilizavimą ir spalvų paletę, paprastam ir našiam veikimui neturi būti animacijų.

UDK 004.8+004.413.4](043.3)

SL 344. 2023-05-15, 15 leidyb. apsk. I. Tiražas 14 egz. Užsakymas 82.
Išleido Kauno technologijos universitetas, K. Donelaičio g. 73, LT-44249 Kaunas
Spausdino leidyklos „Technologija“ spaustuvė, Studentų g. 54, LT-51424 Kaunas