

VILNIAUS UNIVERSITETAS

IRINA VINOGRADOVA

NUOTOLINIŲ KURSŲ PARINKIMO OPTIMIZAVIMAS

Daktaro disertacija

Fiziniai mokslai, informatika (09 P)

Vilnius, 2015

Disertacija rengta 2010–2014 metais Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos institute.

Mokslinis vadovas – prof. habil. dr. Jonas Mockus (Vilniaus universitetas, fiziniai mokslai, informatika – 09 P).

Padėka

Nuoširdžiai dėkoju moksliniam vadovui prof. habil. dr. Jonui Mockui už atkaklų ir nuoseklų vadovavimą, mokslines konsultacijas ir kantrybę rengiant disertaciją. Dėkoju doc. dr. Jevgenijui Kurilovui už suteiktas mokslines konsultacijas bei palaikymą per doktorantūros studijas, už patarimus ir pasiūlymus bei nuolatinį skatinimą tobulėti, Matematikos ir informatikos instituto direktoriui prof. habil. dr. Gintautui Dzemydai už visokeriopą paramą doktorantūros studijų metu, VU Matematikos ir informatikos instituto Sistemų analizės skyriaus darbuotojams bei doktorantams už bendradarbiavimą, pagalbą ir supratimą, disertacijos recenzentams prof. habil. dr. Leonidui Sakalauskui bei prof. dr. Valentinai Dagienei, atidžiai perskaičiusiems disertaciją ir pateikusiems vertingų patarimų bei pastabų.

Irina Vinogradova

Santrauka

Kokybiškas išsilavinimas turi didelę reikšmę visuomenės kultūriniam ir socialiniam vystymuisi, ekonomikos, verslo ir gamybos plėtrai, tolesnei mokslo pažangai. Studijų ir mokslo raidai teigiamą įtaką turėjo naujųjų informacinių technologijų atsiradimas, suteikęs galimybę greitai rasti ir perduoti norimą informaciją. Tradicinės mokymo formos palaipsniui buvo papildomos naujosiomis informacinėmis technologijomis, atnaujinamos arba keičiamos lankstesnėmis. Galimybė studijuoti patogiu laiku ir patogioje vietoje nulėmė naujosios nuotolinių studijų formos atsiradimą.

Tačiau informacijos gausa ir jos prieinamumas savaime negarantuoja studijų kokybės. Šiame darbe sprendžiama nuotolinių studijų kursų kokybės vertinimo problema. Paprastai nuotolinių studijų kursų kokybės vertinimas atliekamas atitinkamos srities ekspertų, turinčių specialių konkrečios srities žinių ir įgūdžių. Pasikeitus ekspertų grupės sudėčiai, sumažėjus arba padidėjus jų skaičiui, pakartojus vertinimą, rezultatai būna skirtingi. Neapibrėžtumo šaltinis yra ekspertų nuomonių subjektyvumas. Jo poveikis vertinamas skirtingais būdais, taikant neraiškiųjų skaičių teorijos bei matematinės statistikos metodus.

Darbe siūloma kompleksinė nuotolinių studijų kursų kokybės vertinimo metodika, paremta Bajeso ir stabiliojo daugiakriterio sprendimo priėmimo metodo (MCDM) taikymu. Metodika suteikia galimybę į nuotolinių kursų vertinimą įtraukti įvairių veiklos sričių asmenis, suinteresuotus aukšta kurso kokybe: dėstytojus, studentus, nuotolinių studijų centro darbuotojus ir mokymo įstaigos administraciją. Toks daugiapusis požiūris atspindi įvairius kurso dalyvių interesus, leidžia tobulinti kursą, atsižvelgiant į jų įverčius ir pastabas.

Metodikoje taikomas Bajeso metodas panaudoja visą sukauptą patirtį, t. y. visą istorinę informaciją apie kursų vertinimą, sujungiant ją su konkrečia eksperto patirtimi ir nuojauta. Apriorinei informacijai ir eksperto paklaidai aprašyti taikomi trikampio ir Gauso skirstiniai. Eksperto nuotolinių studijų kursų kokybės įvertį patikslina aposteriorinė vidurkio funkcija. Darbe atliktas kurso

vertinimo priklausomybės nuo sukauptos universiteto patirties ir eksperto kvalifikacijos tyrimas. Jo metu buvo stebima, kuris iš taikomų skirstinių derinių yra tinkamiausias.

Kitas nuotolinių studijų kurso kokybės vertinimas yra atliekamas taikant stabilųjį MCDM metodą. Darbe pasiūlytas algoritmas MCDM metodų stabilumui vertinti. Metodas laikomas stabilu, kai, nežymiai pakeitus pradinis ekspertų įverčius, mažai pasikeičia šiuo metodu gauti rezultatai. Nuotolinių mokymosi kursų kokybei vertinti taikomi tiesinės skaliarizacijos, SAW, TOPSIS, PROMETHEE, COPRAS, MOORA metodai.

Taikomuose MCDM metoduose kiekvieno kokybės kriterijaus įtaka yra skirtinga, todėl darbe nustatomas kriterijų svarbumas, t. y. skaičiuojami jų svoriai. Šiame darbe kriterijų svoriams nustatyti pasiūlytas naujas neraiškiųjų skaičių porinio palyginimo matricos sudarymo būdas, atsižvelgiantis į nepriklausomų grupės ekspertų nuomones. Darbe kriterijų svoriams perskaičiuoti siūloma taikyti Bajeso metodą. Perskaičiavimas atliekamas, kai sprendimą priimančys ekspertai nori atsižvelgti į kitų ekspertų grupių nuomonę.

Paveikslų sąrašas

1 PAV. PILNOSIOS TIKIMYBĖS GEOMETRINĖ INTERPRETACIJA	39
2 PAV. TOLYGIOJO SKIRSTINIO TANKIO GRAFIKAS	41
3 PAV. NORMALIOJO (GAUSO) SKIRSTINIO TANKIO GRAFIKAS	42
4 PAV. TRIKAMPIO TANKIO FUNKCIJOS GRAFIKAS	43
5 PAV. APRIORINIO TOLYGIOJO IR EKSPERTŲ TRIKAMPIO SKIRSTINIŲ GRAFIKAS	47
6 PAV. APRIORINIO TOLYGIOJO IR EKSPERTŲ GAUSO SKIRSTINIŲ GRAFIKAS	49
7 PAV. TRIKAMPIO APRIORINIS ($\mu=6$, $k=1$) IR EKSPERTO SĄLYGINIS SKIRSTINIAI	52
8 PAV. VIDURKIO FUNKCIJOS GRAFIKAS, KAI APRIORINIO TRIKAMPIO SKIRSTINIO PARAMETRAI $\mu=6$, $A=1$, $B=10$ IR SĄLYGINIS TRIKAMPIO SKIRSTINYS SU PAKLAIDA $k=1$	53
9 PAV. VIDURKIO FUNKCIJOS GRAFIKAS, KAI APRIORINIO TRIKAMPIO SKIRSTINIO PARAMETRAI $\mu=8,3$, $A=1$, $B=10$ IR SĄLYGINIO TRIKAMPIO SKIRSTINIO PAKLAIDA $k=1$	54
10 PAV. APRIORINIO GAUSO IR EKSPERTŲ SIMETRINIO TRIKAMPIO SKIRSTINIŲ GRAFIKAS	55
11 PAV. VIDURKIO FUNKCIJOS GRAFIKAS, KAI APRIORINIO GAUSO SKIRSTINIO PARAMETRAI $\mu=5$, $\sigma=1$ IR SĄLYGINIS TRIKAMPIO SKIRSTINYS SU PAKLAIDA $k=1$	56
12 PAV. VIDURKIO FUNKCIJOS GRAFIKAS, KAI APRIORINIO GAUSO SKIRSTINIO PARAMETRAI $\mu=8,3$, $\sigma=1$ IR SĄLYGINIS TRIKAMPIO SKIRSTINYS SU PAKLAIDA $k=1$	57
13 PAV. APRIORINIO GAUSO ($\mu=5$, $\sigma=1$) IR EKSPERTŲ GAUSO ($k=1$) SKIRSTINIŲ GRAFIKAS	58
14 PAV. VIDURKIO FUNKCIJOS GRAFIKAS, KAI APRIORINIO GAUSO SKIRSTINIO PARAMETRAI $\mu=8,3$, $\sigma=1$ IR SĄLYGINĖS GAUSO TANKIO FUNKCIJOS PAKLAIDA $k=1$	59
15 PAV. KURSO VIDUTINIO ĮVERČIO SKAIČIAVIMO REZULTATAI, KAI $\mu=7,3$, $\sigma=1$, $k=1$	61
16 PAV. ĮPRASTO KRITERIJAUŠ PRIORITETŲ FUNKCIJOS GRAFIKAS	68
17 PAV. U PAVIDALO KRITERIJAUŠ PRIORITETŲ FUNKCIJOS GRAFIKAS	68

18 PAV. V PAVIDALO (TIESINIO PRIORITETIŠKUMO) KRITERIJAUŠ PRIORITETŲ FUNKCIJOS GRAFIKAS	68
19 PAV. LAIPTINIO KRITERIJAUŠ PRIORITETŲ FUNKCIJOS GRAFIKAS	68
20 PAV. V PAVIDALO SU IDENTIŠKUMO SRITIMI KRITERIJAUŠ PRIORITETŲ FUNKCIJOS GRAFIKAS	68
21 PAV. GAUSO KRITERIJAUŠ PRIORITETŲ FUNKCIJOS GRAFIKAS	68
22 PAV. TRIKAMPIO PRIKLAUSYMO FUNKCIJOS GRAFIKAS	76
23 PAV. TRAPECIJOS PRIKLAUSYMO FUNKCIJOS GRAFIKAS	77
24 PAV. GAUSO PRIKLAUSYMO FUNKCIJOS GRAFIKAS	77
25 PAV. $V(N_2 \geq N_1)$ REIŠMĖ	78
26 PAV. DAUGIAKRITERIŲ METODŲ STABILUMO PATIKRINIMO ALGORITMAS	84
27 PAV. PIRMOJO IR ANTROJO VERTINIMO ETAPŲ $F_{vid}(X)$ SKIRTINGOS KVALIFIKACIJOS EKSPERTŲ GRAFIKAI	99
28 PAV. TREČIOJO VERTINIMO ETAPO $F_{vid}(X)$ SKIRTINGOS KVALIFIKACIJOS EKSPERTŲ GRAFIKAI	100
29 PAV. X ĮVERČIŲ VIDURKIŲ GRAFIKAI	101
30 PAV. GRAFIŠKAI PAVAIZDUOTI VERTINIMO REZULTATAI, PRITAIKIUS BAJESO METODĄ	103
31 PAV. ĮVERČIŲ, VERTINANT PAGAL KOKYBĖS KRITERIJUS, VIDURKIŲ GRAFIKAI	105
32 PAV. SAW METODO VERTINIMO REZULTATAI, KAI KRITERIJŲ SVORIAI NUSTATYTI AHP METODU	109
33 PAV. SAW METODO REZULTATAI, KAI KRITERIJŲ SVORIAI NUSTATYTI AHPF METODU	110
34 PAV. TOPSIS METODO REZULTATAI, KAI KRITERIJŲ SVORIAI NUSTATYTI AHP METODU	111
35 PAV. TOPSIS METODO REZULTATAI, KAI KRITERIJŲ SVORIAI NUSTATYTI AHPF METODU	111
36 PAV. MOORA METODO REZULTATAI, KAI KRITERIJŲ SVORIAI NUSTATYTI AHP METODU	112
37 PAV. MOORA METODO REZULTATAI, KAI KRITERIJŲ SVORIAI NUSTATYTI AHPF METODU	112
38 PAV. PROMETHEE METODO TRANSFORMUOTI REZULTATAI, KAI KRITERIJŲ SVORIAI NUSTATYTI AHP METODU	113
39 PAV. PROMETHEE METODO TRANSFORMUOTI REZULTATAI, KAI KRITERIJŲ SVORIAI NUSTATYTI AHPF METODU	114
40 PAV. SAW METODO GALUTINIS PROCENTINIS KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMO REZULTATAS	117
41 PAV. TOPSIS METODO GALUTINIS PROCENTINIS KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMO REZULTATAS	117
42 PAV. MOORA METODO GALUTINIS PROCENTINIS KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMO REZULTATAS	118
43 PAV. PROMETHEE METODO GALUTINIS PROCENTINIS KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMO REZULTATAS	119
44 PAV. PIRMOJO VERTINIMO ETAPO TAIKYTŲ METODŲ REZULTATŲ PALYGINIMAS	124
45 PAV. ANTROJO VERTINIMO ETAPO TAIKYTŲ METODŲ REZULTATŲ PALYGINIMAS	125
46 PAV. TREČIOJO VERTINIMO ETAPO TAIKYTŲ METODŲ REZULTATŲ PALYGINIMAS	126
47 PAV. TRIJŲ VERTINIMO ETAPŲ SUMINIS TAIKYTŲ METODŲ REZULTATŲ PALYGINIMAS	127

Lentelių sąrašas

1 LENTELĖ. KURSO VIDUTINIO ĮVERČIO PRIKLAUSOMYBĖ NUO EKSPERTO ĮVERČIO X , KAI $\mu=9$, $\sigma=1$	60
2 LENTELĖ. KURSO VIDUTINIO ĮVERČIO PRIKLAUSOMYBĖ NUO EKSPERTO ĮVERČIO X , KAI $\mu=9$, $\sigma=2$	60
3 LENTELĖ. KURSO VIDUTINIO ĮVERČIO PRIKLAUSOMYBĖ NUO EKSPERTO ĮVERČIO X , KAI $\mu=7,3$, $\sigma=1$, $\kappa=1$	61
4 LENTELĖ. KRITERIJŲ PORINIO Palyginimo skalės žodiniai apibūdinimai.....	71
5 LENTELĖ. ATSIKTIKINIAI INDEKSAI, PRIKLAUSOMAI NUO MATRICOS DYDŽIO	73
6 LENTELĖ. METODŲ STABILUMO VERTINIMAS PAGAL SKIRTINGĄ IMITACIJŲ SKAIČIŲ	85
7 LENTELĖ. KURSŲ ĮVERČIŲ X IR $F_{vid}(X)$ VIDURKIŲ REIKŠMĖS	102
8 LENTELĖ. KURSŲ ĮVERČIŲ X IR $F_{vid}(X)$ RANGAI	102
9 LENTELĖ. PRADINIAI EKSPERTINIAI REZULTATAI VERTINANT PAGAL KRITERIJUS	106
10 LENTELĖ. KRITERIJŲ SVORIŲ RANGAI	108
11 LENTELĖ. METODŲ STABILUMO REZULTATAI, SKAIČIUOJANT SVORIUS AHP IR AHPF METODAIS	115
12 LENTELĖ. APIBENDRINTOS KRITERIJŲ SVORIŲ REIKŠMĖS, ATSIŽVELGIANT Į VERTINIMO ETAPO SVARBUMĄ, NUSTATYTA UNIVERSITETO ADMINISTRACIJOS	116
13 LENTELĖ. METODŲ STABILUMO VERTINIMO REZULTATAI, TAIKANT APIBENDRINTUS SVORIUS.....	119
14 LENTELĖ. DAUGIAKRITERIJŲ METODŲ REZULTATAI, TAIKANT APIBENDRINTUS SVORIUS	120
15 LENTELĖ. ATSKIRŲ EKSPERTŲ GRUPIŲ KRITERIJŲ ĮTAKOS LAIPSNIS $w(X H_i)$	121
16 LENTELĖ. VERTINIMO ETAPŲ SVORIAI $w(H_i X)$, ATSIŽVELGIANT Į SKIRTINGŲ EKSPERTŲ GRUPIŲ NUOMONĘ	121
17 LENTELĖ. GALUTINIAI APIBENDRINTI IR SURANGUOTI KURSŲ VERTINIMO REZULTATAI, ATSIŽVELGIANT Į SKIRTINGŲ EKSPERTŲ GRUPIŲ KOREGUOTUS ETAPŲ SVORIUS	122
18 LENTELĖ. TRIJŲ VERTINIMO ETAPŲ IR GALUTINIO VERTINIMO SKAITINIAI IR SURANGUOTI REZULTATAI	123

Žymėjimai

Simboliai

A	<i>įvykis</i>
CI	<i>(angl. Consistency Index) suderinamumo indeksas</i>
CR	<i>(angl. Consistency Ratio) suderinamumo santykis</i>
G_t	<i>lygių rangų t-ojo eksperto skaičius</i>
d	<i>kriterijų reikšmių skirtumas</i>
$f(X)$	<i>įverčių X tankis visoms galimoms θ reikšmėms</i>
	<i>X įverčių sąlyginis tankis, kai tikroji kurso kokybė yra θ.</i>
$f(X \vee \theta)$	<i>Funkcija apibrėžia eksperto paklaidą k, kuri priklauso nuo eksperto kvalifikacijos</i>
$f(\theta)$	<i>apriorinė tankio funkcija</i>
$f(\theta \vee X)$	<i>aposteriorinė θ tankio funkcija, kai yra žinomas X</i>
$f_{vid}(X)$	<i>aposteriorinė vidurkio tankio funkcija</i>
$i_{opt}(r)$	<i>optimalus (geriausias) kursas</i>
h	<i>prioritetų funkcijos numeris</i>
$I = \{H_i\}$	<i>pilna įvykių grupė</i>
k	<i>eksperto paklaida $f(X \vee \theta)$ skirstinyje</i>
m	<i>kriterijų skaičius</i>

\bar{m}	lyginamųjų objektų skaičius skaičiuojant W koeficientą
MF	priklausymo funkcija
n	alternatyvų skaičius
$N(L, M, U)$	trikampio neraiškieji skaičiai
$N(L, M_1, M_2, U)$	trapecijos neraiškieji skaičiai
$P(A)$	tikimybė, kad įvyks įvykis A
$P(A H_\xi)$	sąlyginė tikimybė, kad su vienu iš įvykių H_ξ įvyks įvykis A
\tilde{P}	neraiškioji porinio palyginimo matrica
\bar{P}	porinio palyginimo matrica
q	prioritetų funkcijos ribinė reikšmė
\tilde{q}	atsitiktinė reikšmė iš $[0,1]$ intervalo
$r = r_{ij}$	kurso įverčių matrica
\tilde{R}_t	susietų rangų rodiklis
RI	(angl. Random Consistency Index) atsitiktinis indekso vidurkis
s	didžiausia kriterijų reikšmių skirtumų riba
S	ekspertų vertinimų kvadratų sumos vidurkių nuokrypis nuo bendro vidurkio
\tilde{S}_i	sintezės plėtinio reikšmė
$T = \{t_i\}$	ekspertų skaičius
V	panašumo į tiesą laipsnis
ω_j	kriterijų svoriai
$\tilde{\omega}_j$	normalizuotieji kriterijų svoriai
$\bar{\omega}$	nežinomųjų svorių tikrinis vektorius
W	konkordancijos koeficientas
θ	tikroji kurso kokybė, gamtos būklė
$\bar{x}_i \in [\underline{X}, \bar{X}]$	atsitiktinė reikšmė \bar{x}_i , pasiskirsčiusi pagal tolygųjį skirstinį $[\underline{X}, \bar{X}]$ intervale
X	eksperto įvertis

ν	<i>taikomų daugiakriterių metodų skaičius</i>
λ	<i>konstanta, tikrinė reikšmė</i>
λ_{max}	<i>maksimalioji tikrinė reikšmė</i>
μ	<i>vidurkis, mediana</i>
σ^2	<i>dispersija</i>
σ	<i>vidutinis kvadratinis nuokrypis</i>
Υ	<i>imitacijų skaičius</i>

Santrumpos

<i>AHP</i>	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
<i>AHPF</i>	<i>AHP Fuzzy</i>
<i>COPRAS</i>	<i>Complex Proportional Assessment</i>
<i>IEEE</i>	<i>The Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
<i>IMS</i>	<i>Information Management System</i>
<i>IT</i>	<i>informacinės technologijos</i>
<i>LieDM</i>	<i>Lietuvos distancinis mokymas</i>
<i>LOM</i>	<i>Learning Object Metadata</i>
<i>MCDM</i>	<i>Multiple Criteria Decision Making</i>
<i>MO</i>	<i>mokomas objektas</i>
<i>MOOC</i>	<i>Massive Open Online Courses</i>
<i>MOODLE</i>	<i>Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment, atvirojo kodo žiniatinklinė virtualioji mokymosi aplinka</i>
<i>MOORA</i>	<i>Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis</i>
<i>NS</i>	<i>nuotolinės studijos</i>
<i>NSK</i>	<i>nuotolinių studijų kursas</i>
<i>PROMETHEE</i>	<i>Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation</i>

<i>SAW</i>	<i>Simple Additive Weighting</i>
<i>SCORM</i>	<i>Sharable Content Object Reference Model</i>
<i>SPA</i>	<i>sprendimą priimančias asmuo</i>
<i>TOPSIS</i>	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
<i>VG TU</i>	<i>Vilniaus Gedimino technikos universitetas</i>
<i>VMA</i>	<i>virtualioji mokymosi aplinka</i>

Turinys

1. ĮVADAS	1
1.1. Tyrimų sritis ir problemos aktualumas	1
1.2. Tikslas ir uždaviniai	3
1.3. Tyrimo metodika	4
1.4. Mokslinis naujumas	5
1.5. Darbo rezultatų praktinė reikšmė	5
1.6. Ginamieji teiginiai	6
1.7. Rezultatų aprobavimas	6
1.8. Disertacijos struktūra	9
2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA	11
2.1. Nuotolinių kursų kokybės vertinimas	12
2.1.1. Nuotolinio kurso apibrėžtis ir raida	12
2.1.2. Mokymosi aplinka	16
2.1.3. Studijų kokybės vertinimas	20
2.1.4. Ekspertinis vertinimas	24
2.2. Bajeso metodo taikymas	28
2.3. Daugiakriteriai metodai	31
2.4. Antro skyriaus išvados	34

3. NUOTOLINIŲ STUDIJŲ KURSŲ KOMPLEKSINĖ KOKYBĖS VERTINIMO METODIKA	35
3.1. Nuotolinių kursų kokybės vertinimas, taikant Bajeso metodą	38
3.1.1. Pilnosios tikimybės ir Bajeso formulės	38
3.1.2. Nuotolinių kursų vertinimui taikomų skirstinių tankio funkcijos	40
3.1.3. Bajeso metodo taikymo kursų kokybei vertinti tyrimas	43
3.2. Nuotolinių kursų kokybės vertinimas, taikant stabilųjį MCDM metodą	62
3.2.1. MCDM metodų optimizavimo uždavinio formulavimas	62
3.2.2. Sviurių nustatymo metodai	69
3.2.3. AHP kriterijų sviurių nustatymo metodas	70
3.2.4. Neraiškiųjų skaičių teorijos pagrindai	75
3.2.5. Neraiškiųjų skaičių taikymas AHP metodui	79
3.2.6. Kriterijų sviurių perskaičiavimas taikant Bajeso metodą	81
3.2.7. MCDM metodų stabilumo vertinimas	82
3.3. Trečio skyriaus išvados	86
4. KOMPLEKSINIS NUOTOLINIŲ STUDIJŲ KURSŲ VERTINIMAS	87
4.1. Kursų vertinimo etapai	87
4.1.1. Nuotolinių studijų kursų kokybės vertinimo kriterijai	88
4.1.2. Nuotolinių studijų kursų aprašymas	91
4.2. Bajeso metodo taikymas nuotoliniams kursams vertinti	98
4.3. MCDM metodų taikymas nuotoliniams kursams vertinti	104
4.3.1. Kriterijų sviurių perskaičiavimas, taikant Bajeso metodą	120
4.4. Rezultatų palyginimas	123
4.5. Ketvirto skyriaus išvados	128
5. IŠVADOS	129
LITERATŪROS ŠALTINIAI	131
AUTORĖS PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS	143
PRIEDAI	147

A priedas. Bajeso metodo skaičiavimo rezultatai	147
B priedas. MCDM metodų naudojami duomenys.....	149

1. Įvadas

1.1. Tyrimų sritis ir problemos aktualumas

Studijų ir mokslo kokybė yra vienas iš aktualiausių mūsų visuomenės uždavinių. Švietimas visada buvo svarbus visuomenės kultūriniam vystymuisi, socialinei gerovei, ekonomikos plėtrai. Išsilavinimo lygis yra tiesiogiai susijęs su darbo kokybe. Europos Sąjungoje 2014 metais parengta nauja mokslinių tyrimų ir inovacijų finansavimo programa „Horizon 2020“, kurios vienas iš siekių yra *pažangus mokslas*. Pažangaus mokslo esmė – skatinti aukšto lygio mokslinius tyrimus, siekiant sukurti žiniomis ir naujomis technologijomis pagrįstą ilgalaikę pasauliniu mastu konkurencingą Europos ekonomiką.

Informacinių technologijų plėtra daro poveikį visoms žmonių veiklos sritims, įskaitant mokslą ir studijas. Bene daugiausia informacinių ir komunikacinių technologijų privalumų siejama su nuotolinėmis studijomis, kurios sparčiai populiarėja dėl lankstumo, galimybės studijuoti patogiu laiku ir patogioje vietoje. Tačiau informacinių ir komunikacinių technologijų įvairovė, jų pritaikymas nuotolinėms studijoms savaime nesąlygoja studijų proceso

efektyvumo. Tam reikia sugebėti atrinkti nuotolinių studijų organizavimui tinkamiausias priemones, įvertinti jų panaudojimo galimybes, žinoti alternatyvias priemones, turėti aiškia nuotoliniu būdu organizuojamų studijų planą, taip pat reikia atsakyti į nemažai su nuotolinėmis studijomis susijusių klausimų. Naujai atsirandančios informacinės ir komunikacinės priemonės leidžia tobulinti tradicines studijas, daro jas priimtinesnes ir keičia patį studijų organizavimo principą – studijos vis labiau orientuojamos į studentą. Šiuo metu kiekviena Lietuvos aukštoji mokykla naudoja virtualiąją mokymosi aplinką studijų kokybei pagerinti. Dauguma iš aukštųjų mokyklų rengia nuotoliniu būdu vykdomas studijų programas. Ypač didelis dėmesys skiriamas kokybiškam nuotolinių kursų rengimui.

Nuotolinio kurso kokybė priklauso nuo tokių veiksnių, kaip aiškiai pateikta ir įdomiai išdėstyta medžiaga, gerai organizuotas mokymo procesas, naudojamos tinkamos IT priemonės, kurso medžiagos aktualumas, studentų motyvacija ir dėstytojo kvalifikacija bei profesionalumas. Šiuos veiksnius vertina atitinkamos srities žinovai, t. y. ekspertai.

Vilniaus Gedimino technikos universitetas (VGTU) turi 15 metų studijų teikimo nuotoliniu būdu patirtį. Nuotolinių studijų vertinimo komisijos nariai posėdžio metu svarsto, ar kursas atitinka kokybės reikalavimus. Gerai įvertinti nuotoliniai kursai yra prilyginami spausdintiems mokymo leidiniams. Šiame darbe yra pateikta kompleksinė nuotolinių kursų vertinimo metodika. Ji buvo panaudota VGTU nuotolinių kursų kokybei nustatyti. Siūloma metodika yra pagrįsta matematiniais metodais, atsižvelgiant į ekspertinių duomenų neapibrėžtumą. Metodika numato, kad į nuotolinių kursų vertinimą įtraukiami su studijomis susiję asmenys, suinteresuoti kokybišku išsilavinimu: dėstytojai, studentai, nuotolinių studijų centro darbuotojai ir mokymo įstaigos administracija. Toks daugiapusis požiūris atspindi įvairius kurso dalyvių interesus, leidžia tobulinti kursą, atsižvelgiant į jų įverčius ir pastabas. Sudaryta kompleksinė metodika sujungia Bajeso ir stabilųjį MCDM metodus, skirtingai

atsižvelgiant į ekspertų nuomonių subjektyvumą. Bajeso metodas koreguoja eksperto įvertį, atsižvelgiant į ekspertų kompetenciją ir į sukauptą ilgametę patirtį. MCDM metodais vertinamas kursas, naudojant ekspertų įverčius pagal numatytus kokybės kriterijus ir šių kriterijų svorius. Nustatytas kriterijų svoris turi didelę įtaką vertinimo rezultatui. Ekspertinių duomenų neapibrėžtumui įvertinti taikomi matematinės statistikos, neraiškiųjų skaičių teorijos ir stabilūs daugiakriteriai metodai.

1.2. Tikslas ir uždaviniai

Šio darbo tikslas – pasiūlyti kompleksinę nuotolinių studijų kursų kokybės vertinimo metodiką, atsižvelgiančią į ekspertų nuomonių subjektyvumą ir jų įverčių neapibrėžtumą. Siūloma metodika pritaikoma VGTU nuotolinių studijų kursų kokybei vertinti.

Tiksliui pasiekti keliami tokie uždaviniai:

1. Atlikti nuotolinių studijų kurso, virtualiosios mokymosi aplinkos ir ekspertinio vertinimo mokslinių tyrimų analizę.
2. Išskirti nuotolinių studijų kursų vertinimo etapus ir ekspertų vertinimo grupes, remiantis Lietuvos ir kitų šalių studijų kokybės vertinimo patirtimi.
3. Nuotolinių kursų kokybei vertinti pritaikyti Bajeso metodą, koreguojantį eksperto įvertį, atsižvelgiant į ekspertų kompetenciją ir sukauptą ilgametę vertinimo patirtį.
4. Pateikti MCDM metodus kaip matematinės optimizacijos metodų sudedamąją dalį.
5. Pasiūlyti neraiškiųjų skaičių nepriklausomų ekspertų grupės kriterijų porinio palyginimo matricos kūrimo algoritmą.
6. Pritaikyti Bajeso metodą grupės kriterijų svoriams perskaičiuoti, atsižvelgiant į kitų ekspertų grupių nuomones.

7. Pasiūlyti MCDM metodų stabilumo nustatymo algoritmą, atsižvelgiant į ekspertų įverčių neapibrėžtumą ir vertinant nuotolinių kursų kokybę pasirinkti stabiliausio MCDM metodo rezultatą.
8. Remiantis pasiūlyta metodika, atlikti kompleksinį nuotolinių studijų kursų kokybės vertinimą.

1.3. Tyrimo metodika

Rengiant disertacijos analitinę dalį, buvo pritaikytas sisteminės analizės metodas. Tiriant ekspertų įverčių neapibrėžtumo įtaką MCDM rezultatams, buvo atliktas metodų stabilumo patikrinimas, taikant statistinio imitavimo metodą. Buvo generuojami pseudoatsitiktiniai skaičiai ir nežymiai keičiami pradiniai ekspertų nuotolinių kursų įverčiai ir kokybės kriterijų svoriai.

MCDM metodų stabilumui nustatyti, AHP ir AHPF metodų svoriams ir MCDM vertinimo rezultatams apskaičiuoti parašytos programos su *MATLAB (R2011a)* matematiniu paketu. Aposteriorinių vidurkio funkcijų skaičiavimams atlikti naudojamas *Derive 5* matematinis paketas.

Siūlomos metodikos praktinėje realizacijoje taikomas ekspertinio vertinimo metodas. Ekspertų apklausai atlikti buvo taikoma skirtinga metodika: pagal ekspertų tarpusavio ryšį – neakivaizdus eksperto metodas, pagal vertinimų suderinimo procedūrą – vienkartinis apklausos metodas, pagal ekspertų skaičių – individualus apklausos metodas. Nuotolinių studijų kursų kokybės kriterijų grupėms sudaryti buvo taikomi V. Belton ir T. Stewarto principai.

Atlikus ekspertinį vertinimą duomenims apdoroti, buvo taikomas statistinės duomenų analizės metodas. Pritaikius kompleksinį vertinimą, gautiems rezultatams apibendrinti taikomas lyginamosios analizės metodas.

1.4. Mokslinis naujumas

Rengiant disertaciją, buvo gauti šie nauji rezultatai:

1. Pasiūlytas kurso kokybės vertinimo būdas, atsižvelgiantis į įverčių neapibrėžtumą, taikant Bajeso metodą.
2. Pasiūlytas naujas neraiškiųjų skaičių nepriklausomų ekspertų grupės kriterijų porinio palyginimo matricos kūrimo algoritmas.
3. Pasiūlytas Bajeso metodo pritaikymas kriterijų svoriams perskaičiuoti, atsižvelgiant į kitų ekspertų grupių nuomones.
4. Pasiūlytas kurso kokybės vertinimo būdas, taikant stabilųjį MCDM metodą.
5. Pasiūlyta kompleksinė nuotolinių kursų kokybės vertinimo metodika, įvairiapusiškai atsižvelgianti į subjektyvias ekspertų nuomones.

1.5. Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Darbe pasiūlyta kompleksinė vertinimo metodika buvo praktiškai pritaikyta VGTU nuotolinių kursų kokybei vertinti. Metodika suteikia galimybę į nuotolinių kursų vertinimą įtraukti įvairių su studijomis susijusių veiklos sričių asmenis, suinteresuotus aukšta kurso kokybe. Tai dėstytojai, studentai, nuotolinių studijų centro darbuotojai ir mokymo įstaigos administracija. Toks daugiapusis požiūris atspindi įvairius kurso dalyvių interesus, leidžia tobulinti kursą, atsižvelgiant į jų įverčius ir pastabas. Pasiūlytas kompleksinis vertinimas atsižvelgia į ekspertinių duomenų neapibrėžtumą. Kompleksinė kursų kokybės vertinimo metodika gali būti taikoma ir kitų panašių uždavinių kokybei vertinti.

1.6. Ginamieji teiginiai

1. Bajeso metodas, taikomas ekspertiniams vertinimams, atsižvelgia į eksperto kvalifikaciją ir sukaupią institucijos patirtį.
2. Nuotolinių studijų kurso kokybei nustatyti taikomas stabiliausias MCDM metodas, užtikrinantis vertinimo rezultato tikrumą.
3. Neraiškiųjų skaičių naudojimas kriterijų svoriams nustatyti atsižvelgia į nepriklausomų ekspertų grupės subjektyvias nuomones.
4. Bajeso metodas gali būti taikomas kriterijų svoriams perskaičiuoti, atsižvelgiant į skirtingas ekspertų grupių nuomones.
5. Kompleksinis nuotolinių studijų kursų kokybės vertinimas įvairiapusiškai atsižvelgia į ekspertinio vertinimo subjektyvumą ir kurso įverčių neapibrėžtumą.

1.7. Rezultatų aprobavimas

Pagrindiniai disertacijos rezultatai buvo publikuoti 13 straipsnių: 2 – recenzuojamuose periodiniuose mokslo leidiniuose, 3 – kituose mokslo leidiniuose, 8 – konferencijos darbų leidiniuose. Pagrindiniai darbo rezultatai buvo pristatyti ir aptarti 16 tarptautinių ir nacionalinių konferencijų.

Tarptautinės konferencijos

1. 6th World Conference on Educational Sciences “Methodology for Evaluating the Quality of Distance Learning Courses in Consecutive Stages”, February 06–09, 2014, Msida, Malta.
2. Информатизация инженерного образования (ИНФОРИНО-2014) „Вопросы организации дистанционного обучения в университете”, 15–16 апреля, 2014, Москва, Россия.

3. 5th International Future-Learning Conference on Inovations in Learning for the Future 2014 “Student Oriented Bachelor Degree Engineering Studies”, May 5–7, 2014, Istanbul, Turkey.
4. 4th Tech-Education Conference “Fuzzy AHP Method for Evaluating Quality of Distance Learning Courses”, August 21–22, 2013, Nice, France.
5. Машиностроение и техносфера XXI века. „Опыт внедрения и эксплуатации MOODLE системы в Вильнюсском техническом университете имени Гедиминаса (ВГТУ)“, 16–21 сентября, 2013, Севастополь, Украина.
6. 15th Conference of Master and PhD Students Information Society and University studies (IVUS 2010), “Influence of Virtual Learning Environment Tools on Education Efficiency Considering Technological Quality Criteria”, 2010, May 13, VDU, Kaunas, Lietuva.

Lietuvos konferencijos

1. 55-oji Lietuvos matematikos draugijos LV konferencija, „Bajeso metodo taikymas nuotolinių kursų kokybės vertinime“, 2014, birželio 26–27 d., MRU, Vilnius, Lietuva.
2. Information Society and University Studies 2014, „Kursų vertinimo optimizavimas taikant daugiakriterinius (MCDM) metodus“, 2014, balandžio 24, Kaunas, Lietuva.
3. I-oji tarptautinė mokslinė konferencija „Studijos šiuolaikinėje visuomenėje 2014“, „Nuotolinių studijų organizavimo ypatumai bakalauro studijų studentams“, 2014, vasario 21 d., VŠĮ, Šiauliai, Lietuva.
4. 54-oji Lietuvos matematikų draugijos LIV konferencija, „Daugiakriteriniai (MCDM) metodai kaip optimizavimo uždavinių

- sudedamoji dalis vertinimams”, 2013, birželio 19–20 d., LEU, Vilnius, Lietuva.
5. 53-oji Lietuvos matematikų draugijos LIV konferencija, „Neapibrėžtumo įtaka AHP metodo vertinimams”, 2012, birželio 11–12 d., KU, Klaipėda, Lietuva.
 6. 15-oji mokslinė kompiuterininkų konferencija – Kompiuterininkų dienos 2011, „Analitinio hierarchinio proceso (AHP) metodo taikymas nuotolinių mokymo kursų naudotojų sąsajos kokybei vertinti”, 2011, rugsėjo 22–24 d., KU, Klaipėda, Lietuva.
 7. 51-oji Lietuvos matematikų draugijos konferencija, „Studentų adaptuotų nuotolinių kursų kokybės vertinimas”, 2010, birželio 17 d., ŠU, Šiauliai, Lietuva.
 8. VIII mokslinė – praktinė konferencija „Informacinės technologijos 2010: Teorija, Praktika, Inovacijos”. „Elektroninių kursų projektavimas „IBM Authoring Tool“ įrankiu”, 2010, gegužės 21 d. AK, Alytus, Lietuva.
 9. III respublikinė mokslinė – praktinė konferencija „Nuotolinių studijų kokybės vertinimas” 2010, „Nuotolinių studijų kokybės vertinimas”, 2010, gegužės 5 d., VIKO, Vilnius, Lietuva.
 10. 13-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“, „Virtualių mokymo aplinkų įtaka nuotolinių studijų kokybei”, 2010, balandžio 7 d., VGTU, Vilnius, Lietuva.

1.8. Disertacijos struktūra

Disertacija sudaryta iš 5 skyrių, literatūros sąrašo ir dviejų priedų. Bendra disertacijos apimtis be priedų – 145 puslapiai. Darbe, įskaitant priedus, pateikti 47 paveikslai ir 24 lentelės.

Įvade trumpai pristatoma mokslinė tyrimo sritis, disertacijoje sprendžiamos problemos aktualumas, darbo tikslas ir uždaviniai, tyrimo metodika, mokslinis naujumas, praktinė darbo reikšmė ir gautų rezultatų aprobavimas.

Antrame skyriuje atlikta literatūros apžvalga trimis pagrindinėmis mokslinio darbo tyrimo kryptimis, t. y. nuotoliniai kursai ir jų kokybės vertinimas, Bajeso teorijos ir MCDM metodų taikymas.

Trečiame skyriuje pateikta kompleksinė nuotolinių studijų kursų kokybės vertinimo metodika, taikant Bajeso ir stabilųjį MCDM metodus. Šiame skyriuje aprašomas MCDM metodų stabilumo patikrinimo algoritmas, pristatomi ir matematiškai pagrindžiami kriterijų svorių nustatymo bei perskaičiavimo metodai.

Ketvirtame skyriuje atliktas kompleksinis nuotolinių studijų kursų kokybės vertinimas, pateikti ekspertinių vertinimų rezultatai.

Penktame skyriuje pateiktos galutinės disertacijos išvados.

2. Nuotolinių kursų kokybės vertinimas: mokslinės literatūros apžvalga

Šiame skyriuje apžvelgta literatūra, susijusi su trimis pagrindinėmis darbo tyrimo kryptimis, t. y. nagrinėjama, kas yra nuotoliniai kursai ir jų kokybės vertinimas, aptariamas Bajeso teorijos ir daugiakriterių metodų taikymas. Atliekant mokslinės literatūros apžvalgą, buvo pritaikytas sisteminės analizės metodas. Taikant šį metodą, buvo nustatytos sistemos ribos, t. y. išskirti reikšminiai žodžiai, pagal kuriuos buvo atlikta paieška, t. y. nuotolinių kursų apibrėžtis, jų kokybės vertinimas, optimizacija, ekspertų kokybės vertinimas, Bajeso metodo taikymas kokybei vertinti, MCDM metodų taikymas. Moksliniai darbai buvo ieškomi *Web of Science* ir *Scimedirect* mokslinėse duomenų bazėse. Skyriuje aptarta nuotolinio kurso samprata, nuotolinių studijų raidos etapai, mokymosi aplinka, kuri yra neatsiejama nuotolinio kurso dalis, ir IT priemonės, optimizavimo algoritmai, gerinantys kurso medžiagos pateikimą, bendravimą, mokymo personalizavimą.

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

Nuotolinių studijų kokybės klausimai nagrinėjami Lietuvos ir pasaulio mokslininkų darbuose. Juose daug dėmesio skiriama mokymo turinio kokybei ir tinkamų IT priemonių parinkimui. Nemažai atlikta darbų, susijusių su nuotolinių studijų kokybės tyrimu ir vertinimu (Laužackas, 2005; Teresevičienė ir kt., 2008; Volungevičienė, 2008; Targamadžė, 2008, 2011; Petrauskienė, 2011; Wang ir Tsai, 2009; Ehlers, 2004 ir kt.). Mokslinėje literatūroje išsamiau apžvelgiamas ekspertinis vertinimas, kuris yra plačiai taikomas studijų kokybei nustatyti.

Atlikus ekspertinį vertinimą, gaunami neapibrėžti duomenys: keičiant ekspertų grupę arba kartojant ekspertinį vertinimą, rezultatai būna nevienodi. Duomenų neapibrėžtumo šaltinis yra ekspertų subjektyvumas. Neapibrėžtumo įtaka gali būti vertinama skirtingais būdais, taikant neraiškiųjų skaičių teorijos bei matematinės statistikos metodus.

Darbe siūloma taikyti Bajeso metodą ir stabiliausią daugiakriterį metodą nuotolinių kursų kokybei vertinti. Šiame skyriuje pateikiama Bajeso ir daugiakriterių metodų taikymo sričių apžvalga. Neraiškiųjų skaičių teorija, kuri taikoma kriterijų svoriams nustatyti, yra aprašyta trečiame skyriuje.

2.1. Nuotolinių kursų kokybės vertinimas

2.1.1. Nuotolinio kurso apibrėžtis ir raida

Nuotolinis mokymasis paprastai suvokiamas kaip mokymosi būdas, kai besimokančiojo geografinė buvimo vieta nesutampa su mokymo įstaigos geografinė vieta (Dagienė ir kt., 2008). Nuotolinių studijų raida buvo laipsniška. Dažnai naujos žinių perdavimo technologijos įsiskverbė į skirtingas nuotolinių studijų sistemas ir jų vystymasis skatino šiuolaikinių nuotolinių studijų kursų atsiradimą. Daugelis mokslininkų, pavyzdžiui, R. Harrison ir S. Nipperis (Harrison, 1989; Nipper, 1989; UNESCO IITE, 2000), nuotolinių studijų (toliau – NS) istoriją dalina į etapus, vadinamąsias nuotolinių studijų kartas.

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

Pirmosios kartos nuotoliniai kursai buvo ranka rašyta arba išspausdinta dalijamoji medžiaga, kuri besimokantiejiems buvo siunčiama paštu. Tokia NS forma buvo plėtojama visose išsivysčiusiose šalyse nuo XIX a. vidurio. Aptariamas studijavimo būdas vadinamas „kursais pagal susirašinėjimą“. Tokiuose kursuose besimokantieji gaudavo mokomąją medžiagą, vadovėlius, literatūros sąrašą. Šiuose kursuose besimokantieji atlikdavo darbus raštu ir siųsdavo dėstytojui patikrinti. Atsiradus radijui XX a. 3-iaje dešimtmetyje ir televizijai 6-ame dešimtmetyje, naujas informacines ir komunikacines technologijas pradėta naudoti ir NS: buvo kuriamos ir transliuojamos mokomosios radijo laidos, rengiami ir rodomi mokomieji televizijos kursai. Kartais tokios mokymo programos būdavo papildomos spausdinta medžiaga, taip būdavo organizuojami mokymai atskiroms grupėms.

1969 m. buvo įsteigtas Atvirasis Didžiosios Britanijos universitetas ir šie metai yra laikomi antrosios NS kartos pradžia. Tada pirmą kartą buvo panaudota multimedija. Atvirasis Didžiosios Britanijos universitetas garsėjo tuo, kad rengė aukštos kokybės mokymo medžiagą, specialiai skirtą nuotoliniam mokymuisi. Universitetas naudojo ne tik vienkryptes (spausdintą medžiagą, televizijos laidas plačiai auditorijai ir audiokursus), bet ir dvikryptes (susirašinėjimą, susitikimą gyvai, bendravimą telefonu, per vaizdo ir kompiuterines konferencijas) dėstytojo ir besimokančiųjų bendravimo priemones.

Trečiajai kartai būdingas interaktyvių, elektroninių ir kitų kompiuterinių technologijų naudojimas. Kompiuterinės sistemos teikia dvipusio ryšio kanalą – sinchroninį (bendravimas vienu metu per video- ir audiokonferencijas) arba asinchroninį (bendravimas skirtingu laiku, naudojant elektroninį paštą, diskusijų forumus). Nepaisant to, kad 1980 m. kompiuterizuotas nuotolinis mokymas buvo įgyvendintas keliose švietimo įstaigose, populiarumo jis sulaukė tik atsiradus *World Wide Web* technologijai. Internetui išplitus populiarėjo ir NS dėl galimybės greitai ir lanksčiai bendrauti, pateikti mokymo medžiagą interaktyviai, naudojant *Web* technologijas (UNESCO IITE, 2000; UNESCO

IITE, 2006).

Dabartinės lietuvių kalbos žodyne terminas „kursas“ apibrėžiamas kaip „vienais metais apimamas mokslo skyrius aukštojoje ar specialiojoje vidurinėje mokykloje arba mokslo dalyko išdėstymas aukštojoje mokykloje“ (Keinys ir kt., 2006). Nuotolinio mokymosi forma taikoma ir aukštajame moksle, ir suaugusiųjų neformaliajame švietime (VŠĮ, 2005). Šiame darbe analizuojami nuotoliniai kursai, kurie dėstomi aukštojoje mokykloje. Todėl nuotolinį kursą galima apibrėžti kaip studijų dalyką, dėstomą nuotoliniu būdu, naudojant informacines technologijas. „Studijos“ – tai ne žemesnį kaip vidurinį išsilavinimą turinčio asmens mokymasis aukštojoje mokykloje pagal tam tikrą studijų programą (LRAMI, 2013a). Dėstant nuotoliniu būdu, aukštosios Lietuvos mokyklos vadovaujasi Lietuvos Respublikos Švietimo ir mokslo įstatymu dėl nuolatinių ir ištęstinių studijų formų, kuriame nurodyta, kad pirmosios pakopos kontaktinio darbo apimtis turi būti ne mažesnė kaip 20 % studijų programos apimties ir ne mažiau kaip 10 % kitų studijų programų (LRAMI, 2013b). Rengiant nuotolinius kursus turi būti numatytas nuotolinis kontaktinis darbas su dėstytojais per nuotolį, naudojant informacines technologijas.

IEEE LOM standarte nuotolinis kursas apibrėžiamas kaip trečio-ketvirto (aukščiausio) agregavimo lygio mokomasis objektas (IEEE, 2002). Mokuoju objektu (MO) vadinamas bet koks loginis objektas, tiek elektroninis, tiek ir neelektroninis, kuris gali būti panaudotas mokymui, išsilavinimui ir pasiruošimui (IEEE, 2002). V. Dagienė ir J. Kurilovas rašo, kad mokymosi objektu paprastai laikomas bet kuris skaitmeninis išteklius, naudotinas mokymui, dažniausiai – mokymuisi ir taikytinas iš naujo kituose mokymosi kontekstuose (Dagienė ir Kurilovas, 2008). Kad išteklių būtų galima naudoti iš naujo kitame kontekste, su juo turi būti susieta ji aprašanti informacija, vadinamieji metaduomenys, kuriais grindžiamas darbas MO saugyklose: paieška, importavimas į virtualiąsias mokymosi aplinkas ir eksportavimas iš jų,

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

komponavimas su kitais objektais ir pan. (Jevsikova ir Kurilovas, 2006).

S. Serikovienė teigia, kad MO pagrindinė paskirtis yra daug kartų būti panaudotiems kituose mokymosi kontekstuose (Serikovienė, 2013). Tokie standartai, kaip *SCORM*, *IMS*, leidžia lengvai panaudoti nuotolinius kursus skirtingose virtualiuose mokymosi aplinkose.

Stebint NS raidą, galima pamatyti, kad pirmieji nuotoliniai kursai, pirmosios studijos buvo atviros, prieinamos plačiajai visuomenei. Siekiant plėtoti žmogaus savęs tobulinimo visą gyvenimą idėją, yra sukurtos tokios nemokamų kursų, prieinamų per internetą, talpyklos, kaip *COURSERA*, *Massive Open Online Courses (MOOCs)*. Šiuo metu *LieDM* konsorciumo projekto veikloje numatytas nuotolinių kursų talpyklos kūrimas *Moodle* virtualiojoje mokymosi aplinkoje.

Didelis dėmesys Lietuvos mokslo darbuose skirtas elektroniniam ir nuotoliniam mokymuisi. Mokymosi bendruomenės ir antrosios kartos saityno (*Web 2.0*) technologijų srityje dirba V. Dagienė, E. Kurilovas, A. Juškevičienė (Dagienė ir Kurilovas, 2010; Juškevičienė, 2014). *Web 3.0* technologija pagrįstas personalizavimo virtualiąsias mokymosi aplinkas tiria E. Kurilovas, S. Kubilinskienė, V. Dagienė (Kurilovas ir kt., 2014b). Mokymo programinės įrangos kokybės vertinimo metodiką savo darbuose pasiūlė ir panaudojo E. Kurilovas ir V. Dagienė (Kurilovas ir Dagienė, 2010), mokymosi scenarijų kokybės vertinimą atliko E. Kurilovas, I. Žilinskienė, V. Dagienė (Kurilovas ir kt., 2014a). Programinės įrangos lokalizavimo problemą sprendžia V. Dagienė, G. Grigas, T. Jevsikova (Dagienė ir kt., 2010).

Skaitmeninius mokymosi objektus, išplečiant MO metaduomenų modelį, nagrinėjo S. Kubilinskienė (Kubilinskienė, 2012), E. Kurilovas, S. Serikovienė nagrinėjo daugkartinį MO panaudojimą (Kurilovas ir Serikovienė, 2012; Serikovienė, 2013), E. Bareiša ir R. Kubiliūnas pasiūlė metodą, atskiriantį el. mokymosi medžiagą nuo atvaizdavimo taisyklių, pagerindami daugkartinį MO panaudojimą (Kubiliūnas ir Bareiša, 2009).

Apie virtualiųjų mokymosi aplinkų svarbą elektroniniame mokyme rašė

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

R. Kulvietienė, G. Kulvietis, I. Šileikienė, J. Stankevič (Kulvietienė ir kt., 2004, Kulvietis ir kt., 2006). M. Stonkienė aptarė el. mokymosi, mišriojo mokymosi pranašumus ir trūkumus, t. y. virtualiosios mokymosi aplinkos *Moodle* naudojimą mišriajam mokymuisi (Stonkienė, 2013). Elektroninio mokymosi svarbą informacinės švietimo visuomenėje akcentavo D. Rutkauskienė (Rutkauskienė, 2010). S. Preidys ir L. Sakalauskas atliko vartotojų veiksmų vizualizavimą (Preidys ir Sakalauskas, 2009), besimokančiųjų aktyvumo (Preidys ir Sakalauskas, 2010) bei jų poreikių analizę (Sakalauskas ir Preidys, 2009). D. Dzemydienė, L. Tankelevičienė (Dzemydienė ir Tankelevičienė, 2009) analizavo virtualios mokymosi sistemos architektūrą individualizavimo galimybėms išplėsti. VMA programinių agentų veikimą, pagrįstą Q-mokymosi algoritmų taikymu, kai VMA atlieka kuratoriaus vaidmenį, pasiūlė D. Baziukaitė (Baziukaitė, 2007a; Baziukaitė, 2007b).

Išmaniųjų modulių integravimo į VMA *Moodle* galimybes tyrė bei realizavo personalizavimą pagal mokymosi stilius S. Preidys, L. Sakalauskas, I. Žilinskienė (Preidys ir Sakalauskas, 2011; Preidys ir Sakalauskas, 2012; Preidys, 2012; Žilinskienė ir Preidys, 2013). Scenarijų parinkimo ir elektroninių paslaugų komponentų analizę virtualioje mokymosi aplinkoje atliko D. Dzemydienė ir L. Tankelevičienė (Dzemydienė ir Tankelevičienė, 2005). J. Lieponienė sukūrė ir integravo į *Moodle* aplinką vertinimo konvertavimo iš vienos skalės į kitą modelį (Lieponienė, 2012).

2.1.2. Mokymosi aplinka

Mokymosi aplinkos – tai edukacinę vertę turinčios žmonių gyvenimo bei veiklos erdvės, įgalinančios individo asmeninį tobulėjimą, realizuojamą per mokymosi pastangas (Jucevičienė, 2001; Lipinskienė, 2002). D. H. Jonassenas ir M. S. Landas teigia, kad mokymosi aplinkas galima aiškinti psichologiniu, pedagoginiu, technologiniu, kultūriniu ir pragmatiniu aspektais (Jonassen ir Land, 2000; Lipinskienė, 2002). Elementariai mokymosi aplinka suprantama

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

kaip vieta, kurioje vyksta mokymasis, t. y. kurioje besimokantysis veikia, naudodamas įvairias priemones ir pritaikydamas patarimus, renka ir interpretuoja informaciją, sąveikauja su kitais ir t. t. Mokymosi aplinkos samprata akcentuoja tai, kad mokymasis yra skatinamas ir palaikomas, tačiau nėra griežtai kontroliuojamas. Dėl šios priežasties terminas „mokymo aplinka“, susijęs su didesne kontrole ir kryptingumu, keičiamas terminu „mokymosi aplinka“ (Lipinskienė, 2002).

Virtualioji mokymo aplinka (toliau – VMA) dar kartais vadinama valdoma mokymosi aplinka (angl. *Managed Learning Environment*), mokymosi valdymo sistema (angl. *Learning Managment System*) ar mokymo palaikymo sistema (angl. *Learning Support System*). Visi šie terminai apima sistemas, skirtas elektroniniam arba nuotoliniam mokymuisi organizuoti. Šios sistemos užtikrina elektroninio mokymosi kurso pasiekiamumą tiek studentams, tiek dėstytojams, tiek kurso administratoriams. Kiekviena vartotojų grupė turi skirtingas teises naudotis VMA teikiamomis galimybėmis. Paprastai tai yra kurso valdymas, mokymosi medžiagos pateikimas, bendravimo priemonių naudojimas.

Virtualiųjų mokymosi aplinkų yra sukurta keletas šimtų. Jų funkcijos gana panašios, ir tai suprantama, nes visos jos juk skirtos mokymuisi panaudojant kompiuterių tinklus (Dagienė ir kt., 2004; Dagienė ir kt., 2005). R. Masonas suformulavo tris VMA modelius (Mason, 1998; Žilinskienė, 2013):

- Turinį akcentuojantis modelis (angl. *Content + Support*): mokymo turinys, bendravimo ir bendradarbiavimo priemonės užima iki 20 % kurso laiko.
- Mišrus modelis (angl. *Wrap Around*): mokymo turinio studijavimas ir bendravimas (bendradarbiavimas) užima po 50 % kurso laiko.
- Sudėtinis integruotasis (angl. *Integrated*) modelis: besimokančiųjų bendravimo ir bendradarbiavimo veiksmai sudaro kurso esmę.

Nuotolinio bendravimo ir studijų sistemose dėmesys kreipiamas į grįžtamojo ryšio užtikrinimo galimybes, mokytojo kaip tikrintojo ir vertintojo vaidmens

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

sumažinimą ir dalies sudėtingų, bendradarbiavimui reikalingų funkcijų perdavimą sistemai (Dzemydienė ir Tankelevičienė, 2005). Nemažai dėmesio skiriama aktyvaus mokymosi ir mokymosi bendradarbiaujant aplinkoms, kurios leidžia pateikti dėstomo kurso kontekstą, klausimus, nuorodas į išteklius, o žinias turi sukurti patys studentai (Dzemydienė ir Tankelevičienė, 2005; Lipeikienė ir Pinkevičiūtė, 2003).

Pagerinti nuotolinio mokymosi kokybę bei sumažinti mokymosi barjerus galima tikslingai parinkus IT priemones nuotolinio mokymosi kurso projektavimo metu arba pagerinus nuotolinio mokymosi aplinką. IT priemonės, pavyzdžiui, programiniai agentai, palaikantys studentų savarankišką mokymąsi ir palengvinantys dėstytojų darbą, gali prisidėti prie mokymosi sąlygų ir kokybės gerinimo (Petrauskienė, 2011).

Individualiems poreikiams pritaikoma mokymosi aplinka, personalizuojanti bei adaptuojanti mokymosi procesą, tapo įdomi mokymo forma XXI amžiuje. Mokymosi aplinka rekomenduoja tinkamą medžiagą tam tikram besimokančiajam, pagal tam tikras jo charakteristikas, tokias kaip mokymosi stilius, modalumas, kognityvinis (pažintinis) stilius ir kompetencija (Wang, 2012). Adaptyvios intelektinės mokymosi sistemos idėja grindžiama jos galimybe besimokantiesiems sudaryti individualius mokymosi planus bei padėti išrinkti geriausiai tinkančią veiksmų seką sudarytame mokymosi plane. Sistema pateikia medžiagą atsižvelgdama į besimokančiojo tikslus, jo turimas žinias ir į kitą informaciją, saugomą besimokančiojo modelyje. Šis modelis taip pat atspindi einamąją besimokančiojo žinių ir peržiūrėtų temų būseną. Sistema elgiasi taip, kad besimokantysis pasiektų tikslą, t. y. trokštamą žinių lygį, numatytą mokymosi plane (Baziukaitė, 2007b). Mokymo proceso individualizavimas yra vienas iš svarbiausių būdų mokslo kokybei gerinti, tačiau kartu tai yra ir vienas iš sudėtingiausių procesų, reikalaujančių atsižvelgti į daugelį veiksnių – besimokančiųjų profilius, mokymosi medžiagą, mokymosi strategijas.

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

Tobulinant mokymosi aplinką, naudojami optimizavimo algoritmai. Mokymosi optimizavimo algoritmas TLBO (angl. *Teaching Learning – based optimization*) perduoda žinias virtualiosios klasės viduje, kur moksleiviai iš pradžių įsigyja žinių, kurias teikia mokytojas, (Mokytojo fazė), o paskui – kurias teikia bendraklasiai (Moksleivio fazė). TLBO procesų modeliavimas sudarytas iš dviejų etapų. Pirmas – dėstytojo darbo etapas. Jame dėstytojas pateikia žinias tiesiogiai savo studentams. Kuo geresnis dėstytojas, tuo daugiau žinių gali įgyti studentas. Tik nedaugelis studentų gali iš karto suprasti visą dėstytojo pateiktą medžiagą. Dauguma studentų tik iš dalies gali išmokti naują mokymosi medžiagą, t. y. pasiekti vidutinį lygį, ir kai kuriais atvejais dėstytojas net neturi galimybės tiesiogiai daryti poveikį studento žinioms. Antrajame etape, kuris vadinasi mokinio etapu, studentas gali mokytis naudodamasis kitų studentų pagalba. Todėl, kiek žinių įgijo studentas, priklauso ne tik nuo dėstytojo, bet ir nuo paties studento bendradarbiavimo su kitais besimokančiaisiais. Kaip sėkmingai studentas pereina mokymą per dėstytojo etapą, mokymo rezultatams apskaičiuoti taikomi GAs (Goldberg, 1989), ESs (Beyer ir Schwefel, 2002), PSO, *Differential Evolution (DE)* (Storn ir Price, 1997), *Artificial Bee Colony (ABC)* (Karaboga ir Basturk, 2008), *Harmony Search (HS)* (Lee ir Geem, 2005), *Grenade Explosion Method (GEM)* (Ahrari ir Atai, 2010) optimizavimo metodai (Črepinšek ir kt., 2012).

Vieną plačiausiai mokymosi tikslams taikomų optimizavimo metodų PSO (angl. *Particle Swarm Optimization*) pasiūlė J. Kennedy ir R. Eberhartas 1995 m. (Kennedy ir kt., 2001). Šis metodas buvo išvystytas socialinio elgesio modelių imitavimo būdu, spiečių dalelių būrimosi modelio pagrindu (Wang ir Tsai, 2009).

Studijų metu yra du svarbūs mokymosi procesai: naujų žinių įgijimas ir turimų žinių apžvalga. Šiuo metu pagrindinės mokymo sistemos orientuotos į naujų žinių įgijimą ir tik nedaugelis iš jų apžvelgia turimas žinias. K. H. Tsai, T. I. Wangas ir kt. siūlo kurso sudėtinę žinių apžvalgos sistemą, kuri naudoja DPSO

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

(angl. *Discrete Particle Swarm Optimization*) optimizavimą. Mokomoji medžiaga gali būti parinkta pagal besimokančiojo tikslus. Medžiagos rūšiavimo metodas pasiūlo tinkamą medžiagos išdėstymo eiliškumą (Wang ir Tsai, 2009).

Žinių gavimo *fuzzy* modelis (angl. *Fuzzy Knowledge Extraction Model*) rekomenduoja personalizuotą mokymosi kelią. Studijavimo patirties rezultatams išanalizuoti naudojamas ANT (angl. *Ant Colony Optimization*) skruzdės kolonijos optimizavimo modelis. ANT metodas mėgdžioja natūralias skruzdėles, kurios palieka feromonus palei kelius, privedančius prie maisto. Taikant šį metodą, mokiniai atlieka skruzdėlių vaidmenį. Čia tinkamu būdu formuojamas žymių palikimo takas, atsižvelgiant į studentų mokymosi eigą, užduočių atlikimą. Palei studijavimo kelius formuojamas specifinis mokymosi kontekstas. Tako žymės naudojamos tam, kad būtų atrasti efektyvūs mokymosi keliai mokiniams pagal jų specifinį mokymosi stilių ir kompetencijas. Kad metodas veiktų sėkmingai, reikalingas didelis besimokančiųjų kiekis bei ilgas studijavimo kelias (Wang, 2012).

Kita mokymo personalizavimo sistema siūlo besimokančiajam RSS pavidalu tinkamą, nagrinėjamame kontekste personalizuotą mokymo medžiagą pagal besimokančiojo mokymosi patirtį, kurią kaupia intelektinis interneto mokytojas IWT (angl. *Intelligent Web Teacher*) (Maioa ir kt., 2012).

2.1.3. Studijų kokybės vertinimas

Kokybės vertinimas yra aktuali įvairių veiklų problema. Kokybės sąvoka gali būti skirtingai suprantama (Pawlowski, 2008). Kokybės standarto dokumente ISO 9000 kokybė apibrėžiama kaip turimųjų charakteristikų visumos atitiktis reikalavimams laipsnis (ISO, 2013; Serafinas, 2014). *Dabartiniame lietuvių kalbos žodyne* kokybė apibrėžiama kaip ypatybė, vertė, tikimo laipsnis (Keinys ir kt., 2006). Lietuvių edukologas R. Laužackas mokymosi kokybę apibrėžia kaip tinkamas sąlygas plėtoti besimokančiojo asmenybės saviugdą, įvertinant nusistatytus kokybės reikalavimus, institucijos tikslus ir vartotojų poreikius, kai

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

sukurtos mokymosi galimybės ir situacijos turi visus mokymosi dalyvių poreikius tenkinančius bruožus (Laužackas, 2005; Volungevičienė ir Teresevičienė, 2008).

Pagal U. D. Ehlersą, kokybė gali būti analizuojama keliais skirtingais lygmenimis, turėti keletą skirtingų reikšmių, taip pat ją galima vertinti keliais skirtingais požiūriais (Ehlers, 2004; Volungevičienė ir Teresevičienė, 2008). M. Oliveris vertinimą apibūdina, kaip „procesą, kurio metu žmonės priima vertės nuosprendžius“ (Oliver, 2000).

Elektroninio mokymosi kokybė siejama su visais mokymosi ir švietimo procesais, rezultatais ir paslaugomis, teikiamomis pasitelkus informacines ir komunikacines sistemas (Pawlowski, 2007; Richter ir Pawlowski, 2007). Nuotolinio mokymosi kokybę galima gerinti dalyko projektavimo metu – tikslingai parenkant IT priemones nuotolinio mokymosi procesui, dalyko teikimo metu – didinant virtualiosios mokymosi aplinkos veiksmingumą, pavyzdžiui, taikant agentų sistemą (Baziukaitė, 2007b; Petrauskienė, 2011).

Kokybės užtikrinimo srityse atlikta nemažai reikšmingų tyrimų. A. Targamadžė, R. Petrauskienė nuotolinių studijų kokybę analizavo technologijų kaitos sąlygomis (Targamadžė ir Petrauskienė, 2008; Targamadžė ir Petrauskienė, 2011). Rengiant nuotolinių studijų modulį ir vykdant mokymus, pagrindinis dėmesys skiriamas mokymo medžiagos parengimui. Tai svarbus momentas visame studijų procese (Trinkūnas ir kt., 2008). R. Laužackas, M. Teresevičienė, A. Volungevičienė pateikė nuotolinio mokymosi turinio projektavimo modelį, grindžiamą nuotolinio mokymosi turinio kokybės vertinimo veiksniais (Laužackas ir kt., 2009). Vertinimo strategijos parengimas yra vienas iš autorių išskirtų nuotolinio mokymosi turinio projektavimo kokybės vertinimo veiksnių. A. Volungevičienė turinio kokybės vertinimui naudoja ekspertų duomenis, kurie apdorojami dispersinės analizės statistiniu metodu ANOVA, kuris taikomas kitų autorių studijų kokybės vertinimo darbuose, pavyzdžiui, J. Rusanganwa (2013), Y. Levy (2007).

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

Kalbant apie nuotolinio (tęstinio profesinio) mokymosi turinio planavimo ir organizavimo dėsningumus, pažymėtinas mokytojų / dėstytojų, kuratorių, administratorių, vadovų ir konsultantų tinkamas pasirengimas prieš prasidedant mokymuisi, jo metu ir po jo. Kad būtų pasiekta mokymosi turinio kokybė, reikia nuolat analizuoti besimokančiųjų poreikius (Jara ir Mellar, 2010), kelti mokymosi tikslus, taikyti tinkamus mokymosi organizavimo būdus, tinkamai planuoti mokymosi pasiekimų vertinimą, parinkti mokymosi turiniui tinkamas technologines priemones (Teresevičienė ir kt., 2008).

Kokybei nustatyti naudojama kokybės funkcija (QFD – *Quality Function Deployment*), kuri susideda iš klientų pageidavimų ir alternatyvų kokybės kriterijų sąveikos (Chan ir Wu, 2005). QFD 1996 m. pasiūlė japonų mokslininkas Y. Akao (Akao, 1990; QFD, 2013). S. Emre Alptekinas, E. Ertugrul Karsakas pasiūlė metodą elektroninio mokymo produkto atrankai ir vertinimui. Mokymo produktai, alternatyvos vertinamos ir ranguojamos atsižvelgiant į charakterizuojančias produkto tikslo reikšmes (Emre Alptekin ir Ertugrul Karsak, 2011). H. Y. Wu, H. Y. Linas vertino paslaugų kokybę elektroniniuose mokymuose (Wu ir Lin, 2012). Elektroninis mokymas yra toks būdas, kai mokymo efektyvumui didinti naudojamos informacinės ir komunikacinės technologijos (Dagienė ir kt., 2008).

Dėstyimo vertinimui C. Zhu ir X. Zhao taiko neuroninio tinklo modelį, pagrįstą PSO optimizavimo metodu (Zhu ir Zhao, 2009). Dėstyimo kokybė klasėje vertinama S. Sanyuano *Fuzzy AHP* metodu (Sanyuan, 2009). U. D. Ehlers mano, jog vertinant kokybę svarbiausia yra besimokančiojo perspektyva, nes kokybė tiesiogiai priklauso nuo besimokančiojo lūkesčių (Ehlers, 2004). Yra sukurta mokymosi efektyvumo vertinimo priemonių, skirtų studentams (SETE – *Student's Evaluation of Teaching Effectiveness*). SETE pavyzdžiai: „Studentų, mokymo kokybės reitingo sistema“ (*SIRS – Student Instructional Rating System*), „Dėstytojo ir kurso kokybės vertinimo sistema“ (*ICES – Instructor and Course Evaluation System*), „Studentų nuomonė apie

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

mokymą“ (*SDT – Student Description of Teaching*), „Mokymo kokybės vertinimo anketa studentams“ (*SEQ – Students’ Evaluations of Educational Quality*) ir „Mokymo išvystymo ir efektyvumo vertinimas“ (*IDEA – Instructional Development and Effectiveness Assessment*) (Wang, 2003).

Efektyvus dėstymas ir mokymas per nuotolines interneto sistemas priklauso nuo daugelio veiksnių, dar vadinamų kriterijais (Chao ir Chen, 2009; Govindasamy, 2002; Ong ir kt., 2004; Selim, 2007; Sun ir kt., 2008). Parengti gerai, lengvai suvokiamą kriterijų hierarchiją, modelį, kuris atspindėtų pagrindinį uždavinio tikslą, nėra paprasta. Yra siūlomos kriterijų atrankos, grupavimo metodai, modelio sudarymo principai, kurie palengvina modelio sudarymo darbą.

V. Belton ir T. Stewartas siūlo tokius daugiakriterių sprendimų analizės kokybės vertinimo modelio (kriterijų) sandaros principus:

- *Sąvokų siejimas su tikslu*: ekspertai-vertintojai turi aiškiai sieti pagrindines atitinkamos srities ekspertinio vertinimo sąvokas su vertinimo tikslu.
- *Vienodas suprantamumas*: visi vertintojai turi turėti vienodą supratimą apie vertinimo kriterijus.
- *Matuojamumas*: kriterijai turi būti realiai matuojami praktikoje, jie turi būti paaiškinti subkriterijais ir kokybės atitikimo kriterijaus lygiais.
- *Nepertekliškumas*: negali būti taip, kad viena ir ta pati savybė būtų aprašyta keliais skirtingais kriterijais.
- *Vertinimo nepriklausomumas*: vertintojai turi vertinti alternatyvas atskirai pagal kiekvieną kriterijų, bet turėti omenyje, kad egzistuoja ryšiai tarp kriterijų, t. y. kriterijai sudaro sistemą.
- *Išsamumo ir glaustumo dermė*: kriterijų neturi būti nei per daug, nei per mažai, jie neturi būti nei per daug stambūs, nei smulkūs, t. y. jie turi aprašyti visas pagrindines alternatyvos savybes, per daug nesileidžiant į detales. Kitaip tariant, modelis neturi versti vertintojų vertinti alternatyvų kokybę

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

aklai pagal formalius subkriterijus. Vertintojas turi suprasti kriterijaus reikalavimus kaip visumą ir vertinti atitinkamai.

- *Praktiškumas*: modelis turi būti taikytinas praktikoje ir neturi užimti nepagrįstai daug laiko.
- *Paprastumo ir sudėtingumo dermė*: nepaisant to, kad kokybės vertinimo problema yra labai sudėtinga, modelio kūrėjai turi pateikti vertintojams paprastą ir aiškią kriterijų sistemą (Belton ir Stewart, 2002).

Norint surūšiuoti ir atrinkti svarbiausius modelio kriterijus, R. J. Chao, Y. H. Chenas siūlo taikyti CFPR metodą (angl. *Consistent Fuzzy Preference Relations*, t. y. nuoseklūs *fuzzy* pirmenybiniai santykiai), kuris vertina efektyvaus nuotolinio mokymo kriterijų efektyvumą. CFPR metodas sumažina klausimų skaičių klausimyne, panašių kriterijų kiekį ir išvengia nenuoseklumo (Chao ir Chen, 2009).

G. H. Tzengas ir kt. teigia, kad didelis dėmesys yra skiriamas kokybės vertinimo metodams, o mažai dėmesio skiriama kokybės vertinimo modeliui. MCDM modeliui konstruoti autoriai taiko faktorinės analizės ir DEMATEL (angl. *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*) metodus. Faktorinės analizės metodas dažniausiai naudojamas kriterijams padalinti į grupes. DEMATEL metodas parodo ryšius tarp kriterijų, randa pagrindinį kriterijų, kuris atstovauja jų grupės veiksmingumui (Tzeng ir kt., 2007).

2.1.4. Ekspertinis vertinimas

Daugumoje žmogaus sprendžiamų uždavinių yra problemų, kurioms išspręsti nepakanka skaitinių duomenų arba neįmanoma išmatuoti tiriamojo objekto. Tada parenkami specialistai, papildantys duomenis savo įvertinimu. Be abejonės, norint priimti pagrįstą sprendimą, reikia remtis patirtimi, žiniomis bei intuicija (Orlov, 2002). Kokybės laipsnį dažniausiai nustato kvalifikuoti vertinimo srities specialistai – ekspertai (lot. „*expertus*“ – patyręs). Tai žmonės, turintys specialių konkrečios srities žinių ir įgūdžių (IPCC, 2000; Serafinas,

2014).

Eksperto parinkimo problema yra viena iš sunkiausių teoriškai ir praktiškai, kadangi asmenys, gebantys vertinti kurį nors požymį, nėra vienodos kompetencijos, skirtingos ir jų vertybės. Todėl iš pradžių reikėtų įvertinti pačius ekspertus, suformuluoti jų parinkimo principus.

Ekspertai parenkami, remiantis jų charakteristikomis, susijusiomis su profesine kompetencija: darbo patirtimi, stažu, moksliniu laipsniu ir moksline veikla, gebėjimu spręsti konkrečias atitinkamos srities problemas (Beshelev ir Gurvitch, 1974; Hora, 2009). Taikomi ir kiti ekspertų kompetencijos nustatymo ir atrankos būdai:

1) *Dokumentinis*: kompetencijos vertinimas socialinių-demografinių duomenų pagrindu.

2) *Eksperimentinis*: kompetencijos vertinimas testavimo, ankstesnės ekspertų veiklos efektyvumo patikrinimo pagrindu. Ekspertams užduodami paprasti tekstiniai klausimai, kurių rezultatas turi sutapti su tikrais rezultatais. Šis būdas naudojamas retai dėl klausimų sistemos kūrimo sunkumo bei ekspertinių uždavinių vertinimo subjektyvumo.

3) *Balsavimas*: kompetencijos vertinimas atestavimo pagrindu, kai asmenis rekomenduoja grupė.

4) *Savęs vertinimas*: savo kompetencijos vertinimas atliekant savianalizę (Tidikis, 2003).

Ekspertų apklausos metodikų yra įvairių. Priklausomai nuo klasifikacijos pagrindo, jas galima suskirstyti į penkias grupes:

1) *Pagal ekspertų tarpusavio ryšį*: akivaizdūs ir neakivaizdūs ekspertų apklausos metodai (Tidikis, 2003).

2) *Pagal vertinimų suderinimo procedūrą*: vienkartiniai ir daugkartiniai ekspertų apklausos metodai (Tidikis, 2003).

3) *Pagal ekspertų skaičių*: individualūs ir grupiniai metodai (Tidikis, 2003).

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

4) *Pagal atsakymo tipą*: ideologiniai, ranguojami, vertinant objektą santykinėje arba absoliutinėje (skaitinėje) skalėje (Orlov, 2002).

5) *Pagal iteracijų skaičių*: vieno žingsnio ir iteraciniai (procedūros kartojimas, siekiant tikslumo) (Orlov, 2002).

Individualus įvertinimo būdas yra tuomet, kai ekspertas vertina vienas ir išreiškia savo nuomonę nepriklausomai nuo kitų ekspertų. Sprendžiant sudėtingas, plataus masto problemas, reikalingas kolektyvinis, t. y. grupinis, ekspertų vertinimas. Tuomet ekspertai kartu rengia medžiagą arba priima sprendimą (Orlov, 2002). Grupinis sprendimo priėmimas geresnis už individualų tuo, kad didėjant sunkumui ir uždavinių apimčiai, vienas žmogus negali būti kompetentingas visais klausimais, negali atlikti viso, išplėto, ekspertinio darbo (Mironova, 2011).

Priklausomai nuo reikalavimų, keliamų gaunamai informacijai, ekspertų vertinimas gali būti įvairios formos – nuo profesionalių interviu arba neakivaizdinės individualios apklausos anonimine anketa iki atviros grupinės šių asmenų diskusijos, nagrinėjant problemą.

Ekspertiniai duomenų gavimo metodai klasifikuojami į:

- pasyvų vertinimą, kai ekspertas neatlieka vertinimo pats, ekspertai yra stebimi, o vėliau jų samprotavimai yra analizuojami;
- aktyvų vertinimą, kai vertinimą atlieka pats ekspertas (Orlov, 2002).

Praktikoje dažnesni aktyvūs ekspertinio vertinimo duomenų gavimo metodai:

- *Asociacijų metodas*: paremtas panašių savybių objekto tyrimo (Beshelev ir Gurvitch, 1974).
- *Porinio lyginimo metodas*: paremtas alternatyvų lyginimu poromis (Beshelev ir Gurvitch, 1974).
- *Laisvasis interviu*: individualus ekspertizės metodas, kai tyrėjas asmeniškai kreipiasi į jam žinomus specialistus dėl konsultacijos be iš anksto sudaryto

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

griežto pokalbio plano (Tidikis, 2003).

- *Nuomonių rinkimo*: ekspertams išsiunčiamos arba išdalijamos specialiai parengtos apklausos anketos, kuriose jie privalo išsamiai pareikšti savo nuomonę dėl pateiktų klausimų esmės (Tidikis, 2003).
- „*Smegenų ataka*“: kolektyvinis akivaizdus ekspertų darbas, kurio tikslas – rasti variantus sunkiai teorinei arba praktinei problemai išspręsti (Tidikis, 2003).
- *Formalizuota apklausa*: respondentai gauna smulkią anketą su uždaraisiais arba pusiau uždaraisiais klausimais, gauta informacija analizuojama ir kokybiškai, ir kiekybiškai (Tidikis, 2003).
- *Skalės vertinimų metodas*: skirtas kokybinei informacijai gauti, naudojant ekspertų požiūrį į ekspertizės dalyką, vertinimą pagal skalę (nominalią, ranginę, metrinę) (Tidikis, 2003).
- *Delfi metodas*: paremtas suderinta grupės ekspertų nuomone, priimta nepriklausomos anoniminės ekspertų apklausos būdu. Apklausa kartojama kelis kartus, kiekviename etape ekspertus informuojant apie ankstesnių apklausų rezultatus (Beshelev ir Gurvitch, 1974; Butakova, 2010).

Gautą iš ekspertų informaciją racionaliai panaudoti įmanoma tik pertvarkytą ir parengtą tolesnei analizei bei sprendimams. Informacijos pobūdis priklauso nuo tiriamų objektų savybių. Paplitę informacijos apdorojimo būdai yra du:

1) rangavimas,

2) tiesioginio vertinimo metodas (Tidikis, 2003).

Darbe naudojamas tiesioginio vertinimo metodas, kai vertinimas atliekamas 10 balų skalėje.

Rangavimas – procedūra tiriamų objektų reikšmei nustatyti, nurodant jų vietą hierarchijoje. Tai paprasčiausias vertinimo būdas, kai ekspertas nurodo, koks elementas yra svarbesnis, o koks mažiau svarbus. Suskaičiuojami kiekvieno objekto rangai, t. y. gaunama visų ekspertų įverčių suma.

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

Aukščiausias rangas suteikiamas objektui, kurio rangų suma yra mažiausia, o žemiausias rangas skiriamas objektui, kurio gautų rangų suma yra didžiausia. Rangavimo tikslumas ir patikimumas priklauso nuo lyginamų objektų skaičiaus. Praktika rodo, kad patikimiausi rezultatai gaunami tuomet, kai lyginamų objektų skaičius neviršija 20. Rangavimo metodas dažniausiai derinamas su kitais reguliavimo metodais, kurie užtikrina tikslesnį objektų išsidėstymą pagal savybių ryškumą. Šis metodas taikomas kartu su tiesioginio vertinimo metodu (Beshelev ir Gurvitch, 1974; Tidikis, 2003).

Taikant tiesioginio vertinimo metodą, tam tikros kokybinės kintamosios diapazonas yra suskaidomas intervalais. Kiekvienas intervalas turi savo balą. Ekspertas kiekvieną tiriamą objektą vertina pagal tam tikrą intervalą. Skalė turi būti sudaryta taip, kad kiekvienas balas atitiktų tam tikrą sąvoką, reiškiančią savybės intensyvumo lygį, kokybę arba tinkamumą. Tokių vertinimų patikimumui padidinti nustatomi visų svarbių sprendimui priimti veiksnių kokybiniai ryšiai (Tidikis, 2003).

Tačiau, net ir parinkus kvalifikuotus ekspertus, vertinimas gali būti klaidingas dėl žmogiškųjų faktorių. Pavyzdžiui, vertinimo susiejimas su kitomis išvadomis, noras paveikti galutinį rezultatą, nenoras prieštarauti kitaip manantiems arba pernelyg didelis pasitikėjimas taip pat gali lemti netinkamą / netikslų įvertinimą. Duomenys, gauti eksperto vertinimo pagrindu, yra neapibrėžti: keičiant ekspertų grupės sudėtį, mažinant ar didinant ekspertų skaičių, kartojant vertinimus, rezultatai bus nevienareikšmiai (Podvezko, 2006). Duomenų neapibrėžtumo sąlygomis efektyviai naudojama tikimybių teorija (Muromcev, 2005) bei neišraiškiosios logikos požiūris.

2.2. Bajeso metodo taikymas

Bajeso formulė buvo publikuota 1763 m., praėjus dvejiems metams po autoriaus Tomo Bajeso mirties. Tačiau metodai, kuriems naudojama Bajeso formulė, buvo

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

pradėti plačiai taikyti tik XX a. pabaigoje (Jakimauskas, 2014). Viena iš priežasčių buvo ta, kad formulės naudojimas reikalauja tam tikrų skaičiavimo sąnaudų. Tai tapo įmanoma tik plėtojant informacines technologijas.

Metodas taikomas įvairiose mokslo srityse: socialiniuose, ekonominiuose modeliuose, medicinoje (kai pagal ligos požymius nustatoma diagnozė), informatikoje (kai kovojama su elektroninėmis šiukšlėmis) (Graham, 2000), vaizdų analizėje (Stabingiene, 2012), klasikinės regresijos (Bishop ir Tipping, 2003), duomenų tyryboje (Jakimauskas, 2014), klasifikacijoje (Balys, 2009; Bishop ir Tipping, 2003; Jakimauskas, 2014), neuroniniuose tinklų modeliavime (MacKay, 1995), matavimo duomenų neapibrėžtumui įvertinti (Possolo ir Elster, 2014) ir kt. Šio metodo pritaikymą nagrinėjo ir Lietuvos mokslininkai: J. Mockus (Mockus ir kt., 1978; Mockus, 1989; Mockus, 1994; Mockus, 2002), A. Žilinskas (Mockus ir kt., 1978; Zhigljavsky ir Žilinskas, 2008), V. Tiesis (Mockus ir kt., 1978) ir kt.

Yra taikomųjų uždavinių, kai turimas didelis kiekis ankstesnių žinių, į kurias reikia atsižvelgti. Tokiu atveju, apdorojant duomenis tradiciškai, taikomas Bajeso metodas. Tačiau gauti duomenys yra netikslūs dėl matavimo klaidų, dėl to, kad ankstesnės žinios yra tikrai maždaug žinomos ir pan. Todėl šiame metode M. Steinis vartoja neraiškiųjų skaičių teoriją, atsižvelgdamas į šios informacijos netikslumus (Stein ir kt., 2013).

Medicinos diagnostikoje, nepaisant alternatyvių požiūrių, paremtų dirbtinio intelekto ir neuroninių tinklų metodais, Bajeso metodas iki šiol lieka populiarus statistiniu aspektu. Bajeso teorija atnaujina diagnostinę informaciją, kuri pateikta tikimybine forma (Berger, 1985; Howson ir Urbach, 1989). T. Saaty pasiūlė sujungti sprendimo priėmimo metodus ir Bajeso metodą į vieną teoriją, diagnozuojant ligas (Saaty, 2001).

Bajeso metodas dažnai naudojamas, norint įvertinti įvykių dažnumą, duomenų ar informacijos patikimumą (Ke ir Shen, 1999) ir retų įvykių, įvykstančių žinomose situacijose, tikimybes. Bajeso metodas leidžia suprasti ir

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

suformuluoti visas galimas hipotezes, ištiria esamą situaciją, atnaujina tos situacijos tikimybes, kurios buvo apskaičiuotos remiantis šiomis hipotezėmis. Šiame procese dažnai naudojamosi ekspertiniu vertinimu. Vienas iš panaudojimo pavyzdžių – tai apriorinės informacijos paruošimas, sujungiant ekspertinę informaciją su faktiniais duomenimis (Alzbutas, 2005; Dubauskaitė, 2009).

Statistiniais tikslo funkcijos modeliais pagrįsti Bajeso metodai yra optimalūs vidurkio prasme. Orientuojamasi ne į neparankiausio uždavinio, kurio greičiausiai nepasitaikys, paklaidą, o į visos uždavinių klasės paklaidų vidurkį (Dzemyda ir kt., 2007). Aptardami Bajeso metodus G. Dzemyda ir kt. pabrėžia, kad vienas iš jų pagrindinių privalumų yra tas, kad šie metodai grindžiami vidutinėmis, praktikoje aptinkamomis sąlygomis.

Nuomonės dėl Bajeso metodo taikymo ekspertiniam vertinimui skiriasi. B. G. Buchananas ir E. H. Shortliffe'as teigia, kad metodo pritaikymas bet kokių atveju neleidžia gauti tikslių rezultatų, kadangi naudojamos tikimybės yra subjektyvios (Buchanan ir Shortliffe, 1984). Tai pagrindinis argumentas prieš tikimybės metodo taikymą. Tokiais argumentais numatoma objektyvi tikimybės sąvokos interpretacija, t. y. manoma, kad „teisingos“ reikšmės vis tiek yra, bet mes jų negalime gauti, todėl negalime taikyti Bajeso metodo. Tačiau Bajeso metodo teorijoje subjektyvios tikimybės yra grindžiamos gerai žinoma tikslia ir aiškia aksiomų sistema, todėl matematinis aspektas abejonių nekelia.

2.3. Daugiakriteriai metodai

Metodai, taikomi ekspertų vertinimams atlikti, turi turėti teorinį pagrindą. Iš daugumos žinomų sprendimo priėmimo požiūrių ir metodų didžiausią susidomėjimą kelia tie, kurie suteikia galimybę atsižvelgti į daugiakriteriškumą ir neapibrėžtumą, taip pat leidžia pasirinkti sprendimą iš įvairių alternatyvų pagal kriterijus, turinčius skirtingas vertinimo skales (Andrejčikov ir Andrejčikova, 2002; Mironova, 2011). Per pastaruosius du šimtmečius daugiakriteriai sprendimo priėmimo metodai buvo taikomi daugelyje sričių. Jie buvo naudojami, sprendžiant praktines užduotis, tokiose srityse kaip medicina, žmogiškųjų išteklių, gamybinių sistemų valdymas, techninė diagnostika, rinkos sudarymas, aplinkosauga ir energetika, ekologija, vadyba, ekonomika ir t. t. (Kaklauskas ir Zavadskas, 2012). C. Zopounidis, M. Doumpos sudarė tokių taikomų sričių sąrašą (Zopounidis ir Doumpos, 2002), kurį vėliau papildė A. Kaklauskas, K. E. Zavadskas (Kaklauskas ir Zavadskas, 2012):

- *Medicina*: pacientų diagnozavimas ir ligos nustatymas, remiantis atitinkamais simptomais ir t. t.
- *Žmogiškųjų išteklių valdymas*: personalo suskirstymas į atitinkamos kvalifikacijos švietimo ir mokslo grupes.
- *Gamybinių sistemų valdymas ir techninė analizė*: gedimo stebėjimas diagnostiniais tikslais sudėtingose gamybos sistemose.
- *Rinkos sudarymas*: vartotojų paklausos pasitenkinimo lygio tyrimas, skirtingų vartotojų grupių charakteristikų analizė, plėtros strategijų vystymasis, naujų produktų rinkos kūrimas, pardavimo strategijų problemų, klientų poreikių analizė, aplinkos tvarkymas, darbo vertinimas.
- *Energija, aplinka ir ekologija*: skirtingų poveikių analizė ir vertinimas energetikos politikoje, energetinės politikos efektyvumo tyrimas, energetikos planavimas, atnaujinami energijos šaltiniai, subalansuota energija,

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

gyvenamųjų namų energinės sistemos, decentralizuotų energinių sistemų optimizacija, taršos mažinimas, aplinkos vertinimas, atliekų tvarkymas.

- *Verslas ir ekonomika*: nesėkmių prognozės versle, rizikos nustatymas imant kreditą įmonėms ir privatiems klientams, atsargumo klasifikacija, obligacijų vertės nustatymas, banko kortelių vertinimas, valstybės rizikos įvertinimas, užsakymų atranka ir valdymas, tyrimų vertinimas ir projektų plėtojimas, kapitalo investicijų rizikos analizė, rizikos kapitalas, verslo finansavimas, sandėliavimo parinkimo vieta, loginė analizė.

Daugiakriteriais metodais sprendžiamų problemų sričių yra įvairių. Pasaulyje sukurta daugybė metodų, kurių sprendžiami uždaviniai skiriasi pradiniais duomenimis, apdorojimo būdu, gaunamais rezultatais. Daugiakriteriai metodai skirstomi į grupes, kurių pavadinimas patikslina metodų panaudojimo būdą. Metodų klasifikavimo problema (Belton ir Stewart, 2002; Zavadskas ir kt., 2006) bei kiti klausimai yra sprendžiami ne tik mokslininkų, bet ir pirmaujančių tarptautinių organizacijų (Gorochoy, 2014): Tarptautinė MCDM bendrija „*International Society on Multi-criteria Decision Making*“ (ISMCDM, 2014), Euro darbo grupė MCDM klausimais „*Euro Working Group on MCDA*“ (EWGMDA, 2014), Informacinis skyrius MCDM „*INFORMS Section on MCDM*“ (Inform online, 2014).

C. L. Hwangas, K. Yoonas (Hwang ir Yoon, 1981) metodus klasifikuoja pagal turimos informacijos pobūdį: linijinio programavimo, paprastų svorių sudėjimo (SAW), analitinės hierarchijos proceso, naudingumo analizės, ELECTRE, idealaus taško (TOPSIS), PROMETHEE metodus (Šaparauskas, 2004).

Lietuvoje taikomi tokie daugiakriteriai metodai, kaip: SR (*Sum of Ranks*), GM (*Geometric Mean*), SAW (*Simple Additive Weighting*), TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution*), a compromise classification approach VIKOR (*Visekriterijumsko Kompromisino Rangiranje (in Serbian)*), COPRAS (*Complex Proportional Assessment*) ir PROMETHEE

2. NUOTOLINIŲ KURSŲ KOKYBĖS VERTINIMAS: MOKSLINĖS LITERATŪROS APŽVALGA

(*Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation*). Dažniausiai naudojami SAW, COPRAS ir TOPSIS (Podvezko, 2011). Daugiakriterių metodą COPRAS sukūrė Lietuvos mokslininkai E. K. Zavadskas ir A. Kaklauskas (Zavadskas ir kt., 2007). E. K. Zavadskas, Z. Turskis pasiūlė ARAS metodą (Zavadskas ir kt., 2010; Zavadskas ir Turskis, 2010). Daugiakriterių metodų palyginimą bei išsamią matematinę analizę savo publikacijose atliko V. Podvezko (Podvezko, 2006, 2009, 2011, 2012; Podvezko ir Podvezko, 2009a, 2009b).

Neapibrėžtumo įtakos vertinimą MCDM metoduose atliko V. Podvezko (Podvezko, 2006), R. Simanavičienė (Simanavičienė, 2011). Įvertinti neapibrėžtumo įtaką, nustatyti metodų kriterijų galimų svyravimų intervalus, įvertinti skirtingų variantų priėmimo tikimybes, jų rizikos laipsnį gali padėti Monte Karlo metodas (Podvezko, 2006). Taikant Monte Karlo metodą, dažniausiai tolydžiai pasiskirsčiusių atsitiktinių skaičių generavimas vyksta pagal tolygųjų arba normalųjų pasiskirstymus (Sakalauskas ir Žilinskas, 2006; Simanavičienė, 2011). Metodas plačiai taikomas skirtingose mokslo ir praktikos srityse (Podvezko, 2006), optimizavimo uždaviniams spręsti (Sakalauskas, 2002). Tačiau iki šiol nebuvo siūloma iš kelių MCDM metodų uždavinio kokybės vertinimui taikyti stabiliausią.

2.4. Antro skyriaus išvados

1. Vertinant nuotolinių studijų kursus, svarbūs veiksniai yra turinio patikrinimas, IT priemonių parinkimas ir studentų nuomonė apie kursų ir studijų kokybę. Todėl darbe išskiriami trys pagrindiniai vertinimo etapai nuotolinių studijų kursų kokybei nustatyti ir atrenkamos atitinkamos vertinimą atliekančios ekspertų grupės.
2. Bajeso metodas plačiai taikomas neapibrėžtumui įvertinti priimant sprendimus. Tačiau iki šiol nebuvo siūloma Bajeso metodą taikyti nuotolinių kursų kokybei vertinti. Tai padaryta šiame darbe.
3. MCDM metodai taikomi įvairiose srityse kokybei nustatyti, tačiau nebuvo parenkamas stabiliausias metodas atskiram uždaviniui spręsti.

3. Nuotolinių studijų kursų kompleksinė kokybės vertinimo metodika

Šiame skyriuje pristatoma kompleksinė nuotolinių studijų kursų kokybės vertinimo metodika, atsižvelgianti į ekspertų įverčių neapibrėžtumą. Pirmoje metodikos dalyje siūlomas Bajeso metodo taikymas. Bajeso metodas panaudoja visą sukauptą patirtį, t. y. visą istorinę informaciją apie kursų vertinimą, sujungiant ją su konkreto eksperto patirtimi ir nuojauta. Nagrinėjami įvairūs apriorinės informacijos ir eksperto vertinimo paklaidos skirstinių tankio funkcijų panaudojimo deriniai.

Antroji metodikos dalis paremta stabilaus MCDM (angl. *Multiple Criteria Decision Making*) metodo taikymu. Daugiakriterių metodų (tiesinės skaliarizacijos, SAW, TOPSIS, COPRAS, PROMETHEE) stabilumas vertinamas, nežymiai keičiant pirminių ekspertinių vertinimų duomenis ir fiksuojant, kaip keičiasi rezultatai, gauti taikant minėtus metodus. MCDM metoduose kriterijų svoriams nustatyti taikomi matematiškai pagrįsti AHP ir AHPF metodai. Šiame darbe, taikant AHPF metodą, siūlomas naujas neraiškiųjų

skaičių porinio palyginimo matricos sudarymas, atsižvelgiant į nepriklausomų grupės ekspertų nuomones. Darbe siūlomas Bajeso metodo taikymas kriterijų svoriams perskaičiuoti atsižvelgiant į kitų ekspertinių grupių nuomonę. Kompleksinis vertinimas atliekamas trimis nuosekliais etapais: I etapas – kurso turinio vertinimas, atliekamas dalyko specialistų, II etapas – informacinių priemonių panaudojimo vertinimas, atliekamas IT specialistų, III etapas – studentų atliekamas kurso kokybės vertinimas.

Kompleksinio vertinimo metodikos pritaikymo etapai:

1. Apriorinių duomenų ir kokybės kriterijų sistemos parengimas.

- Trijų vertinimo etapų NSK institucijos vertinimo patirties kaupimas.
- Tinkamų apriorinių $f(\theta)$ tankio funkcijų parinkimas.
- Trijų vertinimo etapų kurso kokybės kriterijų sistemos formavimas.

2. Ekspertų parinkimas.

- Kompleksinio vertinimo ekspertų grupių parinkimas. Eksperto kompetencija turi atitikti vertinimo tematikos kryptį. Siūlomos tokios ekspertų grupės: I etapas – dėstytojai, II etapas – IT specialistai, III etapas – studentai.
- Ekspertų kompetencijos nustatymas. Eksperto paklaidos $f(X \vee \theta)$ tankio funkcijų aprašymas. Siūloma dėstytojų kompetenciją nustatyti pagal pedagoginį vardą, IT specialistų – pagal aukštąjį informatikos išsilavinimą ir NSK vertinimo patirtį, studentus – pagal jų aktyvų dalyvavimą paskaitoje, dalykų žinių įverčius.
- Ekspertų parinkimas iš institucijos administracijos atsakingus už studijų kokybę. Ekspertai nustato trijų vertinimo etapų svarbumą.

3. Individuali ekspertinė apklausa.

- Kriterijų svarbumo (svorių) vertinimas. Ekspertai porinio palyginimo būdu vertina kurso kokybės kriterijų svarbumą.
- Kurso kokybės vertinimas. NSK apklausoje ekspertai vertina kursą dviem būdais: vienu įverčiu (Bajeso metodui taikyti) ir pagal numatytus

kriterijus (MCDM metodams taikyti).

- Vertinimo etapų svarbumo (svorių) vertinimas.

4. Ekspertinių įverčių apdorojimas.

- Porinio palyginimo matricų suderinamumo patikrinimas, nustatant suderinamumo indeksą ir suderinamumo santykį. Suderintų matricų atrinkimas.
- Ekspertų grupės nuomonių suderinamumo patikrinimas, apskaičiuojant konkordancijos W koeficientą ir χ^2 kriterijų.

5. Bajeso metodo taikymas NSK kokybei vertinti.

- Eksperto įvertis patikslinamas aposteriorine vidurkio funkcija $f_{vid}(X)$, priklausančia nuo eksperto kvalifikacijos ir sukaupotos NSK vertinimo informacijos. Buvo išnagrinėti įvairūs $f(\theta)$, $f(X \vee \theta)$ tankių funkcijų taikymo deriniai ir pasiūlytas tinkamiausias NSK kokybei vertinti – tai Gauso skirstinys.

6. MCDM metodų taikymas NSK kokybei vertinti.

- Kriterijų svorių skaičiavimas AHPF metodu.
- Kriterijų svorių perskaičiavimas Bajeso metodu, atsižvelgiant į kiekvienos ekspertų grupės nustatytą vertinimo etapo svarbumą.
- MCDM metodų stabilumo patikrinimas.
- Stabiliausio metodo pritaikymas NSK kokybei nustatyti.

7. Trijų vertinimo etapų suminis vertinimas ir rezultatų palyginimas.

- Taikant Bajeso metodą kurso kokybei nustatyti, skaičiuojamas trijų vertinimo etapų vidurkis.
- Taikant MCDM metodus, perskaičiuojami visų etapų svoriai, atsižvelgiant į vertinimo etapų svarbumą. Nustatoma kursų kokybė, taikant stabiliausią MCDM metodą.
- Palyginami Bajeso ir MCDM metodais gauti rezultatai.

3.1. Nuotolinių kursų kokybės vertinimas, taikant Bajeso metodą

Šios metodikos pagrindas yra Bajeso metodo taikymas, kai eksperto įvertį patikslina aposteriorinė vidurkio funkcija $f_{vid}(X)$, priklausanti nuo kursų apriorinės vertinimo patirties ir sprendimą priimančio eksperto kvalifikacijos. Patikslintu eksperto vertinimu vadinsime $f_{vid}(X)$ reikšmę, kai eksperto įvertis lygus X . Eksperto įverčio koregavimu vadinsime patikslinto ir X įverčių skirtumą.

Skyriuje aprašoma kurso kokybei vertinti taikoma Bajeso formulė bei naudojamų apriorinių ir eksperto paklaidos skirstinių tankio funkcijos. Atliekamas tyrimas, kuriame nagrinėjamos skirtingų tankio funkcijų derinių panaudojimo nuotolinių kursų kokybei vertinti galimybės.

3.1.1. Pilnosios tikimybės ir Bajeso formulės

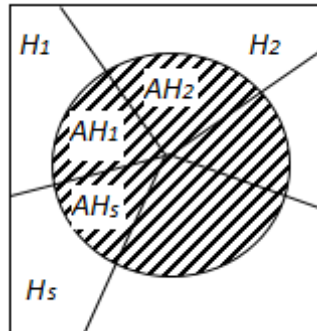
Sakykime, H_1, H_2, \dots, H_s poromis nesuderinami atsitiktiniai įvykiai (dar vadinami hipotezėmis) sudaro pilnąją įvykių grupę:

$$H_1 + H_2 + \dots + H_s = I. \quad (3.1)$$

Įvykis A gali įvykti kartu su vienu ir tik vienu iš H_ξ ($\xi = 1, 2 \dots s$) įvykių, todėl kiekvienam įvykiui A teisinga lygybė:

$$A = AI = A(H_1 + H_2 + \dots + H_s) = AH_1 + AH_2 + \dots + AH_s. \quad (3.2)$$

Ši lygybė geometriškai paaiškinama 1 paveiksle.



1 pav. Pilnosios tikimybės geometrinė interpretacija

Tuomet teisinga pilnosios tikimybės formulė:

$$P(A) = \sum_{\xi=1}^s P(H_{\xi})P(A|H_{\xi}). \quad (3.3)$$

Jeigu įvykis A jau įvyko, atliekamas visų $P(H_{\xi})$ tikimybių perskaičiavimas. Naujos sąlyginės hipotezių H_{ξ} tikimybės su sąlyga, kad A įvykis įvyko, apskaičiuojamos pagal formulę:

$$P(H_{\xi}|A) = \frac{P(AH_{\xi})}{P(A)} = \frac{P(H_{\xi})P(A|H_{\xi})}{P(A)}. \quad (3.4)$$

$P(H_{\xi}|A)$ vadinsime aposteriorinėmis hipotezių tikimybėmis, skirtingai nuo apriorinių hipotezių tikimybių $P(H_{\xi})$.

Pritaikius pilnosios tikimybės (3.3) formulę, gaunama Bajeso formulė:

$$P(H_{\xi}|A) = \frac{P(H_{\xi})P(A|H_{\xi})}{\sum_{\xi=1}^s P(H_{\xi})P(A|H_{\xi})} \quad (\xi = 1, 2, \dots, s). \quad (3.5)$$

Bajeso metodo idėja yra ta, kad jungiant apriorinę parametų tikimybę su imties informacijos tankio funkcija, gaunama aposteriorinė parametų tikimybės tankio funkcija.

Kitaip Bajeso formulę galima užrašyti taip:

$$f(\theta \vee X) = \frac{f(X \vee \theta)f(\theta)}{f(X)}, \quad (3.6)$$

čia $f(\theta \vee X)$ – aposteriorinė parametų θ tikimybės tankio funkcija,

naudojant empirinę informaciją apie atsitiktinius dydžius X . Parametras θ – tikroji kokybė, kitaip dar vadinama *gamtos būkle*.

Funkcija $f(X \vee \theta)$ Bajeso formulėje yra naujų įverčių X sąlyginės tikimybės tankis, kai tikroji kurso kokybė yra θ . Ši funkcija apibrėžia eksperto paklaidą, kuri atsiranda priimant vertinimą X , kai tikroji kokybė yra θ .

Aposteriorinė funkcija $f(\theta \vee X)$ atnaujina apriorinę informaciją apie θ pagal imties duomenis X . Apriorinė informacija įeina į aposteriorinę funkciją $f(\theta \vee X)$ per apriorinę funkciją $f(\theta)$, visa imties informacija gaunama per funkciją $f(X \vee \theta)$.

Funkcija $f(\theta)$ yra apriorinė kokybės θ tikimybės tankio funkcija. Tai pirminė informacija apie kokybę θ , gauta iš ankstesnių stebėjimų arba vertinimų. Apriorinis skirstinys yra tikslinamas pagal empirinę informaciją, todėl nebūtina tiksliai nurodyti $f(\theta)$, kartais pakanka nustatyti tik apriorinio skirstinio rūšį, kuriai priklauso $f(\theta)$. Apriorinė informacija – tai moksliskai pagrįsta arba sukauptais duomenimis grindžiama informacija. Funkcija $f(X)$ – stebėjimų X tankio funkcija visoms galimoms θ parametro reikšmėms, įvertinant jų subjektyvias tikimybes:

$$f(X) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\theta)f(X \vee \theta)d\theta. \quad (3.7)$$

Lyginant apriorinę ir aposteriorinę informaciją, nustatoma, kaip imties informacija pakeitė pirmines prielaidas.

3.1.2. Nuotolinių kursų vertinimui taikomų skirstinių tankio funkcijos

Trumpai apžvelgsime skirstinių, taikomų tyrime (žr. 3.1.3 skyrelyje), tankio funkcijas bei jų savybes.

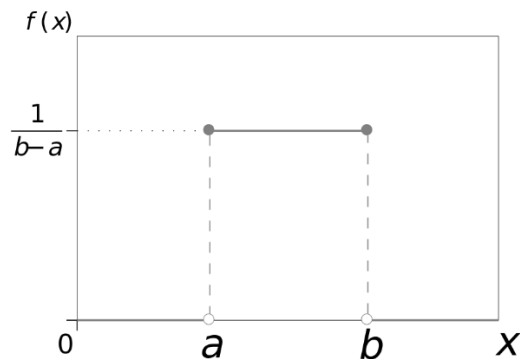
Tolygusis skirstinys

Kai intervale visų jam priklausančių atsitiktinių dydžių tankis yra pastovus,

naudojamas tolygusis skirstinys. Tankio funkciją naudojame tada, kai nėra realios informacijos arba manoma, kad ji tolygiai pasiskirsčiusi visame intervale. Ši funkcija apibrėžiama pagal formulę:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & \text{kai } x \in [a, b] \\ 0, & \text{kai } x \notin [a, b] \end{cases}. \quad (3.8)$$

Jos grafikas pateiktas 2 pav.



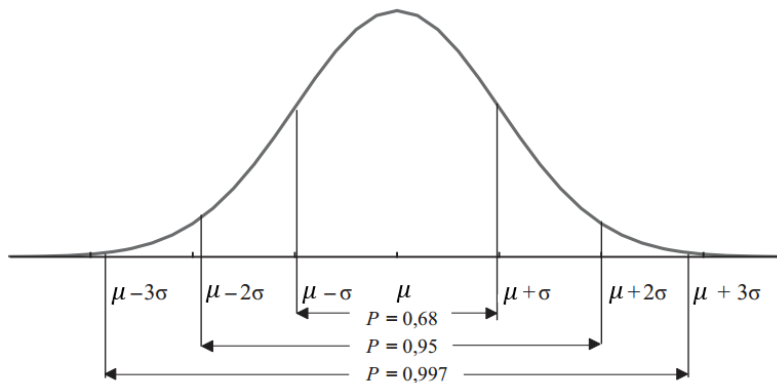
2 pav. Tolygiojo skirstinio tankio grafikas

Normalusis (Gauso) skirstinys

Normalusis, arba Gauso, skirstinys – tai vienas iš dažniausiai naudojamų tolydžiųjų skirstinių. Jis yra simetriškas vidurkio atžvilgiu, todėl gerai apibūdina daugelį matavimo rezultatų. Normaliojo skirstinio tikimybių tankio funkcija lygi:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.9)$$

čia μ – vidurkis, mediana, σ – vidutinis kvadratinis nuokrypis (standartinis nuokrypis). Gauso tankio funkcijos grafikas pateiktas 3 pav.



3 pav. Normaliojo (Gauso) skirstinio tankio grafikas

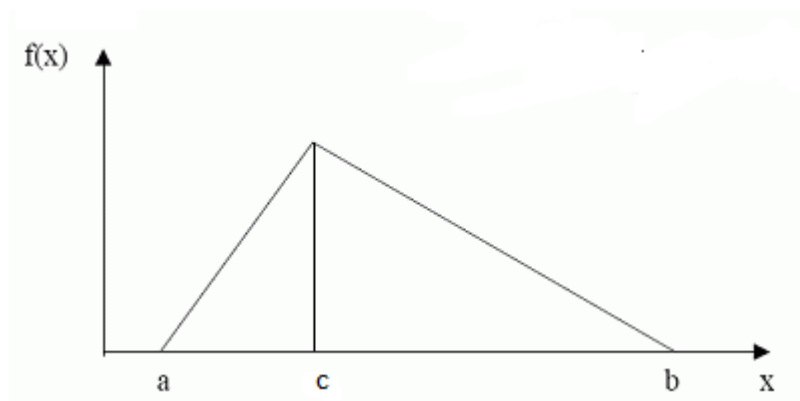
3 pav. grafike (Vencloviene, 2010) parodytos normaliojo skirstinio savybės, kaip išsidėsto plotas po tankio funkcijos grafiku nuo μ - vidurkio 3σ atstumu. Normaliojo skirstinio tankio plotas intervale $\pm 3\sigma$ nuo μ apytiksliai lygus 1.

Trikampio skirstinys

Trikampio skirstinys apibrėžiamas trimis parametrais – moda, mažiausia ir didžiausia reikšmėmis (Žitneva, 2006). Tankio funkcijos grafikas sudarytas iš dviejų atkarpų, viena iš kurių didėja, kai x keičiasi nuo minimalios reikšmės iki modos, o kita mažėja nuo modos iki maksimalios x reikšmės. Trikampio skirstinys naudojamas tada, kai žinoma labiausiai tikėtina reikšmė tam tikrame intervale. Trikampio skirstinio tankio funkcija yra tokia:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(c-a)(b-a)}, & \text{kai } a \leq x \leq c \\ \frac{2(b-x)}{(b-c)(b-a)}, & \text{kai } c \leq x \leq b \\ 0, & \text{kai } x \notin [a, b] \end{cases} \quad (3.10)$$

Trikampio skirstinio tankio funkcijos grafikas pavaizduotas 4 pav.



4 pav. Trikampio tankio funkcijos grafikas

Trikampio skirstinys lengvai taikomas ir interpretuojamas, bet jo panaudojimui reikia svaraus pagrindo (Žitneva, 2006).

3.1.3. Bajeso metodo taikymo kursų kokybei vertinti tyrimas

Ekspertas vertina kurso kokybę X pažymiu. Jo įvertį patikslina aposteriorinės vidurkio funkcija:

$$f_{vid}(X) = \int_a^b \theta \cdot f(\theta \vee X) d\theta. \quad (3.11)$$

Taikant Bajeso metodą aposteriorinei funkcijai apskaičiuoti naudojama visa sukaupta patirtis, t. y. visa istorinė informacija apie kursų vertinimą ir konkretaus eksperto kvalifikacija. Eksperto paklaidos $f(X \vee \theta)$ tankio funkcija priklauso nuo eksperto kvalifikacijos. Apriorinė $f(\theta)$ tankio funkcija – tai sukaupta nuotolinių studijų kursų vertinimo patirtis, čia θ yra tikroji kokybė.

Tyrimo tikslas – išnagrinėti įvairius $f(\theta)$, $f(X \vee \theta)$ tankių funkcijų panaudojimo derinius ir pasiūlyti tinkamiausią nuotolinių kursų kokybei vertinti.

Tyrimo planas:

- Tyrimui tinkamų tankio funkcijų $f(\theta)$, $f(X \vee \theta)$ ir jų parametrų parinkimas;
- Skirtingų tankio funkcijų derinių taikymo kokybei vertinti galimybių analizė;
- Bandomasis kursų vertinimas, keičiant tankio funkcijų parametrus. Gautų rezultatų palyginimas.

Tolesniuose skaičiavimuose apriorinei informacijai apie pirminę kurso kokybę aprašyti taikomi tolygiojo, trikampio ir Gauso skirstiniai. Kai kurso vertinimo patirtis yra nesukaupta arba nežinoma, apriorinis skirstinys yra tolygusis. Kitais atvejais naudojami Gauso ir trikampio skirstiniai, kurie yra tinkamiausi ekspertiniams vertinimams aprašyti. Eksperto paklaidos skirstinys $f(X \vee \theta)$ priklauso nuo eksperto kvalifikacijos k – tai yra eksperto vertinimo X nuokrypio nuo tikrojo kurso gerumo θ . Patyrusio eksperto paklaida paprastai būna nedidesnė už $k = 1$. Kuo eksperto kvalifikacija yra aukštesnė, tuo paklaida bus mažesnė, t. y. labai patyrusio eksperto paklaida $k = 0,8$. Eksperto, kurio patirtis mažesnė, paklaida $k = 1,2$.

Darbe naudojamas tolydinis Bajeso formulės atvejis, kuris suvokiamas kaip nenutrūkstama ekspertinių vertinimų aproksimacija. Problema ta, kad θ ir X darbe nagrinėjami kaip tolydiniai atsitiktiniai dydžiai, o ekspertai kokybės vertinimui paprastai naudoja sveikuosius skaičius X , dažniausiai intervale $[1,10]$. Tam, kad darbe tolydinė aproksimacija būtų priimtina, reikia tinkamai parinkti θ ir X kitimo intervalus.

Kurso įvertinimo patirtis Gauso skirstinyje aprašoma vidutiniu kvadratinu nuokrypiu ir vidurkiu, trikampio skirstinyje – moda. Trikampio intervalo ribos nustatomos dešimties balų vertinimo sistemos intervalu $[1,10]$. Eksperto paklaida $f(X \vee \theta)$ aprašoma lygiašonio trikampio ir Gauso skirstiniais.

3.1.3.1. Apriorinės tankio funkcijos**Tolygioji tankio funkcija apriorinei informacijai apibrėžti**

Kol nėra realios informacijos apie kursų vertinimą, manoma, kad θ tolygiai pasiskirsto galimų kurso vertinimų skalėje, todėl naudojame $f(\theta)$ tolygųjį skirstinį. Pradiniame etape intervale $[a, b]$ yra visų įmanomų kursų įverčiai dešimties balų skalėje, t. y. $a = 1, b = 10$.

$$f(\theta) = \begin{cases} \frac{1}{9}, & \text{kai } \theta \in [1,10] \\ 0, & \text{kai } \theta \notin [1,10] \end{cases} \quad (3.12)$$

Trikampio tankio funkcija apriorinei informacijai apibrėžti

Kai sukaupta informacija apie kursų kokybę yra žinoma, ją nesunku užrašyti trimis skaičiais: mažiausia, didžiausia ir tikėtiniausia reikšme μ . Kadangi apriorinės tankio funkcijos intervalas gali būti nepakankamas, trikampio mažiausiai ir didžiausiai reikšmėms aprašyti naudojamas įprastas vertinimo skalės intervalas $[1, 10]$. Todėl apriorinė trikampio tankio funkcija lygi:

$$f(\theta) = \begin{cases} \frac{2(\theta - 1)}{9(\mu - 1)}, & \text{kai } 1 \leq \theta \leq \mu \\ \frac{2(10 - \theta)}{9(10 - \mu)}, & \text{kai } \mu \leq \theta \leq 10 \\ 0, & \text{kai } \theta \notin [1,10] \end{cases} \quad (3.13)$$

Gauso tankio funkcija apriorinei informacijai apibrėžti

Aprioriniai normaliojo skirstinio (Gauso) funkcijos μ vidurkis ir vidutinis kvadratinis nuokrypis σ gali būti nurodomi pagal institucijos sukaupią informaciją, t. y. universiteto kursų įverčių μ ir σ reikšmes. Apriorinė Gauso tankio funkcija lygi:

$$f(\theta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.14)$$

3.1.3.2. Sąlyginės tankio funkcijos

Sąlyginė trikampio tankio funkcija eksperto paklaidai apibrėžti

Ekspertų paklaidos funkcija aprašoma trikampio tankio funkcija $f(X \vee \theta)$, kuri yra simetrinė tikrosios kurso kokybės θ atžvilgiu. Paklaida k nustatoma, kaip vertinimo nuokrypis nuo tikrojo kurso vertingumo θ . Sąlyginė trikampio tankio funkcija eksperto paklaidai aprašyti lygi:

$$f(X \vee \theta) = \begin{cases} \frac{X - \theta + k}{k^2}, & \text{kai } \theta - k \leq X \leq \theta \\ \frac{-X + \theta + k}{k^2}, & \text{kai } \theta \leq X \leq \theta + k. \\ 0, & \text{kai } X \notin [\theta - k, \theta + k] \end{cases} \quad (3.15)$$

Sąlyginė Gauso tankio funkcija eksperto paklaidai apibrėžti

Sąlyginė Gauso tankio funkcija aprašoma parametrais: X – eksperto nuomonė esant tikrajai kurso kokybei θ ; eksperto paklaida k ; eksperto X – pažymio nuokrypis nuo tikrosios kurso kokybės θ . Eksperto paklaidos Gauso tankio funkcija užrašoma taip:

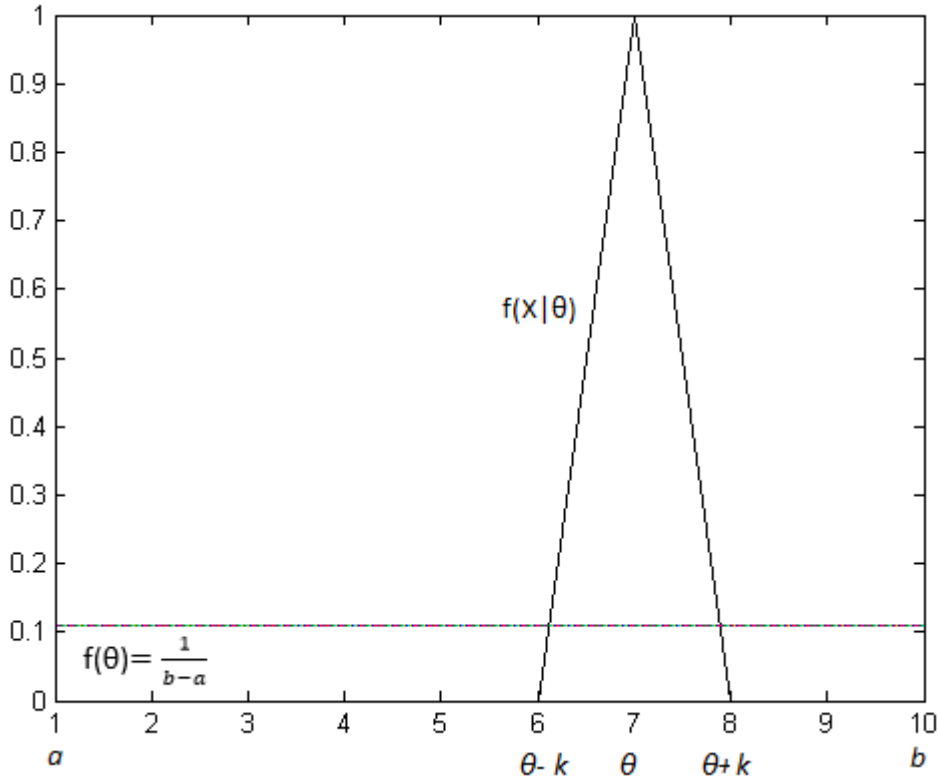
$$f(X \vee \theta) = \frac{1}{k\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}}. \quad (3.16)$$

Analizuojamos aprašytų skirstinių derinių taikymo kokybei vertinti galimybės. Keičiant apriorinės informacijos ir eksperto paklaidos skirstinių parametrų reikšmes, atliekamas bandomasis kursų vertinimas. Gaunami rezultatai analizuojami bei lyginami tarpusavyje.

Tiriami tokie deriniai: tolygusis apriorinis skirstinys su sąlygine trikampio ir Gauso funkcijomis, trikampio apriorinis skirstinys su sąlygine trikampio funkcija, Gauso apriorinis skirstinys su sąlygine trikampio ir Gauso funkcijomis.

Derinys „tolygusis skirstinys + trikampio skirstinys“

Kadangi tikroji kurso kokybė θ yra nežinoma, θ gali atsidurti bet kokiam $[a, b]$ intervalo taške, todėl eksperto paklaidos trikampis slankioja visame apriorinio skirstinio intervale. Atskiras apriorinio tolygiojo ir ekspertų trikampio paklaidos pasiskirstymų atvejis pavaizduotas 5 pav.



5 pav. Apriorinio tolygiojo ir ekspertų trikampio skirstinių grafikas

Kadangi $f(X)$ yra integralas nuo dviejų funkcijų sandaugos, funkcijos tankis $f(X \vee \theta) = 0$, kai $X \notin [X - k, X + k]$, todėl (3.7) formulę galima perrašyti taip:

$$f(X) = \int_{X-k}^X f(\theta)f(X \vee \theta)d\theta + \int_X^{X+k} f(\theta)f(X \vee \theta)d\theta. \quad (3.17)$$

Pagal (3.17) formulę stebėjimų X tikimybių tankio funkcija visoms galimoms θ reikšmėms aprioriniam tolygaus ir ekspertų trikampio skirstiniams yra tokia:

$$f(X) = \int_{X-k}^X \frac{1}{(b-a)} \cdot \frac{-X + \theta + k}{k^2} d\theta + \int_X^{X+k} \frac{1}{(b-a)} \cdot \frac{X - \theta + k}{k^2} d\theta. \quad (3.18)$$

Derinio „*tolygusis skirstinys + trikampio skirstinys*“ aposteriorinė tankio funkcija lygi:

$$\begin{aligned}
 f(\theta \vee X) &= \begin{cases} \frac{\frac{1}{(b-a)} \cdot \frac{(-X+\theta+k)}{k^2}}{\int_{X-k}^X \frac{1}{(b-a)} \cdot \frac{-X+\theta+k}{k^2} d\theta + \int_X^{X+k} \frac{1}{(b-a)} \cdot \frac{X-\theta+k}{k^2} d\theta}, & \text{kai } X-k \leq \theta \leq X \\ \frac{\frac{1}{(b-a)} \cdot \frac{(X-\theta+k)}{k^2}}{\int_{X-k}^X \frac{1}{(b-a)} \cdot \frac{-X+\theta+k}{k^2} d\theta + \int_X^{X+k} \frac{1}{(b-a)} \cdot \frac{X-\theta+k}{k^2} d\theta}, & \text{kai } X \leq \theta \leq X+k \\ 0, & \text{kai } \theta \notin [X-k, X+k] \end{cases} = \\
 &= \begin{cases} \frac{\frac{1}{(b-a)} \cdot \frac{(-X+\theta+k)}{k^2}}{\frac{1}{(b-a)} \left(\left(-\frac{\theta \cdot (2 \cdot X - \theta - 2 \cdot k)}{2 \cdot k^2} \right) \Big|_{X-k}^X + \left(\frac{\theta \cdot (2 \cdot X - \theta - 2 \cdot k)}{2 \cdot k^2} \right) \Big|_X^{X+k} \right)}, & \text{kai } X-k \leq \theta \leq X \\ \frac{\frac{1}{(b-a)} \cdot \frac{(X-\theta+k)}{k^2}}{\frac{1}{(b-a)} \left(\left(-\frac{\theta \cdot (2 \cdot X - \theta - 2 \cdot k)}{2 \cdot k^2} \right) \Big|_{X-k}^X + \left(\frac{\theta \cdot (2 \cdot X - \theta - 2 \cdot k)}{2 \cdot k^2} \right) \Big|_X^{X+k} \right)}, & \text{kai } X \leq \theta \leq X+k \\ 0, & \text{kai } \theta \notin [X-k, X+k] \end{cases} \quad (3.19) \\
 &= \begin{cases} \frac{(-X+\theta+k)}{k^2}, & \text{kai } X-k \leq \theta \leq X \\ \frac{(X-\theta+k)}{k^2}, & \text{kai } X \leq \theta \leq X+k \\ 0, & \text{kai } \theta \notin [X-k, X+k] \end{cases}
 \end{aligned}$$

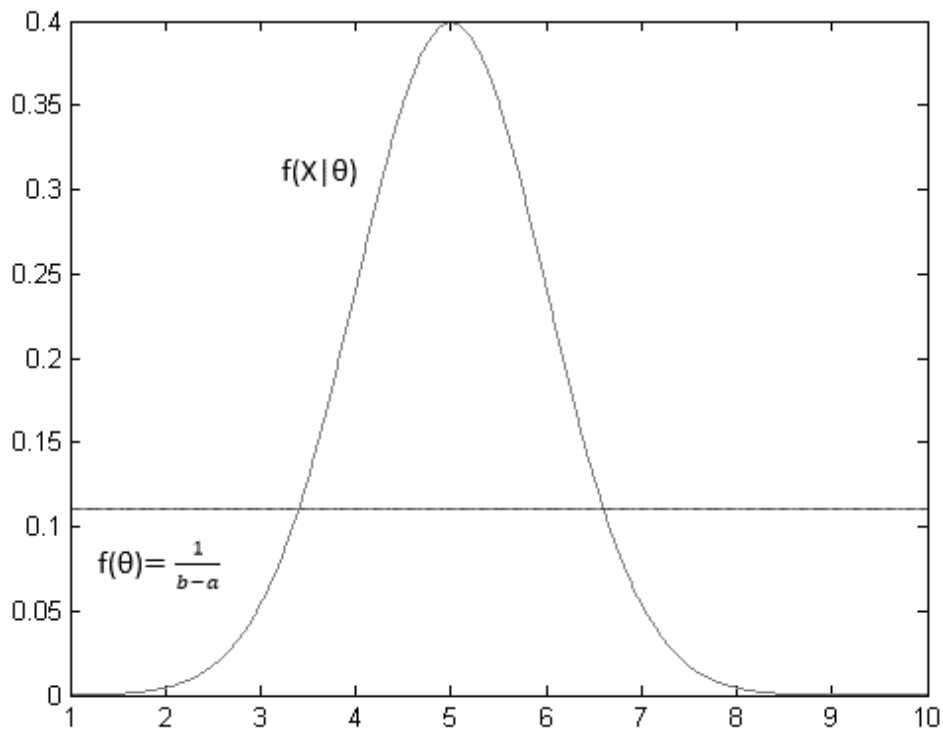
Nesunku parodyti, kad kai apriorinė tankio funkcija aprašoma tolygiuoju skirstiniu, o $f(X \vee \theta)$ sąlygine trikampio tankio funkcija, aposteriorinės tankio vidurkio funkcija $f_{vid}(X)$ lygi X . Pagal (3.11) formulę skaičiuojama aposteriorinės funkcijos (3.19) vidurkio funkcija:

$$\begin{aligned}
 f_{vid}(X) &= \int_{X-k}^X \left(\theta \cdot \frac{(-X+\theta+k)}{k^2} \right) d\theta + \int_X^{X+k} \left(\theta \cdot \frac{(X-\theta+k)}{k^2} \right) d\theta \\
 &= \left(\frac{-3X\theta^2 + 2\theta^3 + 3k\theta^2}{6 \cdot k^2} \right) \Big|_{X-k}^X + \left(\frac{3X\theta^2 - 2\theta^3 + 3k\theta^2}{6 \cdot k^2} \right) \Big|_X^{X+k} \quad (3.20) \\
 &= \frac{3X-k}{6} + \frac{3X+k}{6} = X
 \end{aligned}$$

(3.20) formule parodėme, kad kai apriorinė informacija aprašoma tolygiuoju funkcijos tankiu, nepriklausomai nuo eksperto kvalifikacijos k , patikslinta eksperto įverčio reikšmė $f_{vid}(X)$ yra lygi pačiai reikšmei X , t. y. eksperto įvertinimo koregavimas lygus 0. Todėl vertinimo rezultatus su sukaupta apriorine informacija yra patogu lyginti su tiesine funkcija, kuri reiškia pradinės informacijos nebuvimą.

Derinys „tolygusis skirstinys + Gauso skirstinys“

Gauso sąlyginė tankio $f(X \vee \theta)$ funkcija slankioja visame apriorinio tolygiojo skirstinio intervale. Atskiras apriorinio tolygiojo ir ekspertų Gauso skirstinių atvejis pavaizduotas 6 pav.



6 pav. Apriorinio tolygiojo ir ekspertų Gauso skirstinių grafikas

Stebėjimų X tikimybių tankio funkcija visoms galimoms θ parametro reikšmėms yra tokia:

$$f(X) = \int_{X-k}^{X+k} \frac{1}{(b-a)} \cdot \frac{1}{k\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta. \quad (3.21)$$

Pritaikę (3.6) formulę, skaičiuojame aposteriorinę derinio „tolygusis skirstinys + Gauso skirstinys“ tankio funkciją:

$$f(\theta \vee X) = \begin{cases} \frac{\frac{1}{(b-a)} \cdot \frac{1}{k\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}}}{\int_{X-k}^{X+k} \frac{1}{(b-a)} \cdot \frac{1}{k\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta}, & \text{kai } \theta \in [a, b] \\ 0, & \text{kai } \theta \notin [a, b] \end{cases} \quad (3.22)$$

$$= \begin{cases} \frac{e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}}}{\int_{X-k}^{X+k} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta}, & \text{kai } \theta \in [a, b] \\ 0, & \text{kai } \theta \notin [a, b] \end{cases}.$$

Nesunku parodyti, kad kai apriorinė tankio funkcija aprašyta tolygiu ju skirstiniu, sąlyginė tankio funkcija $f(X \vee \theta)$ aprašyta Gauso skirstiniu, tai aposteriorinės tankio funkcijos vidurkio funkcija $f_{vid}(X) = X$.

Pagal (3.11) formulę skaičiuojama aposteriorinės funkcijos (žr. (3.22) formulę) vidurkio funkcija:

$$\begin{aligned} f_{vid}(X) &= \int_{X-k}^{X+k} \theta \cdot f(\theta \vee X) d\theta = \int_{X-k}^{X+k} \theta \cdot \frac{e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}}}{\int_{X-k}^{X+k} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta} d\theta \\ &= \frac{1}{\int_{X-k}^{X+k} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta} \cdot \int_{X-k}^{X+k} \theta \cdot e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta \\ &= \frac{1}{\int_{X-k}^{X+k} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta} \cdot \int_{X-k}^{X+k} (-X + \theta + X) \cdot e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta \\ &= \frac{-\int_{X-k}^{X+k} (X - \theta) \cdot e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta}{\int_{X-k}^{X+k} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta} + \frac{X \cdot \int_{X-k}^{X+k} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta}{\int_{X-k}^{X+k} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta} \\ &= \frac{k^2 \int_{X-k}^{X+k} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d(e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}})}{\int_{X-k}^{X+k} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta} + X = \frac{k^2 e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} \Big|_{X-k}^{X+k}}{\int_{X-k}^{X+k} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta} + X = X. \end{aligned} \quad (3.23)$$

Patogu patikslintas ekspertų vertinimų reikšmes lyginti su $f(X)_{vid} = X$ grafiku, parodančiu nulinį eksperto vertinimų koregavimą.

Taikant tolygiąją apriorinę tankio funkciją su sąlyginėmis trikampio ir

Gauso funkcijomis, aposteriorinės vidurkio funkcijos yra $f(X)_{vid} = X$, nepriklausomai nuo sąlyginės tankio funkcijos k parametro. Rezultatai logiškai paaiškinami, kadangi nėra sukauptos vertinimų patirties, eksperto įverčiai X nekoreguojami, lieka tokie patys. Toliau apriorinei informacijai aprašyti taikomos trikampio ir Gauso tankio funkcijos.

Derinys „trikampio skirstinys + trikampio skirstinys“

Apriorinė informacija aprašoma trikampio skirstinio tankio funkcija, kuri pateikta (3.13) formulėje. Eksperto paklaida aprašoma trikampio sąlygine tankio funkcija su moda θ taške. Funkcija pateikta (3.15) formulėje. Trikampis yra slenkamas apriorinės tankio funkcijos ribose. Vienas iš atskirų „trikampio skirstinys + trikampio skirstinys“ derinių atvejų pavaizduotas 7 paveiksle.

Pagal (3.17) formulę skaičiuojame stebėjimų X tikimybių tankio funkciją visoms galimoms θ parametro reikšmėms:

$$f(X) = \int_{X-k}^X \frac{2(\theta-a)}{(\mu-a)(b-a)} \cdot \frac{(-X+\theta+k)}{k^2} d\theta + \int_X^{X+k} \frac{2(b-\theta)}{(b-\mu)(b-a)} \cdot \frac{(X-\theta+k)}{k^2} d\theta. \quad (3.24)$$

Taikydami Bajeso (3.6) formulę skaičiuojame aposteriorinę „trikampio skirstinys + trikampio skirstinys“ deriniui tankio funkciją:

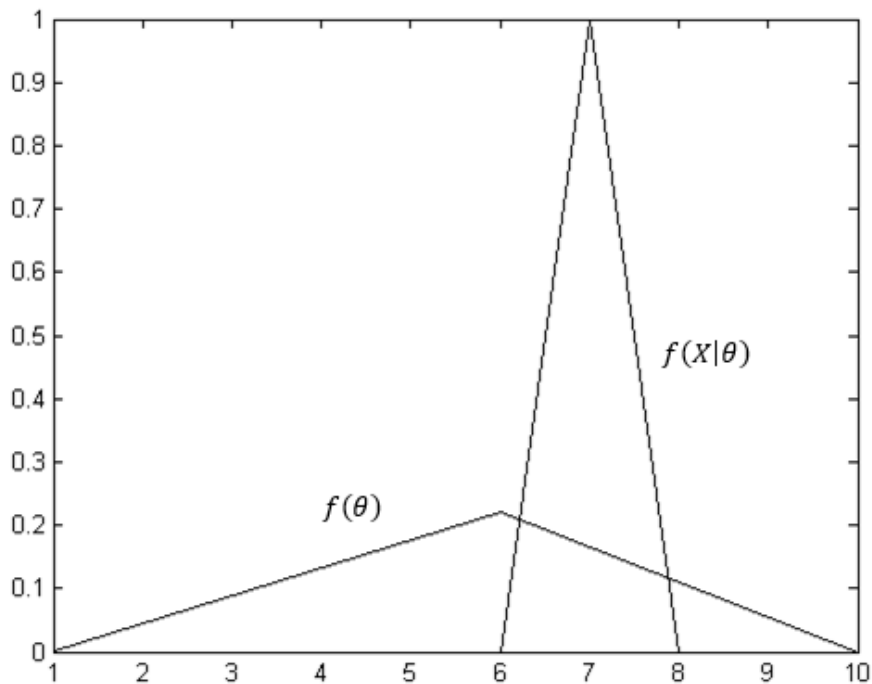
$$f(\theta \vee X) = \begin{cases} \frac{\frac{2(\theta-a)}{(\mu-a)(b-a)} \cdot \frac{(-X+\theta+k)}{k^2}}{\int_{X-k}^X \frac{2(\theta-a)}{(\mu-a)(b-a)} \cdot \frac{(-X+\theta+k)}{k^2} d\theta + \int_X^{X+k} \frac{2(b-\theta)}{(b-\mu)(b-a)} \cdot \frac{(X-\theta+k)}{k^2} d\theta}, & \text{kai } X-k \leq \theta \leq X \\ \frac{\frac{2(b-\theta)}{(b-c)(b-a)} \cdot \frac{(X-\theta+k)}{k^2}}{\int_{X-k}^X \frac{2(\theta-a)}{(\mu-a)(b-a)} \cdot \frac{(-X+\theta+k)}{k^2} d\theta + \int_X^{X+k} \frac{2(b-\theta)}{(b-\mu)(b-a)} \cdot \frac{(X-\theta+k)}{k^2} d\theta}, & \text{kai } X \leq \theta \leq X+k \\ 0, & \text{kai } \theta \notin [X-k, X+k] \end{cases} \quad (3.25)$$

Pritaikę (3.11) formulę, randame $f_{vid}(X)$ funkciją, kuri priklauso nuo μ ir k parametrų.

Išanalizuokime kelis pavyzdžius, keisdami apriorinio trikampio modą bei ekspertų paklaidą k . Tolesni skaičiavimai atliekami naudojantis *Derive 5* matematiniu paketu.

Tarkime, kad apriorinio trikampio tankio funkcijos vidutinė reikšmė $\mu = 6$, o ekspertų tankio funkcijos paklaida $k = 1$. Tankio funkcijos grafikai

pavaizduoti 7 pav., grafike slankiojo trikampio θ reikšmė įgyja reikšmę 7.

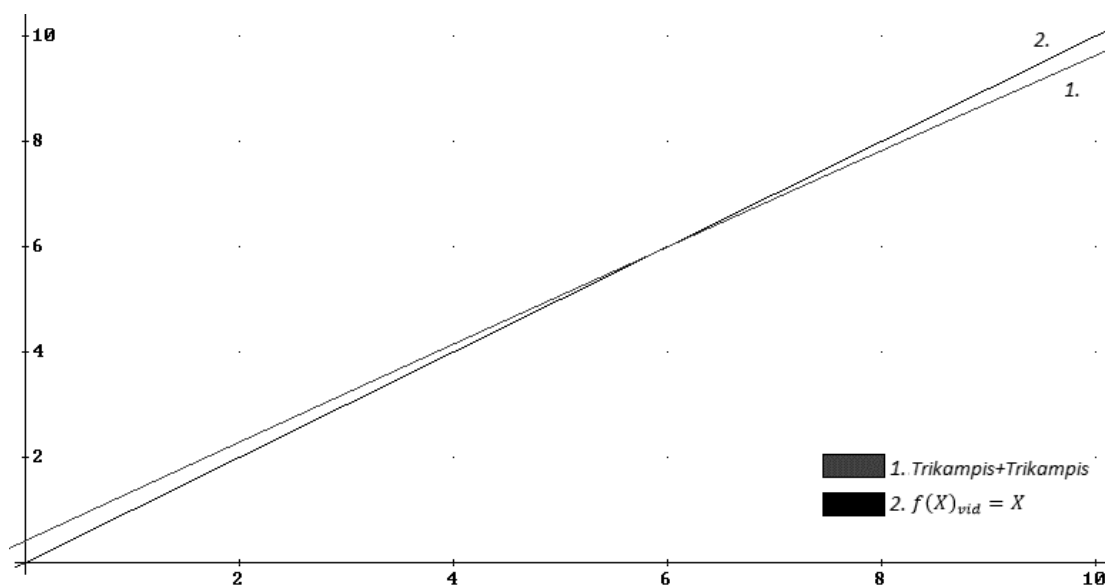


7 pav. Trikampio apriorinis ($\mu=6$, $k=1$) ir eksperto sąlyginis skirstiniai

Taikant *Derive 5* matematinį paketą buvo apskaičiuota (3.25) formule užrašyta aposteriorinė funkcija. Pagal (3.11) formulę skaičiuojamas aposteriorinės funkcijos vidurkis $f_{vid}(X)$ su anksčiau išvardintais parametrais. Šios vidurkio funkcijos grafikas (tiesė nr. 1) pavaizduotas 8 paveiksle.

Apskaičiuokime eksperto įverčių X reikšmes, patikslintas $f(X)_{vid}$ funkcija. Funkcijų vidurkio $f(X)_{vid}$ reikšmės yra šios: $f(1)_{vid}=1.353$, $f(2)_{vid}=2.288$, $f(4)_{vid}=4.149$, $f(6)_{vid}=5.995$, $f(8)_{vid}=7.823$, $f(10)_{vid}=9.631$.

Iš gautų rezultatų matome, kad vidutinės kvalifikacijos ekspertui ($k = 1$) įvertinus kursą labai žemu įverčiu, t. y. $X = 1$, patikslintas kurso įvertis pakeliamas 0,353, kadangi apriorinio skirstinio vidurkis $\mu = 6$ yra didesnis už eksperto X įvertinimą. Įvertinus kursą aukščiau už $\mu = 6$ reikšmę, patikslintas įvertis bus mažesnis už X įvertį. Kai eksperto vertinimas sutampa su aprioriniu vidurkiu μ , tada patikslintas įvertis lygus eksperto įverčiui, $f(6)_{vid}=5.995$.



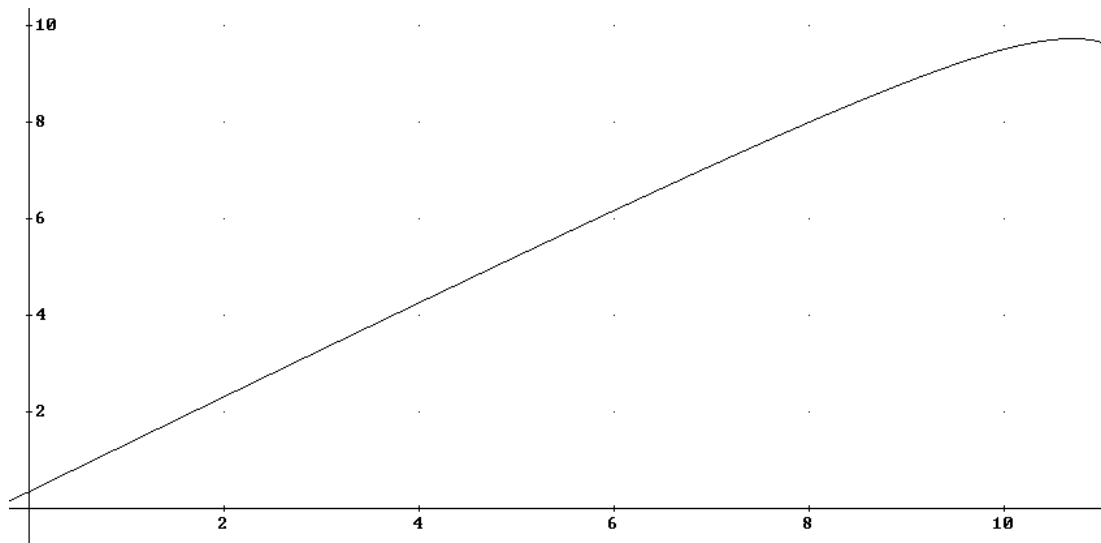
8 pav. Vidurkio funkcijos grafikas, kai apriorinio trikampio skirstinio parametrai $\mu = 6$, $a = 1$, $b = 10$ ir sąlyginis trikampio skirstinys su paklaida $k = 1$

Palyginkime gautos aposteriorinės vidurkio funkcijos grafiką (nr. 1) su $f(X)_{vid} = X$ (nr. 2) funkcija. 8 pav. matome, kad grafikai susikerta, kai eksperto įvertis sutampa su aprioriniu vidurkiu ($X = 6$). Kai eksperto įverčiai X didesni už apriorinį vidurkį $\mu = 6$, funkcijos nr. 1 reikšmės sumažėja funkcijos $f(X)_{vid} = X$ (nr. 2) atžvilgiu. Kai eksperto įvertis X mažesnis už $\mu = 6$, funkcijos nr. 1 reikšmės padidinamos, lyginant su grafiku nr. 2.

Kai eksperto kvalifikacija didėja, pvz., $k = 0,8$, tai funkcijų vidurkio $f(X)_{vid}$ reikšmės yra tokios: $f(1)_{vid} = 1.279$, $f(2)_{vid} = 2.228$, $f(4)_{vid} = 4.119$, $f(6)_{vid} = 5.997$, $f(8)_{vid} = 7.862$, $f(10)_{vid} = 9.711$. Rezultatai yra analogiški prieš tai aprašyto pavyzdžio rezultatams. Žemesni už apriorinį μ ekspertiniai įverčiai yra padidinami, aukštesni už apriorinį μ įverčiai pamažinami. Kadangi ekspertas yra aukštos kvalifikacijos, jo nuomone pasitikima labiau, todėl įverčio koregavimas yra neesminis.

Išanalizuokime ekspertinių įverčių patikslinimą, padidinus apriorinę vidutinę reikšmę $\mu = 8,3$ (9 pav.). Kai eksperto paklaida $k = 1$, funkcijų vidurkio $f(X)_{vid}$ reikšmės yra tokios: $f(1)_{vid} = 1.3343$, $f(2)_{vid} = 2.314$, $f(4)_{vid} = 4.26$, $f(6)_{vid} = 6.17$, $f(8)_{vid} = 7.99$, $f(8,3)_{vid} = 8.257$, $f(10)_{vid} = 9.509$.

Gautos patikslintos reikšmės yra didesnės už $f(X)_{vid}$ reikšmes, kai apriorinis vidurkis yra lygus $\mu = 6$ (8 pav.).



9 pav. Vidurkio funkcijos grafikas, kai apriorinio trikampio skirstinio parametrai $\mu=8,3$, $a=1$, $b=10$ ir sąlyginio trikampio skirstinio paklaida $k=1$

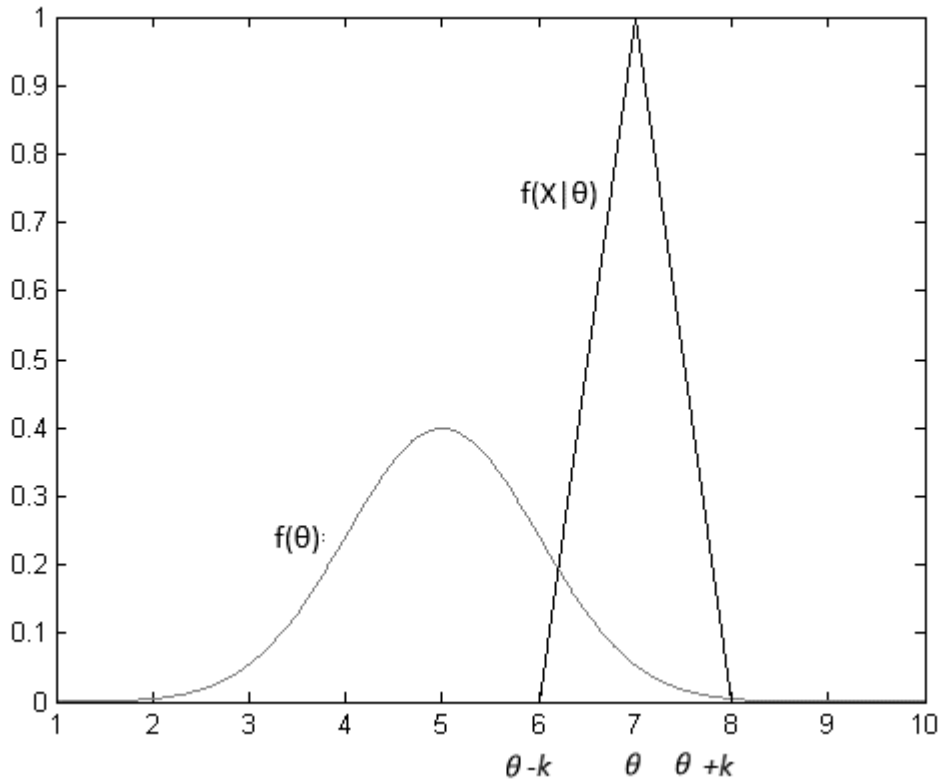
Kaip matyti 9 paveiksle, funkcijos grafikas užsiriečia, kadangi sąlyginės trikampio tankio funkcijos grafikas $f(\theta \vee X)$ galutiniame apriorinės funkcijos intervale įgyja reikšmę θ ir sąlyginė trikampio tankio funkcija išeina iš apriorinio trikampio skirstinio intervalo ribų. Todėl funkcijos $f(10)_{vid}$ reikšmė yra netiksli.

Taigi esant aukštai (žemai) apriorinei μ reikšmei, nerekomenduojama naudoti derinio „trikampio skirstinys + trikampio skirstinys“ dėl netikslumų aposteriorinės vidurkio funkcijos pabaigoje (pradžioje). Išnagrinėkime kitą atvejį, kai apriorinė informacija pasiskirsto pagal Gauso skirstinį.

Derinys „Gauso skirstinys + trikampio skirstinys“

Apriorinė informacija aprašoma Gauso skirstinio tankio funkcija. Funkcija pateikta (3.14) formulėje. Eksperto paklaida apibrėžiama sąlygine trikampio tankio funkcija (žr. (3.15) formulę). Apriorinio Gauso skirstinio (kai $\mu = 5$, $\sigma = 1$) ir eksperto simetrinio trikampio skirstinio (kai $k = 1$) grafikai

pavaizduoti 10 paveiksle, kai slankiojo trikampio θ yra taške 7.



10 pav. Apriorinio Gauso ir ekspertų simetrinio trikampio skirstinių grafikas

Taikant (3.17) formulę, stebėjimų X tankio funkcija visoms galimoms θ parametro reikšmėms gali būti užrašyta kaip reiškinys:

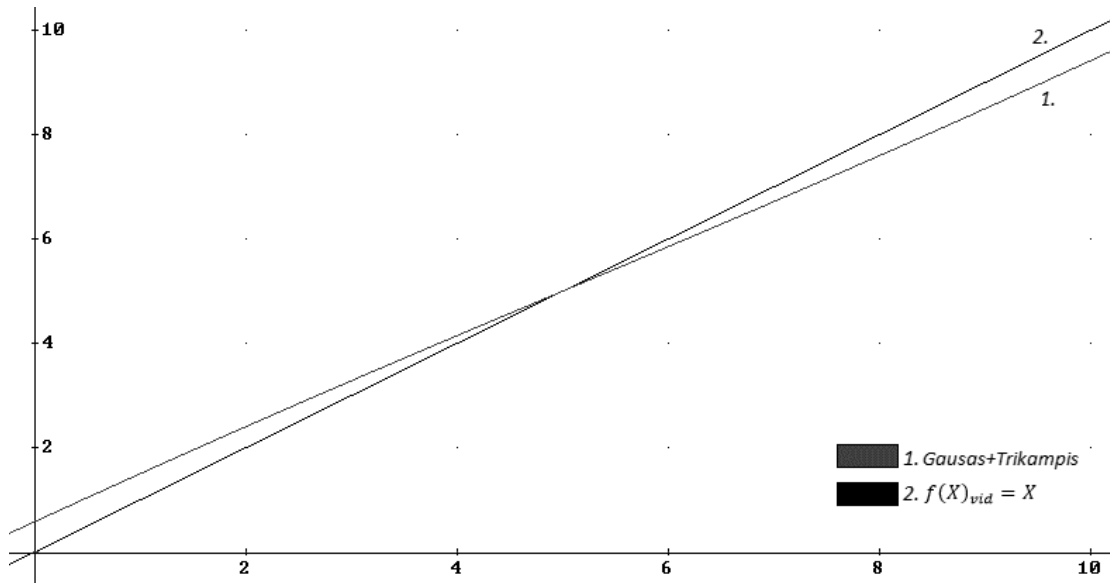
$$f(X) = \int_{X-k}^X \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{(-X+\theta+k)}{k^2} d\theta + \int_X^{X+k} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{(X-\theta+k)}{k^2} d\theta. \quad (3.26)$$

Pagal Bajeso (3.6) formulę skaičiuojame derinio „Gauso skirstinys + trikampio skirstinys“ aposteriorinę tankio funkciją:

$$f(\theta \vee X) = \begin{cases} \frac{\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{(-X+\theta+k)}{k^2}}{\int_{X-k}^X \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{(-X+\theta+k)}{k^2} d\theta + \int_X^{X+k} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{(X-\theta+k)}{k^2} d\theta}, & \text{kai } X-k \leq \theta \leq X \\ \frac{\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{(X-\theta+k)}{k^2}}{\int_{X-k}^X \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{(-X+\theta+k)}{k^2} d\theta + \int_X^{X+k} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{(X-\theta+k)}{k^2} d\theta}, & \text{kai } X \leq \theta \leq X+k \\ 0, & \text{kai } \theta \notin [X-k, X+k] \end{cases} \quad (3.27)$$

Ištirsime vidurkio funkcijos $f(\theta \vee X)$ priklausomybę nuo apriorinio Gauso vidurkio, vidutinio kvadratinio nuokrypio bei eksperto paklaidos k parametrų.

Funkcijų vidurkio $f(X)_{vid}$ reikšmės, kai apriorinio Gauso skirstinio parametrai $\mu = 5$, $\sigma = 1$ ir sąlyginės trikampio tankio funkcijos paklaida $k = 1$, yra tokios: $f(1)_{vid}=1.5023$, $f(2)_{vid}=2.4032$, $f(4)_{vid}=4.1468$, $f(5)_{vid}=5$, $f(6)_{vid}=5.8531$, $f(8)_{vid}=7.5967$, $f(10)_{vid}=9.4184$. Funkcijos grafikas pavaizduotas 11 pav.



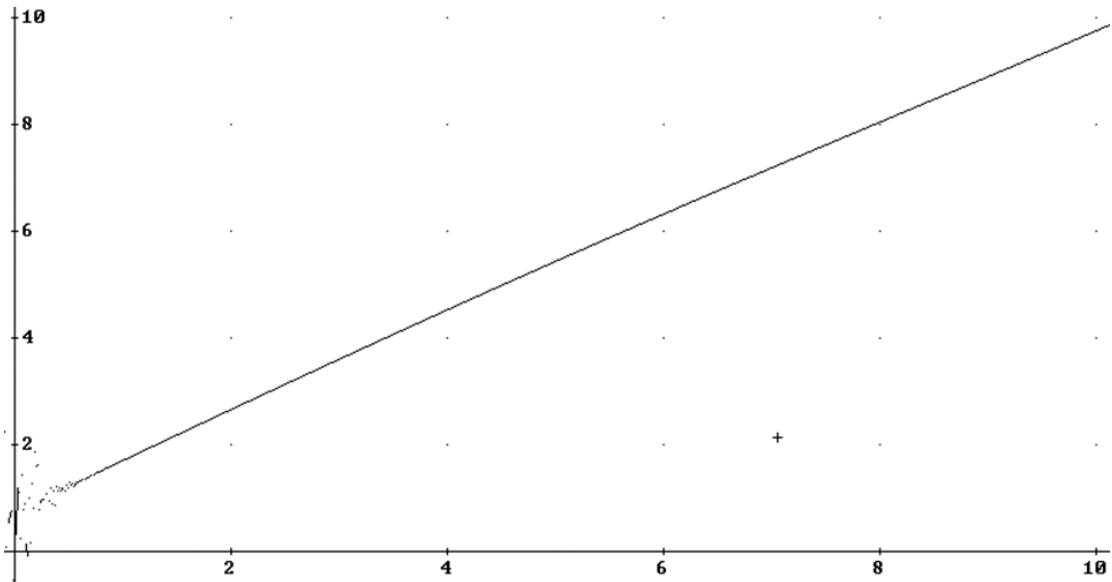
11 pav. Vidurkio funkcijos grafikas, kai apriorinio Gauso skirstinio parametrai $\mu=5$, $\sigma=1$ ir sąlyginis trikampio skirstinys su paklaida $k=1$

Analizuojant rezultatą 11 paveiksle matoma, kad nr. 1 grafiko reikšmės didesnės už nr. 2 grafiką – kai $X < \mu$ ir mažesnės – kai $X > \mu$. Apriorinės tankio funkcijos vidurkis daro įtaką eksperto patikslintam įverčiui $f(X)_{vid}$: jeigu įvertis X mažesnis už apriorinį vidurkį, jis padidinamas, jei didesnis – pamažinamas.

Analizuojant, kokią įtaką eksperto kompetencija turi eksperto X įverčio patikslinimui, paaiškėjo, kad kuo eksperto kompetencija didesnė, tuo įverčio koregavimas yra mažesnis. Esant mažesnei eksperto paklaidai ($k = 0,8$) eksperto X įvertis koreguojamas neženkliai. Didėjant k paklaidai, eksperto X įverčio koregavimas didėja.

Padidinus apriorinės funkcijos parametą $\mu = 8,3$, vidurkio funkcijos $f(X)_{vid}$ reikšmės padidėjo $f(1)_{vid}=1.7051$, $f(2)_{vid}=2.6595$, $f(4)_{vid}=4.5281$,

$f(6)_{vid}=6.3216$, $f(8)_{vid}=8.0445$, $f(8,3)_{vid}=8.3$, $f(10)_{vid}=9.7557$. Kaip matyti 12 paveiksle, $f(X)_{vid}$ funkcija intervalo pradžioje nėra tolydi. Kai apriorinės Gauso tankio funkcijos vidurkis yra didelis, plotas (po Gauso funkcijos grafiku) intervalo pradžioje yra mažas. Sąlyginis trikampis išeina iš apriorinės funkcijos intervalo ribų, kai sąlyginio trikampio reikšmė θ yra apriorinės funkcijos intervalo pradžioje. Dėl apriorinės ir sąlyginės tankio funkcijų mažo ploto $f(X)_{vid}$ funkcijos intervalo pradžioje atsiranda netolydumas. Didinant Gauso apriorinės funkcijos μ reikšmę, $f(X)_{vid}$ funkcijos pradžioje netolydus intervalas didėja.



12 pav. Vidurkio funkcijos grafikas, kai apriorinio Gauso skirstinio parametrai $\mu=8,3$, $\sigma=1$ ir sąlyginis trikampio skirstinys su paklaida $k=1$

Pakeitus apriorinio skirstinio standartinį nuokrypį, $\sigma = 1,2$ (kai $\mu = 8,3$) $f(X)_{vid}$ funkcija intervalo pradžioje yra tolydi. Vidurkio funkcijos reikšmės yra tokios: $f(1)_{vid}=1.5961$, $f(2)_{vid} = 2.5446$, $f(4)_{vid} = 4.4121$, $f(6)_{vid} = 6.2377$, $f(8)_{vid} = 8.0320$, $f(8,3)_{vid} = 8.3$, $f(10)_{vid} = 9.8216$. Lyginant gautas reikšmes su $f(X)_{vid}$ reikšmėmis (kai $\sigma = 1$, $\mu = 8,3$), matyti, kad jos sumažėjo. Kadangi Gauso funkcija (kai $\sigma = 1,2$) yra plačiau pasiskirsčiusi vertinimo intervale, bendras plotas dviejų skirstinių yra mažesnis

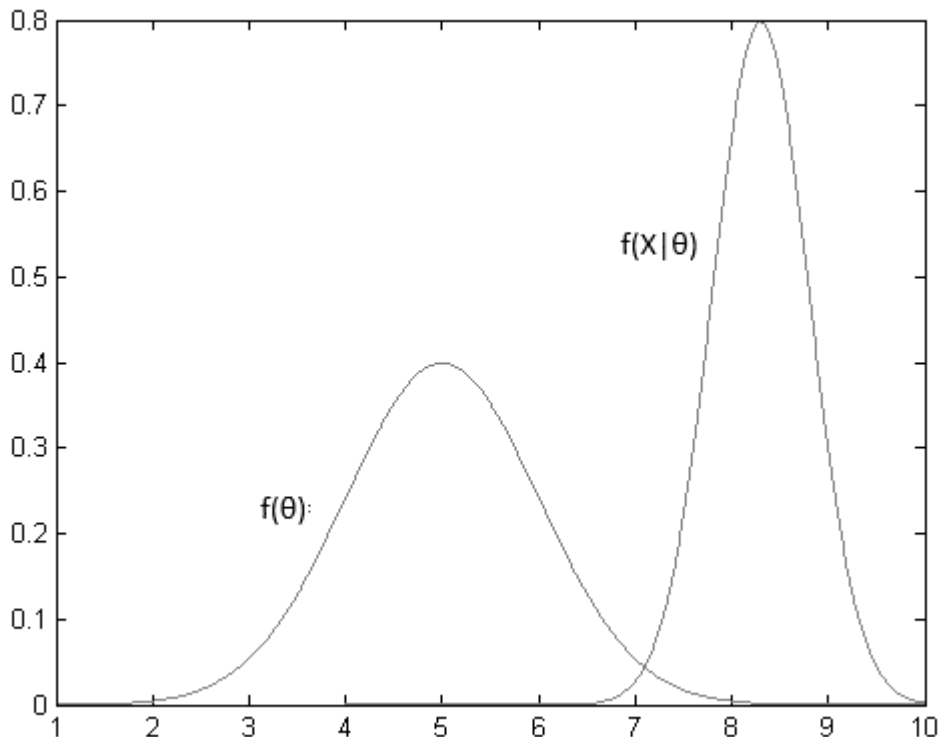
visame vertinimo intervale.

„Gauso skirstinys + trikampio skirstinys“ atveju esant aukštai apriorinei reikšmei funkcijos grafikas pradžioje nėra tolydus. Didėjant Gauso apriorinės funkcijos vidurkiui, vidurkio funkcijos netolydus intervalas didėja. Esant žemam aprioriniam vidurkiui vidurkio funkcijos grafikas nėra tolydus funkcijos intervalo gale.

Derinys „Gauso skirstinys + Gauso skirstinys“

Apriorinė informacija pasiskirstyta pagal Gauso skirstinio tankio funkciją. Gauso skirstinio tankio funkcija pateikta (3.14) formulėje. Gauso sąlyginė tankio funkcija pateikta (3.16) formulėje.

Atskiras atvejis, kai apriorinės Gauso tankio funkcijos ($\mu = 5, \sigma = 1$) ir Gauso paklaidos tankio funkcijos ($k = 1$) grafikai, pavaizduotas 13 paveiksle.



13 pav. Apriorinio Gauso ($\mu=5, \sigma=1$) ir ekspertų Gauso ($k=1$) skirstinių grafikas

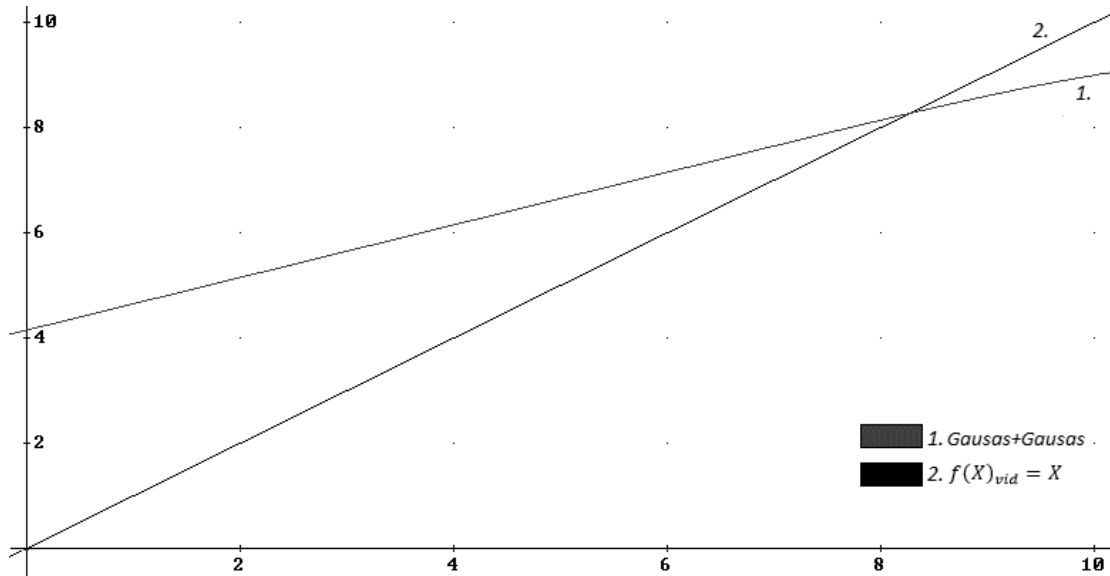
Taikant (3.17) formulę, stebėjimų X tankio funkcija visoms galimoms θ parametro reikšmėms gali būti užrašyta kaip reiškiny:

$$f(X) = \int_{X-k}^X \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{1}{k\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta + \int_X^{X+k} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{1}{k\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta \quad (3.28)$$

Pagal Bajeso formulę (3.6) derinio „Gauso skirstinys + Gauso skirstinys“ aposteriorinė tankio funkcija lygi:

$$f(\theta \vee X) = \begin{cases} \frac{\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{1}{k\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}}}{\int_{X-k}^X \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{1}{k\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta + \int_X^{X+k} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{1}{k\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta}, & \text{kai } X-k \leq \theta \leq X \\ \frac{\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{1}{k\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}}}{\int_{X-k}^X \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{1}{k\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta + \int_X^{X+k} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{1}{k\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\theta)^2}{2k^2}} d\theta}, & \text{kai } X \leq \theta \leq X+k \\ 0, & \text{kai } \theta \notin [a, b] \end{cases} \quad (3.29)$$

Taikydami (3.29) formulę, skaičiuojame aposteriorinės funkcijos $f(X)_{vid}$ funkciją. Kai apriorinio Gauso skirstinio parametrai $\mu = 8,3$, $\sigma = 1$ ir sąlyginės Gauso tankio funkcijos $k = 1$, $f(X)_{vid}$ grafikas (nr. 1) pavaizduotas 14 paveiksle.



14 pav. Vidurkio funkcijos grafikas, kai apriorinio Gauso skirstinio parametrai $\mu=8,3$, $\sigma=1$ ir sąlyginės Gauso tankio funkcijos paklaida $k=1$

Kaip matyti 14 paveiksle, funkcijos nr. 1 grafikas yra didesnis už nr. 2 grafiką, kai $X > 8,3$ ir mažesnis, kai $X < 8,3$. Kai eksperto įvertis X yra mažesnis už apriorinį vidurkį μ , aposteriorinė vidurkio funkcija $f(X)_{vid}$ didina

X reikšmę, o kai $X < \mu$ – mažina X reikšmę.

Kadangi kitų derinių atvejais atsirasdavo funkcijos trūkiai būtent esant aukštom apriorinio skirstinio vidurkio reikšmėms, atlikime skirtingos kompetencijos ekspertų palyginimą, kai apriorinis vidurkis yra labai aukštas, $\mu = 9$. Iš pradžių paimkime nedidelį apriorinio skirstinio vidutinį kvadratinį nuokrypį, $\sigma = 1$ (1 lentelė).

1 lentelė. *Kurso vidutinio įverčio priklausomybė nuo eksperto įverčio X , kai $\mu=9$, $\sigma=1$*

Eksp. paklaidos / Eksp. įverčiai	X=1	X=2	X=4	X=6	X=8	X=9	X=10
$k = 0,8$	4,12	4,73	5,95	7,17	8,38	8,93	9,33
$k = 1$	5	5,5	6,5	7,50	8,47	8,89	9,21
$k = 1,2$	5,72	6,13	6,95	7,77	8,53	8,85	9,12

Nepaisant to, kad apriorinis vidutinis įvertis yra aukštas ($\mu = 9$), šio varianto funkcija tolydi visame funkcijos intervale. Įverčio koregavimas auga, didinant k parametą.

Palyginkime $f(X)_{vid}$ reikšmes, esant skirtingos kompetencijos ekspertams, didindami apriorinio skirstinio pažymių sklaidą $\sigma = 2$ (2 lentelė).

2 lentelė. *Kurso vidutinio įverčio priklausomybė nuo eksperto įverčio X , kai $\mu=9$, $\sigma=2$*

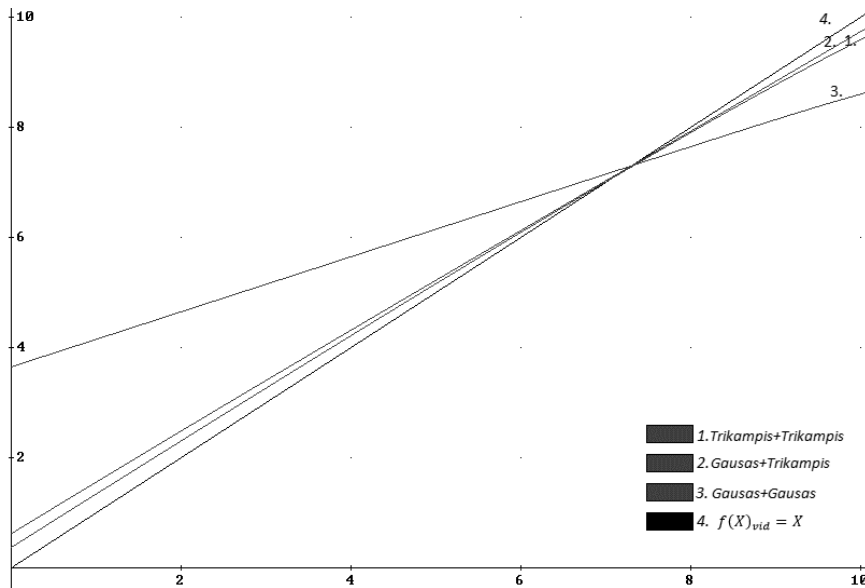
Eksp. paklaidos/Eksp. įverčiai	X=1	X=2	X=4	X=6	X=8	X=9	X=10
$k = 0,8$	2,2	2,97	4,69	6,41	8,13	8,87	9,35
$k = 1$	2,67	3,41	5	6,6	8,15	8,78	9,2
$k = 1,2$	3,17	3,86	5,32	6,79	8,16	8,69	9,08

Kai pažymių sklaida didesnė, rezultatai mažiau koreguojami, mažiau skiriasi nuo tikrojo eksperto X įverčio. Aukštos eksperto kvalifikacijos ($k = 0,8$) įverčio koregavimas yra mažesnis.

Esant „Gauso skirstinys + Gauso skirstinys“ atvejui, nepaisant to, kad apriorinis vidutinis įvertis yra aukštas (arba žemas), gauname logiškus rezultatus visame intervale. Pirmuoju ir antruoju atvejais intervalo galuose pastebimi

netikslumai dėl tolydinės sveikųjų skaičių aproksimacijos. Pirmuoju atveju intervalo galuose grafikas pradeda mažėti. Antruoju atveju atsiranda netolydumas. Pirmais atvejais buvo ir kitas netikslumų šaltinis, nes intervalo galuose paklaidos tankis išeina už apriorinio skirstinio ribų intervalo.

Palyginsime anksčiau aprašytus atvejus, kai apriorinės tankio funkcijos vidurkio reikšmė lygi $\mu = 7,3$, $\sigma=1$, o eksperto paklaida $k = 1$.



15 pav. Kurso vidutinio įverčio skaičiavimo rezultatai, kai $\mu=7,3$, $\sigma=1$, $k=1$

3 lentelė. Kurso vidutinio įverčio priklausomybė nuo eksperto įverčio X , kai $\mu=7,3$, $\sigma=1$, $k=1$

Funkcijos/Exp. įverčiai	X=1	X=2	X=4	X=6	X=7,3	X=8	X=10
„trikampis+trikampis“	1,34	2,30	4,22	6,09	7,28	7,91	9,59
„Gausas+trikampis“	1,65	2,60	4,44	6,19	7,3	7,89	9,63
„Gausas+Gausas“	4,15	4,65	5,65	6,65	7,3	7,65	8,6

Nagrinėjant atvejus (3 lentelėje), kai apriorinės informacijos vidutinė reikšmė yra 7,3, eksperto paklaida $k = 1$, didžiausia koregavimas yra „Gauso skirstinys + Gauso skirstinys“ atveju. „Gauso skirstinys + Gauso skirstinys“ atveju $f_{vid}(X)$ funkcijos reikšmės žymiai skiriasi nuo X eksperto vertinimo. Mažiausiai skiriasi „trikampio skirstinys + trikampio skirstinys“ atveju.

Iš gautų tyrimo rezultatų matyti, kad visais siūlomais atvejais funkcijų vidurkio $f(X)_{vid}$ reikšmės logiškai keičiasi atsižvelgiant į apriorinę patirtį: X įvertis padidinamas, kai $X < \mu$, ir pamažinamas, kai $X > \mu$. Aukštos kvalifikacijos eksperto (t. y. $k = 0,8$) nuomone pasitikima, todėl jo pažymio koregavimas nedidelis. Didėjant paklaidai k (t. y. $k = 1, k = 1,2$), didėja ir įverčio koregavimas. Kai apriorinei informacijai aprašyti naudojamas Gauso skirstinys, didinant pažymių sklaidą rezultatai yra mažiau koreguojami, mažiau skiriasi nuo X eksperto įverčio.

Kaip matyti iš rezultatų, Bajeso metodas yra tinkamas nuotolinių kursų kokybei vertinti. Pastebėta, kad dviejų trikampių panaudojimas rodo ne visai logiškus rezultatus intervalo galuose.

Kai apriorinio Gauso funkcijos vidutinė reikšmė yra labai didelė (arba labai maža), o eksperto paklaida aprašoma siauru trikampiu, funkcijos pradžioje (atitinkamai galuose) gali taip pat atsirasti nelogiškų rezultatų, susijusių su tolydine sveikųjų atsitiktinių skaičių aproksimacija.

Trečiasis atvejis, kai abi funkcijos yra Gauso skirstiniai, yra stabiliausias. Kaip ir tikėtasi, vertinimui tinkamiausias yra Gauso skirstinių taikymas apriorinei ir eksperto paklaidai apibrėžti.

3.2. Nuotolinių kursų kokybės vertinimas, taikant stabilųjį MCDM metodą

Skyriuje nagrinėjamos daugiakriterių metodų taikymo nuotolinių studijų kursų kokybei vertinti galimybės. Vienas iš disertacijos uždavinių – pristatyti MCDM metodus kaip matematinės optimizacijos dalį.

3.2.1. MCMD metodų optimizavimo uždavinio formulavimas

Optimizavimo uždaviniai aktualūs įvairiose žmonių veiklos srityse. Skirtingais atvejais uždaviniai sprendžiami tam skirtais optimizavimo metodais (Žilinskas,

2005).

Formuluojant optimizavimo uždavinį, darbe pateikiama optimizuojamų elementų aibė ir jos elementų gerumo matas (kokybės įverčiai).

Optimizavimo uždavinys užrašomas kaip $\underset{x \in D}{opt} f(x)$,

čia $f(x): D \rightarrow Y$ yra tikslo funkcija, arba kriterijus; D yra optimizuojamų objektų aibė arba leistina sritis; opt yra mažiausia arba didžiausia funkcijos $f(x)$ reikšmė (Dzemyda ir kt., 2007).

Literatūroje galima rasti nemažai įvairių optimizavimo uždavinių klasifikacijų (Dzemyda ir kt., 2007; Žilinskas, 2005). Paprastai kiekvienai uždavinių klasei sukuriama specifiniai sprendimo metodai pagal tos klasės savybes (Dzemyda ir kt., 2007).

Vektorinio optimizavimo Pareto uždavinys sprendžiamas parenkant geriausią alternatyvą, kurios nė vieno kriterijaus reikšmė nėra blogesnė už kitų alternatyvų kriterijų reikšmes ir nors pagal vieną yra geresnė. Atrinktos optimalios alternatyvos sudaro Pareto aibę (Nogin, 2002).

Pareto optimumas – tai aibė U^* ,

$x^* \in U^*$, jei neatsiras tokio x , kad

$$\begin{aligned} \forall i f_i(x) &\geq f_i(x^*) \\ \exists j f_j(x) &> f_j(x^*) \end{aligned} \quad (3.30)$$

kai $f_i(x)$ yra tikslo funkcijos (Mockus, 2014).

Jei kriterijams priskirti svoriai pagal jų svarbumą, sudaromas vienas skaliarinis kriterijus, kuris atspindi bendrą sistemos vektorinio kriterijaus tikslą. Tai vadinama vektorinio kriterijaus skaliarizacija (Lopatnikov, 2003; Mockus, 2014).

Klasikinėje daugiakriterėje optimizacijoje, kai alternatyvų skaičius baigtinis, ekspertas, keisdamas kriterijų svorius, stebi, kaip kinta alternatyvų eilės tvarka pagal suminį kriterijų, ir pasirenka vieną iš galimų alternatyvų išdėstymų. Bendruoju atveju, esant begaliniam alternatyvų skaičiui, geriausia alternatyva

yra svertinės kriterijų sumos argumentas (Dzemyda ir kt., 2007).

Sprendžiant optimizavimo uždavinį, vertinant nuotolinių studijų kursus, kriterijų svorių reikšmės yra nustatomos ekspertų ir jos nėra keičiamos. Todėl kilo būtinybė naudoti tokius daugiakriterius metodus, kaip SAW, TOPSIS, COPRAS, MOORA, PROMETHEE, kurie skaičiavimuose naudoja nesikeičiančius ekspertinius įverčius. MCDM metodų principas yra analogiškas vektorinei skaliarizacijai, kriterijų svoris dauginamas iš atitinkamos alternatyvos normalizuoto įverčio ir sandaugos sumuojamos.

MCDM metodus galima pateikti kaip matematinį optimizavimo uždavinį taip:

$$i_{opt}^v(r) = \arg \max_i f_i^v(r, \omega), i = 1, \dots, n, \quad (3.31)$$

čia v MCDM metodo numeris. Alternatyvų $i=1, \dots, n$ gerumą vertinsime pagal kriterijus $j=1, \dots, m$, kurių reikšmės žymėsime $r = (r_{ij})$. Kriterijų įtaka vertinimo rezultatui yra skirtinga, todėl nustatomas kriterijų svorių vektorius $\omega = (\omega_j), j=1, \dots, m$, kuris apibrėžia kriterijų svarbumą.

Darbe naudojami tokie MCDM metodai:

Paprasčiausias daugiakriteris optimizavimo metodas ($v = 1$), **tiesinė skaliarizacija**:

$$i_{opt}^1(r) = \arg \max_i \sum_j \omega_j \tilde{r}_{ij}. \quad (3.32)$$

Metodas taikomas spręsti uždaviniams, kurių visi kriterijai gali būti tik minimizuojamieji arba maksimizuojamieji. Kaip minimizuojamas apibrėžiamas kiekybinis arba kokybinis kriterijus, kurio gerumas yra didesnis, kai kriterijaus reikšmė yra mažesnė.

Tiesinės skaliarizacijos metode naudosime normalizuotas įverčių reikšmes:

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}}. \quad (3.33)$$

SAW (angl. *Simple Additive Weighting*) metodas ($\nu = 2$):

$$i_{opt}^2(r) = \arg \max_i \sum_{j=1}^m (\omega_j \tilde{r}_{ij}), \quad (3.34)$$

čia \tilde{r}_{ij} reikšmės normalizuojamos pagal (3.37) formulę.

Kai kriterijų reikšmės yra įvairiadimensės, kriterijų reikšmės transformuojamos. Maksimizuojamų kriterijų reikšmės skaičiuojamos pagal formulę (Podvezko, 2006):

$$\bar{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{\max r_{ij}}. \quad (3.35)$$

Tada didžiausia \tilde{r}_{ij} reikšmė yra lygi vienetui (Podvezko, 2011). Minimizuojamų kriterijų reikšmė r_i atitinkamai skaičiuojama pagal formulę:

$$\bar{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{\min r_{ij}}. \quad (3.36)$$

Tada mažiausia \tilde{r}_{ij} reikšmė yra lygi vienetui (Podvezko, 2011). Suvienodinus kriterijus, taikomas paprasčiausios tiesinės skaliarizacijos principas (Ginevičius ir Podvezko, 2008, 2009).

TOPSIS (angl. *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) metodas ($\nu = 3$):

$$i_{opt}^3(r) = \arg \max_i \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^m (\omega_j (\tilde{r}_{ij} - \tilde{r}_{ij}^-))^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (\omega_j (\tilde{r}_{ij} - \tilde{r}_{ij}^+))^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^m (\omega_j (\tilde{r}_{ij} - \tilde{r}_{ij}^-))^2}}. \quad (3.37)$$

Metodas naudoja vektorinę duomenų normalizaciją (Podvezko ir Podvezko, 2013):

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n r_{ij}^2}}, \quad (3.38)$$

$\tilde{r}_{ij}^- (\tilde{r}_{ij}^+)$ – j -jo kriterijaus normalizuota blogiausia (geriausia) reikšmė i -ai alternatyvai.

Metodo pagrindinis principas – rasti alternatyvą, turinčią bendrą mažiausią atstumą nuo geriausių kriterijų reikšmių ir didžiausią atstumą nuo blogiausių reikšmių. Metodas nereikalauja minimizuojamų (maksimizuojamų) kriterijų pertvarkymo į maksimizuojamus (minimizuojamus) (Ginevičius ir Podvezko,

2008, 2009; Tzeng ir Huang, 2011).

PROMETHEE (angl. *Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation*) metodas ($v=4$):

$$\begin{aligned} i_{opt}^4(r) &= \arg \max_i F_i = \arg \max_i (F_i^+ - F_i^-) = \\ &= \arg \max_i (\sum_{g=1}^n \pi(A_i, A_g) - \sum_{g=1}^n \pi(A_g, A_i)) = \\ &= \arg \max_i (\sum_{g=1}^n \sum_{j=1}^m \omega_j p_h(d_j(A_i, A_g)) - \sum_{g=1}^n \sum_{j=1}^m \omega_j p_h(d_j(A_g, A_i))), \end{aligned} \quad (3.39)$$

$i = 1, 2, \dots, n$; $\sum_{j=1}^m \omega_j = 1$; $d_j(A_i, A_g) = r_{ij} - r_{gj}$ alternatyvų A_i ir A_g

j -ojo kriterijaus R_j reikšmių r_{ij} ir r_{gj} skirtumas; $p_h(d) = p_h(d_j(A_i, A_g))$

yra h -osios prioritetų funkcijos reikšmė pasirinktajam j -am kriterijui.

Prioritetų funkcijos turi atitikti šiuos reikalavimus:

- jų reikšmės kinta nuo nulio iki vieneto: $0 \leq p_h(d) \leq 1$;
- prioritetų funkcijos atlieka maksimizuojamųjų kriterijų normalizuotų reikšmių vaidmenį: didesnė $p_h(d)$ reikšmė atitinka geresnę alternatyvą;
- prioritetų funkcijos reikšmė $p_h(d)$ lygi nuliui, kai skirtumas d yra mažesnis už nustatytą ribinę reikšmę q ;
- kai nustatoma didžiausia kriterijų reikšmių skirtumų riba s , tai $p_h(d) = 1$, kai $d > s$;
- praktikoje naudojamos šešios ($h=6$) prioritetų $p_h(d)$ funkcijos (Podvezko ir Podvezko, 2009b; Podvezko, 2012).

Įprasto kriterijaus (angl. *Usual Criterion*) prioritetų funkcija lygi:

$$p_1(d) = \begin{cases} 0, & \text{kai } d \leq 0 \\ 1, & \text{kai } d > 0 \end{cases} \quad (3.40)$$

funkcijos grafikas pavaizduotas 16 pav.

U pavidalo kriterijaus (angl. *U-Shape Criterion*) prioritetų funkcija lygi:

$$p_2(d) = \begin{cases} 0, & \text{kai } d \leq q \\ 1, & \text{kai } d > q' \end{cases} \quad (3.41)$$

funkcijos grafikas pavaizduotas 17 pav.

V pavidalo (tiesinio prioritetiškumo) kriterijaus (angl. *V-Shape Criterion*) prioritetų funkcija lygi:

$$p_3(d) = \begin{cases} 0, & \text{kai } d \leq 0 \\ \frac{d}{s}, & \text{kai } 0 < d \leq s, \\ 1, & \text{kai } d > s \end{cases} \quad (3.42)$$

funkcijos grafikas pavaizduotas 18 pav.

Laiptinio kriterijaus (angl. *Level Criterion*) prioritetų funkcija lygi:

$$p_4(d) = \begin{cases} 0, & \text{kai } d \leq q \\ 0,5, & \text{kai } q < d \leq s, \\ 1, & \text{kai } d > s \end{cases} \quad (3.43)$$

funkcijos grafikas pavaizduotas 19 pav.

V pavidalo su identiškumo sritimi kriterijaus (angl. *V-Shape with Indifference Criterion*) prioritetų funkcija lygi:

$$p_5(d) = \begin{cases} 0, & \text{kai } d \leq q \\ \frac{d - q}{s - q}, & \text{kai } q < d \leq s, \\ 1, & \text{kai } d > s \end{cases} \quad (3.44)$$

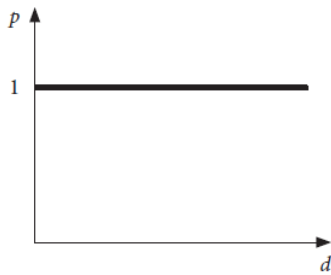
funkcijos grafikas pavaizduotas 20 pav.

Gauso kriterijaus (angl. *Gaussian Criterion*) prioritetų funkcija lygi:

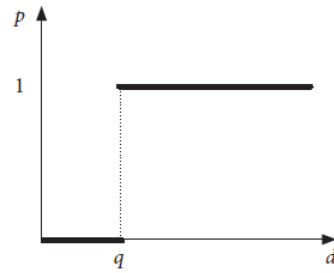
$$p_6(d) = \begin{cases} 0, & \text{kai } d \leq 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{d^2}{2\sigma^2}\right), & \text{kai } d > 0 \end{cases} \quad (3.45)$$

funkcijos grafikas pavaizduotas 21 pav.

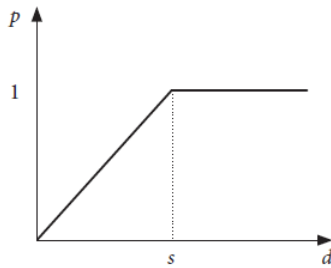
Darbe naudojama *V pavidalo* kriterijaus prioritetų funkcija. Šios prioritetų funkcijos panaudojimas neišryškina vienos alternatyvos privalumų, kadangi nuo q iki s reikšmės tiesiškai didėja. PROMETHEE, kaip ir kiti daugiakriteriniai metodai, taiko SAW metodo idėją, vietoj kriterijų normalizuotų reikšmių \tilde{r}_{ij} naudoja specialiai parinktų prioritetų funkcijų $p_h(d)$ reikšmes, kur argumentas d yra kriterijaus reikšmių skirtumas (Podvezko ir Podvezko, 2009a, 2009b; Podvezko, 2012; Tzeng ir Huang, 2011).



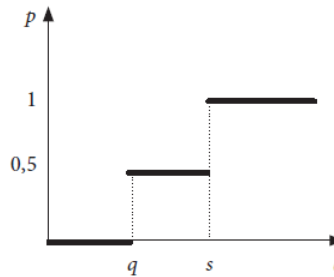
16 pav. Įprasto kriterijaus prioritetų funkcijos grafikas



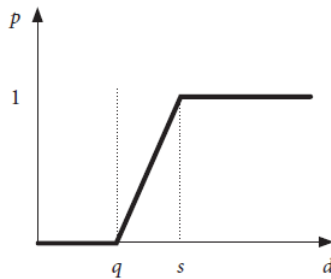
17 pav. U pavidalo kriterijaus prioritetų funkcijos grafikas



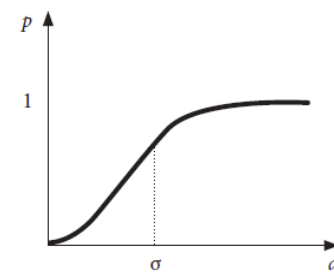
18 pav. V pavidalo (tiesinio prioritetiškumo) kriterijaus prioritetų funkcijos grafikas



19 pav. Laiptinio kriterijaus prioritetų funkcijos grafikas



20 pav. V pavidalo su identiškumo sritimi kriterijaus prioritetų funkcijos grafikas



21 pav. Gauso kriterijaus prioritetų funkcijos grafikas

COPRAS (angl. *Complex Proportional Assessment*) metodas ($v=5$)

$$i_{opt}^5(r) = \arg \max_i \left(\sum_j^m \omega_{+j} \tilde{r}_{+ij} + \frac{\sum_{i=1}^n \sum_j^m \omega_{-j} \tilde{r}_{-ij}}{\sum_j^m \omega_{-j} \tilde{r}_{-ij} \sum_{i=1}^n (\sum_j^m \omega_{-j} \tilde{r}_{-ij})^{-1}} \right) \quad (3.46)$$

čia ω_{+j} (ω_{-j}) maksimizuojami (minimalizuojami) kriterijų svoriai;

\tilde{r}_{-ij} (\tilde{r}_{+ij}) minimalizuojamų (maksimizuojamų) kriterijų normalizuotos

reikšmės kiekvienai i -ajai alternatyvai. Alternatyvų įverčių reikšmės normalizuojamos pagal (3.33) formulę.

Taikant COPRAS metodą atskirai vertinama minimizuojamų ir maksimizuojamų kriterijų įtaka vertinimo rezultatui (Ginevičius ir Podvezko, 2009; Zavadskas ir kt., 2007).

MOORA (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis) metodas ($v=6$)

$$i_{opt}^6(r) = \arg \max_i (\sum_j^g \tilde{r}_{ij} - \sum_{j=g+1}^m \tilde{r}_{ij}). \quad (3.47)$$

\tilde{r}_{ij} reikšmei taikome vektorinę normalizaciją pagal (3.38) formulę. Pirmoji MOORA metodo versija neatsižvelgdavo į kriterijų svarbumą, kuris išreiškiamas svoriais. Metodo skaičiavimo principas: iš maksimizuojamų normalizuotų alternatyvos kriterijų (nuo 1 iki g) vertinimų sumos atimama minimizuojamų normalizuotų kriterijų (nuo $g+1$ iki m) reikšmių suma. Tobulindamas MOORA metodą, autorius W. K. M. Brauersas pradėjo naudoti kriterijų svorius (Brauers ir Zavadskas, 2006; Kracka ir kt., 2010). Skaičiavimams naudojamas patobulintas MOORA metodas.

3.2.2. Sviurių nustatymo metodai

MCDM metodų sudedamoji dalis – tai kriterijų svoriai. Kadangi kriterijų įtaka sprendžiamo uždavinio rezultatams yra nevienoda, todėl svarbu nustatyti jų reikšmingumą. Kriterijų svoriams nustatyti dažniausias taikomas vadinamasis subjektyvusis vertinimas, kai kriterijų reikšmingumą vertina specialistai ekspertai, nors žinomi objektyvūs ir apibendrinti įverčiai. Kai sviurių skaičiavimo pagrindą sudaro specialistų ekspertų vertinimai, kriterijų svoriai nustatomi, taikant matematinės statistikos metodus. Nuo vertinimo metodo pasirinkimo priklauso sviurių reikšmės ir jų tikslumas. Nepriklausomai nuo metodo, vertinimo principai išlieka, laikomasi pozicijos, kad svarbiausio kriterijaus svoris yra didžiausias. Sutarta, kad visų sviurių suma turi būti lygi 1

(Podvezko, 2008).

Vertinimams gali būti pritaikyta bet kokia matavimo skalė (rodiklio vienetai, procentai, vieneto dalys, dešimties balų sistema (Ginevičius ir Podvezko, 2004; Podvezko, 2008), neraiškieji skaičiai, paprasčiausias (0–1) (Zavadskas ir Kaklauskas, 1996), dviejų kriterijų porinis palyginimas (Podvezko, 2008).

3.2.3. AHP kriterijų svorių nustatymo metodas

Analitinės hierarchijos proceso metodas AHP (*angl. Analytic Hierarchy Process*), dar vadinamas kriterijų porinio palyginimo metodu, buvo pasiūlytas JAV mokslininko T. Saaty 1970–1980 m. (Saaty, 1980). Analitinės hierarchijos metodas yra uždara loginė struktūra, realizuojama paprastomis taisyklėmis, skirta sudėtingų problemų analizei bei geriausiam sprendiniui rasti. Priimant sprendimą ir prognozuojant galimą rezultatą, sprendimą priimantis asmuo (SPA) susiduria su sunkia komponentų sąveikumo sistema, kurią reikia išanalizuoti. Tai komponentų struktūrizavimas į hierarchiją, atsižvelgiant į komponentų svarbumą (Saaty, 1993). Kuo nuodugniau ekspertas įsigilina į analizuojamą sistemą, tuo tikslesnės bus prognozės ir priimami sprendimai. Metodo teorija pagrįsta žmogaus mąstymu. Susidūręs su dauguma kontroliuojamų ir nekontroliuojamų elementų, sudarančių sudėtingą situaciją, žmogaus protas jungia jas į grupes. Sprendimui priimti kuriama hierarchijos sistema. Šią sistemą sudaro keli lygmenys, kiekvienas iš kurių savo ruožtu sudarytas iš atitinkamų elementų, t. y. kriterijų. Dėl nevienodos kriterijų įtakos atsirado poreikis nustatyti įtakos intensyvumą, kriterijų svarbumą, dar vadinamą kriterijų svoriais. Kriterijų svoriai atspindi ekspertų vertintojų nuomonę apie kriterijų svarbą, lyginant su kitais kriterijais (Lin, 2010; Nukala ir kt., 2005; Yang ir Shia, 2002).

Porinio palyginimo metodo esmė yra ta, kad ekspertas vienu metu lygina tik du iš visų kriterijų (Dzemyda ir kt., 2007). Palyginimas poromis vyksta svarstyklių principu – nustatoma, kiek vienas kriterijus yra svarbesnis už kitą. T. Saaty pasiūlė penkių balų vertinimo sistemą, kurioje naudojami nelyginiai

skaičiai 1, 3, 5, 7, 9. Jeigu vertinimo metu ekspertui kyla abejonių dėl įverčio pasirinkimo, gali būti naudojami tarpiniai (kompromisiniai) įverčiai, t. y. lyginiai skaičiai: 2, 4, 6, 8. Kriterijų porinio lyginimo skalės žodiniai apibūdinimai yra pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. *Kriterijų porinio palyginimo skalės žodiniai apibūdinimai*

Įvertis	Žodinis apibūdinimas	Paaiškinimas
1	Lygus	Abudu kriterijai yra vienodai svarbūs
3	Vidutinio stiprumo	Vieno kriterijaus svarbumas mažai skiriasi nuo kito
5	Stiprus	Vienas kriterijus yra vidutiniškai svarbesnis už kitą
7	Labai stiprus	Vienas kriterijus daug svarbesnis už kitą
9	Aukščiausias laipsnis	Vienas kriterijus yra maksimaliai svarbesnis už kitą
2, 4, 6, 8 – tarpiniai įverčiai, kai reikalingas kompromisas		

Kai kriterijų svarbumas vienodas, įvertinimas yra lygus vienetui. Kai kriterijų svoriai skiriasi daugiausiai, vertinama devyniais. Likusieji įverčiai yra tarp šių dviejų atvejų. Vertinimui naudojamos atvirkštinės įverčių reikšmės, t. y. $1/3, 1/2, \dots, 1/9$, kai kriterijus yra mažesnio svarbumo, lyginant su kitu kriterijumi. Taigi visa vertinimo skalė sudaryta iš 17 įverčių reikšmių (Saaty, 1980).

Kiekvienas ekspertas vertina $m(m-1)/2$ porų, čia m – kriterijų skaičius. Taikant porinio lyginimo metodą, reikėtų žiūrėti, kad lyginamųjų kriterijų skaičius neviršytų 11, o dar geriau, kad kriterijų skaičius būtų iki 9, kadangi žmogui sunku lyginti didesnę skaičių kriterijų (Podvezko, 2009). Atlikus vertinimą, sudaroma atvirkštinė simetrinė porinio palyginimo matrica $\bar{P} = \bar{p}_{ij}$, t. y. nežinomų svorių santykių matrica:

$$\bar{P} = \bar{p}_{ij} = \begin{pmatrix} \frac{\omega_1}{\omega_1} & \frac{\omega_1}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_1}{\omega_m} \\ \frac{\omega_2}{\omega_1} & \frac{\omega_2}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_2}{\omega_m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\omega_m}{\omega_1} & \frac{\omega_m}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_m}{\omega_m} \end{pmatrix}. \quad (3.48)$$

Porinės palyginimo matricos kiekvienas pagrindinės įstrižainės įvertis lygus vienetui, kadangi kriterijus lyginamas su juo pačiu. Porinio palyginimo metodas yra matematiškai pagrįstas kaip tikrinio vektoriaus radimo metodas. Spendžiama tokia tikrinių reikšmių lygtis:

$$\bar{P} \cdot \bar{\omega} = \lambda \cdot \bar{\omega}, \quad (3.49)$$

čia $\bar{\omega}$ – nežinomų svorių tikrinis vektorius (3.50), λ – konstanta, tikrinė reikšmė.

$$\bar{\omega} = \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \dots \\ \omega_m \end{pmatrix}. \quad (3.50)$$

Sprendami tikrinių reikšmių lygtį (3.49), \bar{P} matricos elementus užrašome kaip lyginamųjų kriterijų svorių santykių matricą (3.48), kurią dauginame iš nežinomų svorių tikrinio vektoriaus (3.50):

$$\bar{P} \cdot \bar{\omega} = \begin{pmatrix} \frac{\omega_1}{\omega_1} & \frac{\omega_1}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_1}{\omega_m} \\ \frac{\omega_2}{\omega_1} & \frac{\omega_2}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_2}{\omega_m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\omega_m}{\omega_1} & \frac{\omega_m}{\omega_2} & \dots & \frac{\omega_m}{\omega_m} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \dots \\ \omega_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m\omega_1 \\ m\omega_2 \\ \dots \\ m\omega_m \end{pmatrix} = m \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \dots \\ \omega_m \end{pmatrix} = m\bar{\omega}. \quad (3.51)$$

Idealiuotu porinės matricos užpildymo atveju tikrinė reikšmė λ lygi matricos eilei m . Praktikoje, lyginant tarpusavyje trijų ir daugiau elementų, nepavyksta idealiai užpildyti porinio palyginimo matricos, todėl matricos eilutės ir stulpeliai nebūna proporcingi. Tokiu atveju svorių vektorius $\bar{\omega}$ skaičiuojamas kaip matricos \bar{P} tikrinis normalizuotų reikšmių vektorius, atitinkantis jos maksimalią tikrinę reikšmę (Saaty, 1993):

$$\bar{P} \cdot \bar{\omega} = \lambda_{max} \bar{\omega}. \quad (3.52)$$

Porinio lyginimo sprendimas yra priimamas, kai eksperto vertinimas yra suderintas, atlikdamas vertinimą poromis ekspertas pats sau neprieštaravo. Eksperto vertinimo suderinamumas tikrinamas skaičiuojant suderinamumo indeksą bei suderinamumo santykį.

Elementų suderinamumo indeksas CI (angl. *Consistency Index*) aprašo nuokrypį λ_{max} nuo m reikšmės:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1}. \quad (3.53)$$

Matricos elementų suderinamumui patikrinti skaičiuojamas suderinamumo santykis CR , t. y. suderinamumo indekso ir atsitiktinio indekso vidurkio RI santykis (Saaty, 1993).

$$CR = \frac{CI}{RI}. \quad (3.54)$$

Atsitiktinio indekso vidurkio RI reikšmė gauta eksperimentiškai, generuojant didelį skaičių atsitiktinių porinio lyginimo m eilės matricių, todėl RI reikšmės priklauso nuo matricos eilės m . Atsitiktinio indekso vidurkio reikšmės pateiktos 5 lentelėje.

Jeigu CR santykio reikšmė porinio palyginimo matricoje yra mažesnė už 0,1, porinio lyginimo sprendimas yra priimamas. Kitu atveju įverčiai peržiūrimi iš naujo.

5 lentelė. Atsitiktiniai indeksai, priklausomai nuo matricos dydžio

Matricos dydis (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

Dažniausiai lyginimo matricos \bar{P} didžiausiai tikrinei reikšmei bei atitinkamo svorių tikriniam vektoriui apskaičiuoti naudojamos standartinės kompiuterinės programos. Apytikslės svorio vektoriaus reikšmės nesunkiai nustatomos taikant šį algoritmą:

$$\tilde{\omega}_i = \frac{\sum_{j=1}^m \left(\frac{\bar{p}_{ij}}{\sum_{l=1}^m \bar{p}_{lj}} \right)}{m}, \quad (3.55)$$

čia $i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, m$.

Kadangi taikant apytikslės skaičiavimo algoritmą svorių reikšmių paklaida yra nedidelė, (3.55) algoritmas plačiai naudojamas praktikoje.

Maksimalios tikrinės reikšmės skaičiavimas:

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^m \left(\left(\sum_{i=1}^m \bar{p}_{ij} \right) * \bar{\omega}_i \right). \quad (3.56)$$

čia $i = 1, \dots, m, j = 1..m$.

Apytiksliai apskaičiavus svorių tikrinio vektoriaus reikšmes, toliau tikrinamas matricos suderinamumas naudojant suderinamumo indekso ir atsitiktinio indekso vidurkio (3.54) santykį.

Visų studentų nuomonių suderinamumas tikrinamas naudojant konkordancijos koeficientą W arba kriterijaus reikšmę χ^2 . Dispersiniam konkordancijos koeficientui skaičiuoti tinka tik suranguoti objektai.

Kai \bar{m} – lyginamųjų objektų skaičius, T – ekspertų skaičius, S – ekspertų vertinimų kvadratų sumos vidurkių nuokrypis nuo bendro vidurkio (3.59), \tilde{R}_t – susietų rangų rodiklis (3.60):

$$W = \frac{12S}{T^2(\bar{m}^3 - \bar{m}) - T \sum_{t=1}^T \tilde{R}_t}. \quad (3.57)$$

Jei ekspertų nuomonės suderintos, konkordancijos koeficiento W reikšmė artima vienetui, jei vertinimai labai skiriasi, reikšmė artima nuliui.

$$\chi^2 = \frac{12S}{T(\bar{m}^2 + \bar{m}) - \frac{1}{\bar{m}-1} \sum_{t=1}^T \tilde{R}_t}. \quad (3.58)$$

Pagal pasirinktą reikšmingumo lygmenį α (praktikoje α reikšmė paprastai 0,05 arba 0,01) iš χ^2 skirstinio lentelės su $\bar{m} - 1$ laisvės laipsniu randame kritinę reikšmę χ_{kr}^2 . Jei apskaičiuota pagal (3.58) formulę χ^2 reikšmė didesnė už χ_{kr}^2 , tai ekspertų įverčiai yra suderinti (Podvezko, 2008).

$$S = \sum_{i=1}^{\bar{m}} (s_i - s_{vid})^2, \quad (3.59)$$

kai s_i kiekvieno lyginamojo objekto i rangų suma, s_{vid} bendras vidurkis.

$$\tilde{R}_t = \sum_{g=1}^{G_t} (l_g^3 - l_g), \quad (3.60)$$

čia G_t – lygių rangų t -ojo eksperto skaičius, l_g – lygių rangų g -tos grupės skaičius (Ginevičius ir Podvezko, 2009; Kendall, 1979; Zavadskas ir Kaklauskas, 1996).

3.2.4. Neraiškiųjų skaičių teorijos pagrindai

Ekspertų vertinimui būdingas neapibrėžtumas. Jis priklauso nuo komisijos sudėties ir nuo ekspertų subjektyvios nuomonės. Jeigu vertinimas būtų pakartotas, nekeitus ekspertų grupės sudėties, rezultatai paprastai skirtųsi nuo pirmojo vertinimo.

Neraiškiųjų skaičių (angl. *fuzzy sets*) matematinė teorija ir neraiškioji logika (angl. *fuzzy logic*) yra klasikinės aibių teorijos ir klasikinės formalios logikos apibendrinimas. Teorijos pagrindus 1965 m. pasiūlė L. Zadehas (BaseGroup Labs, 2014). Pagrindinė teorijos sukūrimo priežastis – tai neraiškūs ir netikslūs žmonių samprotavimai, reiškiami aprašant procesus, sistemas, objektus (Zadeh, 1980). L. Zadeho teigimu, gabumas dirbti su netiksliais duomenimis, t. y. gabumas vertinti subjektyvią informaciją, yra viena iš vertingiausių žmogaus mąstymo savybių, kurios žmogaus protą iš esmės skiria nuo vadinamojo mašinų intelekto (Zadeh, 1973).

Skaičiavimams naudosime neraiškiuosius skaičius su trikampio priklausymo funkcija. Neraiškieji skaičiai yra atsitiktinių skaičių aproksimacija. Juos nusakysime triada:

$$N = (L, M, U), L \leq M \leq U,$$

t. y. tikėtiniausia reikšmė M , apatinė riba L ir viršutinė riba U (Dzemyda ir kt., 2007).

Dviejų trikampių neraiškiųjų skaičių $N_1 = (L_1, M_1, U_1)$ ir $N_2 = (L_2, M_2, U_2)$,

kai $L_1 > 0$ ir $L_2 > 0$, sumos, sandaugos ir inversijos reikšmių intervalai turi šias savybes (Dzemyda ir kt., 2007):

$$N_1 \oplus N_2 = (L_1 + L_2, M_1 + M_2, U_1 + U_2), \quad (3.61)$$

$$N_1 \otimes N_2 = (L_1 L_2, M_1 M_2, U_1 U_2), \quad (3.62)$$

$$(\beta, \beta, \beta) \otimes (L_1, M_1, U_1) = (\beta L_1, \beta M_1, \beta U_1), \beta > 0, \beta \in \mathbb{R}, \quad (3.63)$$

$$(L_1, M_1, U_1)^{-1} = \left(\frac{1}{U_1}, \frac{1}{M_1}, \frac{1}{L_1} \right). \quad (3.64)$$

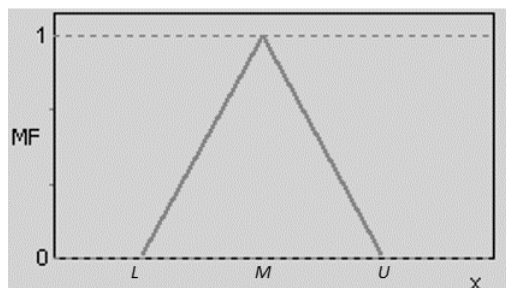
Neraiškiųjų skaičių aibes nusako priklausymo funkcija $MF(x)$ (angl. *Membership function*). Dažnai L. Zadeho teorijos priklausymo funkcijos galimumo laipsnis painiojamas su tikimybių teorijos įvykio tikimybe, kadangi priklausymo funkcijos įgyja reikšmes $MF(x) \in [0, 1]$, be to, kai kurių neraiškiųjų skaičių funkcijų grafikai panašūs į tankio funkcijas.

Egzistuoja keletas tipinių priklausymo funkcijos kreivės formų. Dažniausiai praktikoje naudojamos trikampio, trapecijos ir Gauso priklausymo funkcijos.

Trikampio priklausymo funkcija $MF(x)$ nustatoma neraiškiųjų skaičių triada (L, M, U) , čia $L \leq M \leq U$, t. y. tikėtiniausia reikšmė M , apatinė riba L ir viršutinė riba U (BaseGroup Labs, 2014):

$$MF(x) = \begin{cases} \frac{x - L}{M - L}, & \text{jei } x \in [L, M] \\ \frac{x - U}{M - U}, & \text{jei } x \in [M, U] \\ 0, & \text{jei } x \notin [L, U] \end{cases} \quad (3.65)$$

Trikampio priklausomybės funkcijos grafikas pavaizduotas 22 pav.

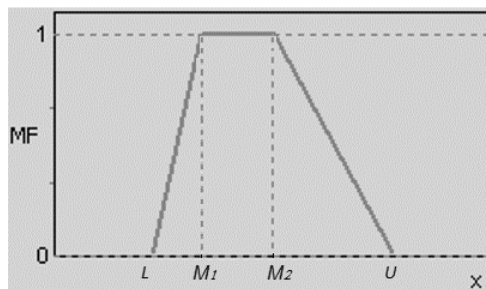


22 pav. Trikampio priklausymo funkcijos grafikas

Trapecijos priklausymo funkcijai aprašyti reikia keturių taškų (L, M_1, M_2, U) (BaseGroup Labs, 2014):

$$MF(x) = \begin{cases} \frac{x - L}{M_1 - L}, & \text{jei } x \in [L, M_1] \\ 1, & \text{jei } x \in [M_1, M_2] \\ \frac{U - x}{U - M_2}, & \text{jei } x \in [M_2, U] \\ 0, & \text{jei } x \notin [L, U] \end{cases} \quad (3.66)$$

Trapecijos priklausomybės funkcija pavaizduota 23 pav.

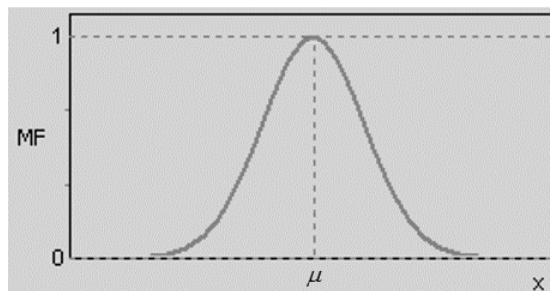


23 pav. Trapecijos priklausymo funkcijos grafikas

Gauso tipo priklausymo funkcija aprašoma formule (BaseGroup Labs, 2014):

$$MF(x) = \exp \left[- \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right], \quad (3.67)$$

išreikšta dviem parametrais μ ir σ . Parametras μ reiškia neraiškiosios aibės vidurkį, nuo σ parametro priklauso funkcijos statumas. Gauso priklausomybės funkcija pavaizduota 24 pav.



24 pav. Gauso priklausymo funkcijos grafikas

Palyginę neraiškiuosius skaičius, ($N_1 \geq N_2$), užrašome $V(N_1 \geq N_2)$ ir tai vadiname galimumo laipsniu.

Lyginant trikampio neraiškiuosius skaičius $N_1 = (L_1, M_1, U_1)$ ir $N_2 = (L_2, M_2, U_2)$, galimumo laipsnis $V(N_2 \geq N_1) = 1$ tada ir tik tada, kai $M_2 \geq M_1$. Jeigu $L_1 \geq U_2$, trikampiai nesusikerta (gali būti vienas bendras taškas, tai $L_1 = U_2$), tada galimumo laipsnis $V(N_2 \geq N_1) = 0$.

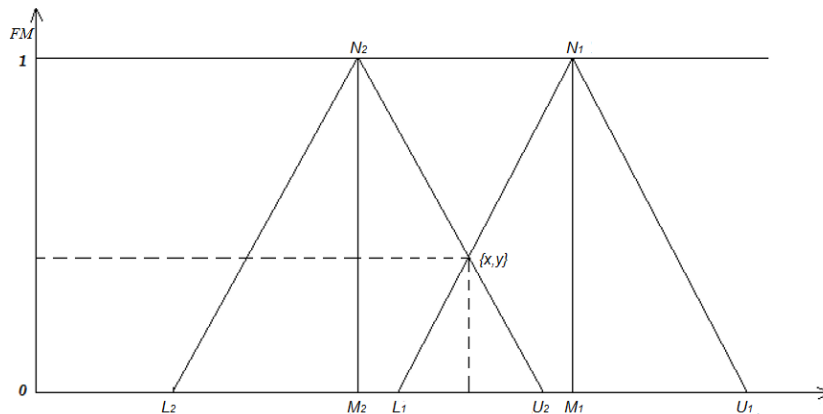
Kitais atvejais randama funkcijos galimumo reikšmė dviejų trikampių (pav. 25 pav.) kraštinių $N_2 U_2 = N_1 L_1$ (3.68) susikirtimo taške $\{x, y\}$:

$$\begin{cases} x = y(M_1 - L_1) + L_1 \\ x = y(M_2 - U_2) + U_2 \end{cases} \quad (3.68)$$

$$y = \frac{L_1 - U_2}{M_2 - U_2 - M_1 + L_1},$$

t. y.

$$V(N_2 \geq N_1) = \frac{L_1 - U_2}{(M_2 - U_2) - (M_1 - L_1)}. \quad (3.69)$$



25 pav. $V(N_2 \geq N_1)$ reikšmė

Jeigu $M_2 < M_1$ ir $L_1 < U_2$, galimumo laipsnis skaičiuojamas pagal (3.69) formulę.

3.2.5. Neraiškiųjų skaičių taikymas AHP metodui

Neraiškiųjų aibių teorija orientuota į neapibrėžtumo racionalizavimą. Neapibrėžtumo taikymas leidžia vertinti ne vieną taškinę reikšmę, bet tinkamų reikšmių intervalą.

Ekspertinis vertinimas neraiškiais skaičiais, G. Dzemydos ir kt. nuomone, yra sudėtingiausias, nes ekspertui tenka nurodyti ne tik vidutinius įverčius, bet ir jų minimalias bei maksimalias reikšmes (Dzemyda ir kt., 2007). Šiame darbe siūloma neraiškiuosius skaičius panaudoti grupiniams vertinimams, atliekant ekspertinius vertinimus AHP metodu. Toliau porinio lyginimo metodą, taikant neraiškiuosius skaičius, vadinsime AHPF, t. y. AHP *Fuzzy*, metodu.

AHP metodas buvo patobulintas taikant neraiškiuosius skaičius, atsižvelgiant į duomenų netikslumą bei neapibrėžtumą. P. J. M Van Laarhovenas ir W. Pedryczius (Van Laarhoven ir Pedrycz, 1983) pasiūlė algoritimą, pagrįstą neraiškiais skaičiais T. Saaty AHP metode. Pasiūlytame metode naudojami trikampio neraiškieji skaičiai. J. J. Buckley (1985) neapibrėžtumui aprašyti taiko trapecijos neraiškiuosius skaičius. D. Y. Changas (Chang, 1992) pasiūlė algoritimą svorių vektoriui gauti, kai vektorius išreiškiamas kitu būdu, ne neraiškiais skaičiais (Kahraman, 2008). Paskelbtuose darbuose taikomi skirtingi neraiškiųjų priklausymo funkcijų lingvistiniai kintamieji. A. Ishizaka ir N. H. Nguyenas (Ishizaka ir Nguyen, 2013), atlikę literatūros analizę, rado 27 skirtingas neraiškiasis priklausymo funkcijų skales. Daugumoje darbų neraiškiųjų trikampių priklausymo funkcijos yra simetrinės. Ekspertiniai vertinimai atliekami naudojant priklausymo funkcijų skales. Disertacijoje ekspertiniams vertinimams taikoma AHP metodo skalė. Taikant T. Saaty AHP metodą, tikrinamas kiekvieno eksperto porinio palyginimo matricos suderinamumas. Iš suderintų AHP ekspertų vertinimo matricų konstruojama grupės porinio palyginimo matrica, taikant neraiškiuosius trikampio skaičius. Grupės sprendimą aprašantis neraiškasis trikampis nėra simetrinis.

AHPF metodas tinka kriterijų svoriams nustatyti, atliekant ekspertų grupės

vertinimus, kai ekspertai yra nepriklausomi, t. y. sudaro sąlygas ekspertui atlikti vertinimus nepriklausomai nuo kitų grupės ekspertų nuomonės. Darbe siūloma sudaryti ekspertų grupės porinio palyginimo matricą \tilde{P} , naudojant neraiškiuosius trikampio skaičius. Kriterijų svoriai apskaičiuojami taikant D. Y. Chango išplėstinės analizės metodą.

Kriterijų svoriai taikant AHPF metodą nustatomi tokiais etapais:

1. Ekspertai atlieka porinio lyginimą vertinimą, taikydami AHP metodo skalę. Patikrinamas užpildytos porinio palyginimo matricos suderinamumas pagal (3.54) formulę.
2. Sudarome ekspertų grupės porinio palyginimo AHPF matricą \tilde{P} iš atskirų AHP ekspertų porinio palyginimo matricų elementų p_{ij}^t , kai $t = 1, 2, \dots, T$, T – ekspertų skaičius.

Trikampio neraiškiųjų skaičių $\tilde{P} = \tilde{p}_{ij} = (L_{ij}, M_{ij}, U_{ij})$ ekspertų grupės porinio palyginimo matrica (3.71) sudaroma taip:

$$\begin{aligned} M_{ij} &= \frac{\sum_{t=1}^T p_{ij}^t}{T}; \\ L_{ij} &= \min_t p_{ij}^t \\ U_{ij} &= \max_t p_{ij}^t. \end{aligned} \quad (3.70)$$

Kai $j > i$, užpildome matricą $\tilde{P} = \tilde{p}_{ij} = (L_{ij}, M_{ij}, U_{ij})$. Kadangi matrica yra atvirkštinė simetrinė, tai $\tilde{p}_{ij}^{-1} = (\frac{1}{U_{ij}}, \frac{1}{M_{ij}}, \frac{1}{L_{ij}})$, kai $i = j$, tada $\tilde{p}_{ii} = (1, 1, 1)$.

$$\tilde{P} = (\tilde{p}_{ij})_{m \times m} = \begin{pmatrix} (1, 1, 1) & (L_{12}, M_{12}, U_{12}) & \dots & (L_{1m}, M_{1m}, U_{1m}) \\ (L_{21}, M_{22}, U_{23}) & (1, 1, 1) & \dots & (L_{2m}, M_{2m}, U_{2m}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (L_{m1}, M_{m2}, U_{m3}) & (L_{m2}, M_{m2}, U_{m2}) & \dots & (1, 1, 1) \end{pmatrix}. \quad (3.71)$$

3. Kriterijų svoriams nustatyti iš neraiškiųjų skaičių matricos taikomas išplėstinės analizės metodas. Išplėstinės analizės (angl. *Extent Analysis*) metodą pasiūlė D. Y Changas (Chang, 1996; Skorochod, 2011). Kiekvienam

kriterijui apskaičiuojama reikšmė \tilde{S}_i , vadinama neraiškiosios sintezės plėtinium (Mahmoodzadeh ir kt., 2007; Nukala ir kt., 2005):

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^m \tilde{p}_{ij} \otimes \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \tilde{p}_{ij} \right\}^{-1}, j = 1, \dots, m. \quad (3.72)$$

Kiekvieną kriterijų i apibūdina \tilde{S}_i reikšmė, išreikšta trikampio neraiškiuoju skaičiumi. Toliau, lyginant tarpusavyje kriterijus (t. y. trikampių neraiškiuosius skaičius), randami jų galimumo laipsniai. Galimumo laipsnis skaičiuojamas pagal formulę:

$$V(\tilde{S}_{i+1} \geq \tilde{S}_i) = \begin{cases} 1, & \text{jeigu } M_{i+1} \geq M_i \\ \frac{L_i - U_{i+1}}{(M_{i+1} - U_{i+1}) - (M_i - L_i)}, & \text{jeigu } L_i \leq U_{i+1}, i = 1, \dots, m. \\ 0, & \text{kitais atvejais} \end{cases} \quad (3.73)$$

Skaičiuojama mažiausia galimumo laipsnio reikšmė:

$$V(\tilde{S}_{i+1} \geq \tilde{S}_i | i = 1, \dots, m) = \min_{i \in \{1, \dots, m\}} V(\tilde{S}_{i+1} \geq \tilde{S}_i), i = 1, \dots, m. \quad (3.74)$$

Skaičiuojamas neraiškiosios matricos prioritetų vektorius w_i :

$$w_i = \frac{V(\tilde{S}_{i+1} \geq \tilde{S}_i | i = 1, \dots, m; i + 1 \neq i)}{\sum_{g=1}^m V(\tilde{S}_g \geq \tilde{S}_i | i = 1, \dots, m; i \neq g)}, i = 1, \dots, m. \quad (3.75)$$

D. Y. Chango siūlomame metode nustatoma mažiausia galimumo laipsnio reikšmė, kuri yra nulinė, kai $L_1 \geq U_2$. Kadangi prioritetų vektoriui apskaičiuoti paimama mažiausia galimumo laipsnio reikšmė, atsiranda kriterijų svorių, kurių reikšmės yra nulinės. Autorės darbuose, kai $L_1 \geq U_2$, galimumo laipsniui buvo suteikiama artima nuliui reikšmė 0,0001. Kitas būdas interpretuoti nulinį galimumo laipsnį – atsisakyti to kriterijaus, kadangi jis praktiškai neturi įtakos tolesniems vertinimams.

3.2.6. Kriterijų svorių perskaičiavimas taikant Bajeso metodą

Kai sprendimą priimantys ekspertai nori atsižvelgti į kitos grupės nuomonę, darbe siūloma kriterijų svorius perskaičiuoti, taikant Bajeso metodą.

Bajeso metodo idėja ta, kad tikimybė patikslinama gavus naują informaciją. Kriterijų svoriai patikslinami gavus kitos ekspertų grupės informaciją. Bajeso formulėje visų įvykių suma turi būti lygi $\sum P(H_\xi) = 1$. MCDM metoduose

vertinamų kursų kokybės kriterijų svorių suma lygi $\sum \omega_j = 1$ ir yra pilnosios tikimybių grupės analogas. Pradinius kriterijų svorius pažymėsime $\omega_j = \omega(H_j)$. Kiekvienos ekspertų grupės kriterijų svorių įtakos laipsnis yra $\omega(X|H_j)$. Todėl Bajeso formulę galima perrašyti taip:

$$\omega(H_j|X) = \frac{\omega(X|H_j)\omega(H_j)}{\sum_{j=1}^m \omega(X|H_j)\omega(H_j)}. \quad (3.76)$$

Jei ekspertai atlieka vertinimus X_{jt} taikydami 10 balų sistemą, kriterijų svorių įtakos laipsnis lygus:

$$\omega(X|H_j) = \frac{\sum_{t=1}^T X_{jt}}{10T}. \quad (3.77)$$

Aposterioriniai svoriai $\omega(H_j|X)$ skaičiuojami taikant Bajeso formulę (3.76). Bajeso metodas buvo pritaikytas kriterijų svoriams perskaičiuoti, kai sprendimą priimančio asmens nuomonė yra koreguojama kitų ekspertų grupių. Perskaičiavimas aktualus, kai kurso pasirinkimas individualizuojamas pagal atskiros ekspertų grupės nuomonę.

3.2.7. MCDM metodų stabilumo vertinimas

Nuotolinių kursų vertinimo keliais MCDM metodais rezultatai ne visada sutampa. Tuomet neaišku, kurio metodo gautais rezultatais pasikliauti. Kiekvienas metodas turi savo skaičiavimo algoritmą ir pradinių duomenų (t. y. alternatyvų įverčių, kriterijų svorių) pakeitimas gali paveikti galutinį rezultatą.

Bet koks matematinis modelis ir metodas gali būti taikomi praktikoje, jei jie yra stabilūs taikomų parametrų atžvilgiu. Matematinis modelis laikomas stabiliu, jeigu nedidelį modelio parametrų keitimą atitinka mažas rezultatų keitimasis (Podvezko, 2006; Taha, 2001).

Tikrinant daugiakriterių metodų stabilumą, nežymiai keičiami pirminės sprendimo matricos, t. y. ekspertų vertinimų r_{ij} ir svorių w_i vektoriaus duomenys, fiksuojant pirminių duomenų geriausios alternatyvos pasikartojimo dažnį.

Nežinodami MCDM metodų parametrų pasiskirstymo, taikome tolygų pasiskirstymą, generuodami atsitiktines \bar{x}_ζ reikšmes iš $[\underline{X}, \bar{X}]$ intervalo:

$$\bar{x}_\zeta = \underline{X} + \tilde{q}_\zeta \cdot (\bar{X} - \underline{X}), \quad (3.78)$$

čia $\tilde{q}_\zeta \in [0,1]$ intervalui.

Pritaikius (3.78) formulę generuojamos alternatyvų įverčių

$$new_{r_{ij}} = \min r_{ij} + \tilde{q}_\zeta \cdot (\max r_{ij} - \min r_{ij}) \quad (3.79)$$

ir kriterijų svorių

$$new_{w_i} = \min w_i + \tilde{q}_\zeta \cdot (\max w_i - \min w_i) \quad (3.80)$$

atsitiktinės reikšmės, nežymiai keičiant pirminius duomenis r_{ij} ir w_i 10 %, kai $\tilde{q}_\zeta \in [0,1]$.

Alternatyvų įverčių r_{ij} kitimo ribos $[\min r_{ij}, \max r_{ij}]$ nustatomos taip:

$$\begin{aligned} \max r_{ij} &= r_{ij} + 0,1 \cdot r_{ij}, \\ \min r_{ij} &= r_{ij} - 0,1 \cdot r_{ij}. \end{aligned} \quad (3.81)$$

Atitinkamai kriterijų svorių w_i kitimo ribos $[\min w_i, \max w_i]$ yra lygios:

$$\begin{aligned} \max w_i &= w_i + 0,1 \cdot w_i, \\ \min w_i &= w_i - 0,1 \cdot w_i. \end{aligned} \quad (3.82)$$

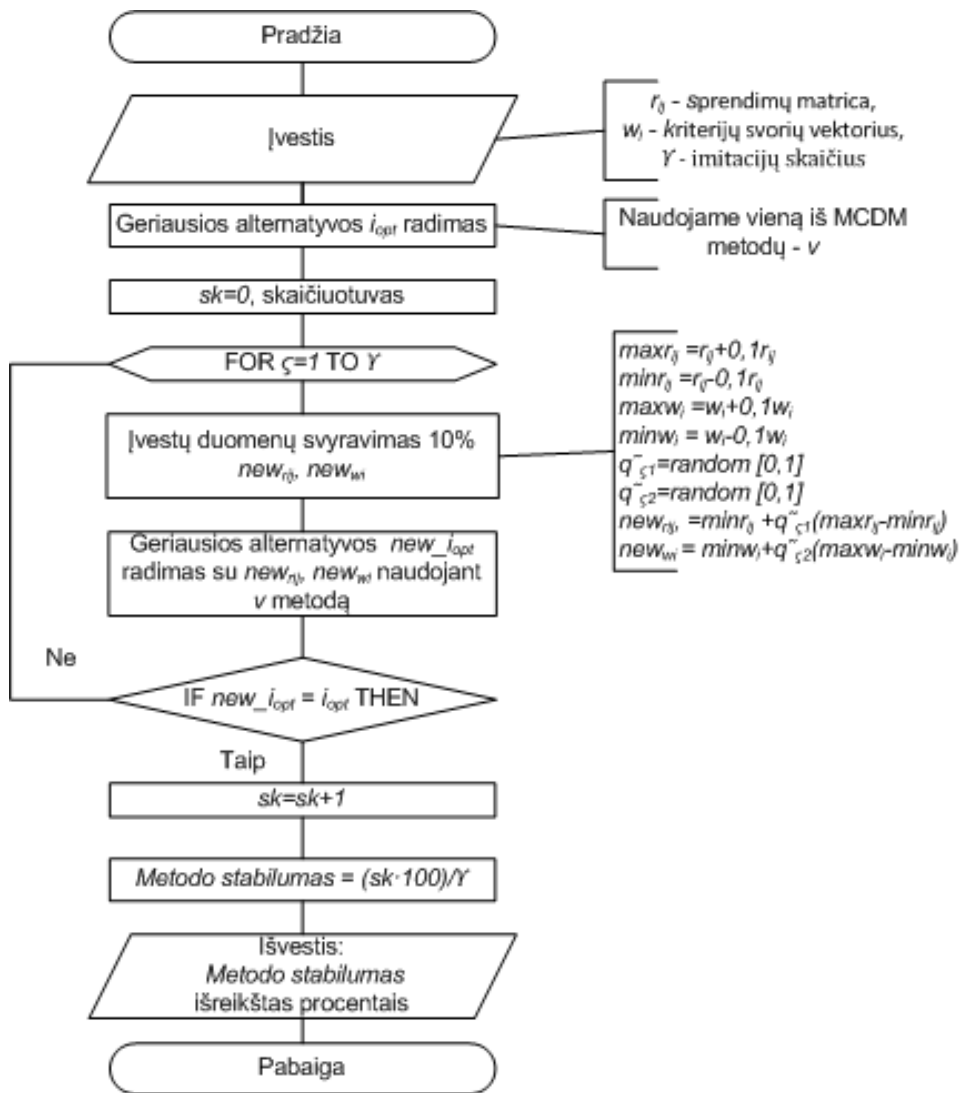
MCDM metodų stabilumo patikrinimo algoritmas pavaizduotas 26 paveiksle.

Pritaikę MCDM metodų stabilumo patikrinimo algoritmą, pateiktą 26 pav., atliksime visų daugiakriterių (3.36–3.43) metodų stabilumo patikrinimą. Kuo geriausios i_{opt} alternatyvos pasikartojimo dažnis yra didesnis, tuo metodas yra stabilesnis.

Pavyzdžiui, yra trijų kursų vertinimai pagal šešis kokybės kriterijus:

$$r = [9 \ 10 \ 8; 10 \ 9 \ 7; 10 \ 10 \ 10; 10 \ 9 \ 8; 9 \ 10 \ 10; 9 \ 10 \ 10];$$

$$w = [0.3063; 0.2843; 0.1132; 0.1655; 0.0597; 0.0709].$$



26 pav. Daugiakriterių metodų stabilumo patikrinimo algoritmas

MCDM metodo stabilumas nustatomas pagal skirtingą imitacijų skaičių, kiekvieną kartą nežymiai keičiant pirminės sprendimo matricos, t. y. ekspertų vertinimų ir svorių vektorius, duomenis. Fiksuojamas geriausios alternatyvos pasikartojimo dažnis, kuris išreiškiamas procentais. Buvo atlikta apie 10–15 bandymų (su skirtingu imitacijų skaičiumi), kurių metu buvo nustatomos metodų stabilumo kitimo ribos. Metodų stabilumo vertinimo rezultatai pateikti 6 lentelėje.

Analizuodami pateiktus rezultatus pastebime, kad kuo didesnis imitacijų skaičius, tuo tikslesnis daugiakriterio metodo stabilumo vertinimas, t. y.

rezultato kitimo intervalas mažėja. Nustatytas pakankamas imitacijų skaičius, kai MCDM stabilumo vertinimo rezultatas jau beveik nesikeitė. Vertindami metodų stabilumą 10^5 matome, kad rezultato kitimo intervalas yra mažas. Todėl tolesniuose vertinimuose MCDM metodų stabilumą užtenka vertinti 10^5 imitacijų. Kaip rodo skaičiavimo rezultatai (6 lentelė), stabiliausi yra PROMETHEE ir TOPSIS metodai.

6 lentelė. *Metodų stabilumo vertinimas pagal skirtingą imitacijų skaičių*

Imitacijų skaičius	SAW, COPRAS	TOPSIS	PROMETHEE	MOORA
100	43 %–60 %	47 %–65 %	56 %–76 %	45 %–56 %
10 000	52 %–54 %	57 %–59 %	65,3 %–66,7 %	42 %–65 %
100 000	53,2 %–53,5 %	58,37 %–58,56 %	65,64 %–65,95 %	46 %–65 %
1000 000	53,43 %–53,45 %	58,46 %–58,54 %	65,8 %–65,9 %	44 %–58 %

Analizuodami pateiktus rezultatus pastebime, kad kuo didesnis imitacijų skaičius, tuo tikslesnis daugiakriterio metodo stabilumo vertinimas, t. y. rezultato kitimo intervalas mažėja. Nustatytas pakankamas imitacijų skaičius, kai MCDM stabilumo vertinimo rezultatas jau beveik nesikeitė. Vertindami metodų stabilumą 10^5 matome, kad rezultato kitimo intervalas yra mažas. Todėl tolesniuose vertinimuose MCDM metodų stabilumą užtenka vertinti 10^5 imitacijų.

Atliekant vertinimą keliais MCDM metodais siūloma pasirinkti stabiliausio metodo rezultatą. Tuo atveju, kai kelių metodų stabilumo įverčiai vienodi arba nežymiai skiriasi, siūloma atsižvelgti į metodų nustatytus rezultatus. Tada kiekvienai alternatyvai sudaromas vektorius iš stabilių metodų rezultatų. Geriausiai alternatyvai parinkti taikomas Pareto metodas.

3.3. Trečio skyriaus išvados

1. Rezultatai parodė, kad Bajeso metodas yra tinkamas nuotolinių kursų kokybei vertinti.
2. Kiekvieno eksperto įvertis patikslinamas, atsižvelgiant į visą sukaupią apriorinę informaciją.
3. Buvo parodyta, kad apriorinio tolygaus skirstinio derinių su sąlyginėmis trikampio arba Gauso tankio funkcijomis aposteriorinės vidurkio funkcijos yra $f_{vid(x)} = X$, t. y. eksperto įverčio koregavimas yra nulinis.
4. Nustatyta, kad iš visų tirtų skirstinių derinių vertinimui tinkamiausia taikyti apriorinę ir sąlyginę Gauso skirstinius, kurie ir bus taikomi tolesniuose skaičiavimuose.
5. Darbe MCDM metodai buvo pateikti kaip matematinės optimizavimo teorijos sudedamoji dalis.
6. Atsižvelgiant į ekspertų nuomonių neapibrėžtumą, darbe buvo taikomas neraiškiųjų skaičių AHPF metodas. Pasiūlytas algoritmas, jungiantis atskirų ekspertų įverčius į bendros grupės porinio palyginimo matricą.
7. Pasiūlyta Bajeso metodą taikyti kriterijų svoriams perskaičiuoti, atsižvelgiant į kitų ekspertų grupių nuomones.
8. Darbe buvo vertinamas MCDM metodų stabilumas. Vertinant nuotolinio kurso kokybę keliais MCDM metodais, siūloma atsižvelgti į stabiliausio metodo rezultatus.

4. Kompleksinis nuotolinių studijų kursų vertinimas

Šiame skyriuje pateikiamas kompleksinis nuotolinių studijų kursų kokybės vertinimas, atsižvelgiant į duomenų neapibrėžtumą, taikant anksčiau aprašytą metodiką, pagrįstą Bajeso metodu, stabilių MCDM metodų ir neraiškiųjų skaičių teorijų taikymu.

4.1. Kursų vertinimo etapai

Nuotolinio kurso kūrimas yra ilgas procesas, kuriame dalyvauja kelių sričių specialistai. Dėstymas nuotoliniu būdu turi savo specifiką, tai ne tik mokomosios medžiagos parengimas, bet ir kurso įkėlimas į virtualią mokymosi aplinką bei viso studijų proceso organizavimas. Išskiriami du pagrindiniai nuotolinių kursų kūrimo etapai – mokomosios medžiagos parengimas, kuris toliau bus vadinamas kurso turinio kūrimu, ir informacinių priemonių naudojimas, dėstant kursą per nuotolį. Kurso kūrimas vyksta nuosekliais etapais. Kiekvieno etapo pabaigoje atliekamas ekspertinis vertinimas. Jeigu įvertinimas yra neigiamas, kursą būtina

tobulinti. Vertinant nuotolinių studijų kursus, yra svarbi besimokančiųjų nuomonė apie kursų ir studijų kokybę. Darbe išskiriami trys pagrindiniai vertinimo etapai nuotolinių studijų kursų kokybei nustatyti ir atitinkamos vertinimą atliekančios ekspertų grupės.

4.1.1. Nuotolinių studijų kursų kokybės vertinimo kriterijai

I etapas: kurso turinio vertinimas

Kiekvienos mokomosios medžiagos pagrindas yra jos turinys. Aukštųjų mokyklų dėstytojų rengiamos medžiagos turinys turi atitikti dėstomos studijų programos tikslą bei uždavinius. Studijų programos kruopščiai rengiamos atsižvelgiant į rinkos paklausą, mokslo naujoves ir kitus veiksnius. Studijų programų kokybę tikrina studijų kokybės vertinimo centro ekspertai. Tinkamos programos yra akredituojamos, t. y. aukštoji mokykla gauna leidimą dėstyti pagal parengtą programą. Todėl pirmas nuotolinių kursų vertinimo etapas yra jo turinio vertinimas.

Kurso turinys vertinamas pagal tokius kokybės kriterijus:

1. **Kurso struktūra.** Aiški bendra kurso struktūra. Turinys pateiktas nuosekliai. Medžiaga pateikta nedideliais kiekiais.
2. **Medžiagos atitikimas studijų programai.** Medžiagos turinys ir jos kiekis atitinka dėstomo dalyko programą (tikslą, uždavinius, valandų skaičių).
3. **Medžiagos aktualumas.** Medžiaga aktuali, nepasenusi.
4. **Žinių patikrinimas.** Po kiekvienos naujos temos pateiktos įvairių tipų užduotys, padedančios išmokti medžiagą. Žinioms patikrinti parengti testai su numatytu grįžtamuju ryšiu, t. y. studentas gali pasitikrinti savo žinias bet kada, jam patogiu metu, nesiderindamas prie dėstytojo darbo grafiko. Pateiktos tarpinių atsiskaitymų užduotys, pagal kurias dėstytojas vertina besimokančiojo žinias. Pateikta aiški žinių vertinimo sistema.

5. **Medžiagos aiškumas.** Mokomoji medžiaga išdėstyta aiškiai, suprantamai.

II etapas: informacinių priemonių naudojimo vertinimas

Kadangi kursas dėstomas nuotoliniu būdu, antras vertinimo etapas – tai parengtos medžiagos pateikimo virtualioje mokymosi aplinkoje bei kitų informacinių priemonių panaudojimo patikrinimas.

Informacinių priemonių panaudojimas vertinamas pagal tokius kokybės kriterijus:

6. **Kurso medžiagos pateikimas.** Kurso medžiaga pateikta nuosekliai. Potemėms bei dideliame failų kiekiui taikoma hierarchija. Kurse tvarkingai įrašyti visų temų pavadinimai, nepaliekant tuščių temų. Pateiktas tekstas, lentelės, grafikai yra įskaitomi, t. y. tekstas yra tokio dydžio ir spalvos, kad informaciją galima nesunkiai perskaityti. Svarbiausia organizacinė informacija pateikta kurso pradžioje, suformuluota trumpai ir aiškiai. Kurso medžiagos stilius vientisas, nėra per daug spalvų, paveikslų, animacijos.
7. **Žinių patikrinimo, pažymio skaičiavimo priemonės.** Žinioms patikrinti naudojami testai, seminarai bei analogiškos paskirties priemonės. Parinkti tinkami klausimų tipai bei darbų pristatymo priemonės. Sistemoje numatytas automatinis galutinio pažymio skaičiavimas.
8. **Mokymosi bendruomenė.** Lengvas, patogus, greitas susisiekimasis su darbo grupe. Bendravimui numatytos sinchroninio ir asinchroninio bendravimo priemonės. Naudojama efektyvi vaizdo konferencijų priemonė, kuri palaiko gerą ryšį, prisijungus visiems studijuojantiems vienos sesijos metu.

9. **Medžiagos nuskaitymas bei prieinamumas.** Geras informacijos perdavimo greitis, ryšys. Tinkamai parinktas vaizdo įrašų formatas, medžiaga greitai paleidžiama, gera vaizdo įrašo kokybė bei garsas. Medžiaga nuskaityta su plačiai naudojamais įrankiais ir prieinama be papildomų prisijungimo sesijų.
10. **Personalizavimas.** Mokymo kelias personalizuojamas pagal besimokančiųjų poreikius. Gali būti rekomenduojamas arba priverstinis studijavimo kelias, naudojant sąlygines taisykles arba apribojant datomis.
11. **Pagalba studijuojančiajam.** Pateikta išsami informacija, kaip studijuoti kursą. Pateiktas studijų tvarkaraštis, nurodomos atsiskaitymų datos. Pateikti dėstytojo arba kuriojančių asmenų kontaktai, lengvas susisiekimasis su dėstytoju bei grupės nariais. Išsamiai paaiškinta, kaip dalyvauti virtualioje paskaitoje.

III etapas: studentų nuomonė apie kursų kokybę

Paskutinis kurso vertinimo etapas – tai vartotojų nuomonė apie studijų proceso organizavimą. Todėl trečiame etape dalyvauja besimokantieji, kurie pateikia savo nuomonę apie kurso organizavimą, dėstymą, medžiagos aktualumą bei naudingumą. Šiame vertinimo etape studentai vadinami ekspertais.

12. **Dėstytojo profesionalumas.** Dėstytojas medžiagą pateikė įdomiai ir aiškiai.
13. **Mokymo organizavimas, pagalba studentams.** Mokymo procesas buvo gerai organizuotas. Paskaitos vyko sklandžiai ir laiku. Buvo suteikta reikiama pagalba.
14. **Savarankiškas mokymasis.** Savarankiškam mokymuisi buvo numatyti įdomūs ir naudingi uždaviniai. Yra grįžtamasis ryšys.
15. **Kurso praktinė nauda.** Išklause kursą studentai įgijo žinių, praktinių įgūdžių ir kompetencijos.

16. Informacinių technologijų naudojimas. Vaizdo įrašai paleidžiami greitai. Priemonės patogios, lengva jas naudoti.

Kiekviename nuoseklaus nuotolinių studijų kurso kokybės vertinimo etape vertinimus atlieka ekspertai, kurių kompetencija atitinka keliamus reikalavimus. Pirmojo kurso medžiagos vertinimo etapo ekspertų kompetenciją lemia pedagoginis tikrinamojo dalyko srities vardas. Antros grupės ekspertai privalo turėti aukštosios mokyklos informatiko išsilavinimą arba nuotolinių studijų kursų vertinimo patirties. Dėl trečiojo etapo vertinimo grupės kvalifikacijos gali kilti abejonių: ar galima studentus laikyti ekspertais, ar jų kompetencija atitinka kitų etapų ekspertų kompetenciją.

Vertinimo etapų svarbumo nustatymas

Sumuojant trijų etapų vertinimo rezultatus, reikia atsižvelgti į tai, kad vertinimo etapų svarbumas yra nevienodas. Skiriasi darbo apimtis, laikas, kurio reikia kursui parengti ir jį įvertinti, ekspertų kvalifikacija. Vertinimo svarbumą (svorius) nustato už studijų kokybę atsakingas aukštosios mokyklos administracijos skyrius.

Darbe buvo atliktas kompleksinis trijų nuotolinių studijų kursų kokybės vertinimas. Toliau pateikiamas kiekvieno iš vertinamų kursų trumpas aprašymas.

4.1.2. Nuotolinių studijų kursų aprašymas

Diskrečiosios matematikos kursas

Kursas dėstomas VGTU telekomunikacijų inžinerijos bei verslo informacinės studijų programų pirmosios pakopos studentams. Modulio kodas FMMMB11205, kurso apimtis – 5,0 kreditai (kr.) (5,00 ECTS kr.). Nuotolinis

kursas parengtas lietuvių kalba. Pagal studijų programą numatyti mokymo metodai – paskaitos (22 val. per semestrą), pratybos (10 val. per semestrą) bei savarankiškas darbas (101 val. per semestrą). Šio kurso tikslas – supažindinti su pagrindinėmis diskrečiosios matematikos sąvokomis, uždaviniais bei jų sprendimo metodais. Numatomas gebėjimas spręsti klasikinius diskrečiosios matematikos uždavinius. Kurso studijų programoje numatytos tokios temos: Baigtinių aibių elementų kombinacijos. Kombinatoriniai skaičiai. Generuojančiosios funkcijos. Rekurenčiosios lygtys. Sąryšių teorija. Sutvarkytosios aibės. Skaičių sekų augimo ir nykimo greičio sąryšiai. Grafų teorija. Orientuotieji grafai ir sąryšiai. Grafų ciklai. Grafų analizės algoritmai. Sunkieji uždaviniai. Informacijos teorijos elementai.

Diskrečiosios matematikos kursas yra VGTU virtualiojoje mokymosi aplinkoje *Moodle* ir prieinamas adresu: <http://moodle.vgtu.lt/course/view.php?id=2274>. Studijų procesui organizuoti kurso pradžioje yra naudojamos naujienų forumo bei lankomumo žurnalo IT priemonės. Pateiktas studijuojamos medžiagos literatūros šaltinių sąrašas. Taip pat kurso pradžioje sudėtos namų darbų ir egzamino užduotys. Tam panaudotos virtualios mokymo aplinkos priemonės. Kurse atsiskaitymo veiklos ribojamos datomis.

Parengtą kurso medžiagą sudaro 15 skyrių:

- Pagrindinės matematinės logikos sąvokos ir operacijos.
- Tautologijos ir prieštaros. Logikos dėsniai.
- Formulės gylis. Infiksiniis, prefiksiniis ir postfiksiniis formulių užrašymo pavidalai.
- Disjunkcinė ir konjunkcinė formos. Karno kortos.
- Funkcijų tyrimas. Posto teorema.
- Dviejų kintamųjų funkcijos.
- Predikatai.

- Aibių teorijos įvadas.
- Kombinatorika. Kombinatoriniai skaičiai. Įdėties pašalinimo principas.
- Sąryšiai. Sąryšių operacijos.
- Sąryšių savybės ir klasifikavimas.
- Grafai, jų apibrėžimo būdai. Veiksmai su grafais.
- Grafų tyrimo elementai.
- Medžiai. Grafų tyrimo tęsinys.
- Ciklai. Nepriklausomų ciklų uždaviniai.

Kiekvienas skyrius sudarytas iš teorinės dalies pateikčių, vaizdo įrašų bei pasitikrinimo užduočių, testo arba pratimų. Medžiaga pateikta nedideliais kiekiais. Prie kiekvieno uždavinio yra trumpas komentaras, uždavinio atlikimo data ribojama.

Kurso teorinė medžiaga parengta su *MS Power Point* programa. Bendra kurso apimtis – 353 puslapiai. Medžiaga paremta praktiniais pavyzdžiais, uždaviniais su sprendimais, animacija. Kurse yra 30 aiškinamųjų vaizdo elementų. Trumpi animaciniai filmukai pateikti populiariu *.wmv* formatu. Filmukuose nenaudojamas garsas. Kurse pateikiami pratybų ir vaizdo konferencijų įrašai pagal numatytą studijų tvarkaraštį. Šio nuotolinių studijų kurso privalumas – savarankiškomis studijoms parengti testai. Geresniam žinių įsisavinimui panaudota informacinių technologijų personalizuojanti galimybė atrinkti po vieną klausimą iš grupės analogiškų klausimų. Kurse sukurta 12 testų, kurie sudaryti vidutiniškai iš 7 klausimų. Klausimų talpykloje yra 210 klausimų. 99 % klausimų yra vieno tipo, t. y. reikia pasirinkti vieną atsakymą iš kelių galimų.

Paskutinė kurso tema skirta taikomiesiems uždaviniams aprašyti bei medžiagai pasikartoti. Temoje išdėstyti grafų taikymo uždaviniai: keliaujančio pirklio uždavinys, minimalaus svorio medžiai, Šteinerio mazgai, Hafmano kodavimas. Pateikti šeši testo uždavinių pavyzdžiai su atsakymais.

„Matematikos 2“ kursas

Kursas dėstomas VGTU mechanikos, statybos inžinerijos bei statybos technologijos ir valdymo studijų programų pirmosios pakopos studentams. Kurso kodas studijų programoje yra FMMMB11201, kurso apimtis yra 7,0 kr. (7,00 ECTS kr.). Modulis parengtas lietuvių kalba. Studijų programoje numatyti mokymo metodai – paskaitos (45 val. per semestrą), pratybos (30 val. per semestrą), konsultacijos (4 val. per semestrą) bei savarankiškas darbas (107 val. per semestrą). Kurso tikslai – supažindinti su pagrindinėmis neapibrėžtinių ir apibrėžtinių integralų skaičiavimo taisyklėmis ir jų taikymu, pateikti diferencialinių lygčių klasifikaciją ir sprendimo būdus; supažindinti su skaičių ir funkcijų eilutėmis. Kurso programoje numatytos tokios temos: Neapibrėžtiniai integralai. Apibrėžtiniai integralai ir jų taikymas. Dvilypiai ir kreiviniai integralai, jų taikomieji uždaviniai. Pirmosios eilės diferencialinės lygtys. Aukštesniųjų eilių diferencialinės lygtys. Aukštesniųjų eilių tiesinės diferencialinės lygtys su pastoviais koeficientais. Skaičių eilutės. Laipsninės eilutės. Eilučių taikymai.

„Matematikos 2“ kursas pateiktas VGTU virtualiojoje mokymosi aplinkoje *Moodle* ir prieinamas adresu: <http://moodle.vgtu.lt/course/view.php?id=1017>. Kurso pradžioje pateiktas trumpas kurso aprašymas, kurso tikslai, studijuojamos literatūros sąrašas ir egzamino bilietų pavyzdžiai. Išsamiai aprašyta atsiskaitymo tvarka ir vertinimo principai, pateikta trumpa pagalba studijuojančiam, t. y. instrukcija, kaip prisijungti prie vaizdo konferencijos, nurodyti dėstytojo kontaktai. Kurse naudojamas naujienų forumas. Pritaikyta patogi virtualiosios aplinkos priemonė registruotis į egzamino perlaikymą.

Kurse numatyti penki skyriai. Kurso medžiagą sudaro 12 paskaitų ir jos yra suskirstytos į tris pagrindines temas:

- Tema 1. Neapibrėžtinis integralas.
- Tema 2. Apibrėžtinis integralas.
- Tema 3. Diferencialinės lygtys.

Kiekvieną paskaitą sudaro teorinė dalis, pratybų medžiaga ir uždaviniai savarankiškam darbui. Tekstinė medžiaga pateikta labai glaustai. Kurse numatyti savikontrolės uždaviniai ir tarpinio atsiskaitymo veiklos. Studijų medžiaga pateikiama teksto ir vaizdo įrašų pavidalu. Šio kurso privalumas – nufilmuotos visos paskaitos ir pratybos (apytiksliai pateikta 30 vaizdo įrašų). Įrašant pratybas, buvo naudojami liečiamieji ekranai, uždaviniai sprendžiami rašant ant ekrano. Todėl tokia nufilmuota paskaita atitinka tradicinės paskaitos reikalavimus. Įrašų vaizdo kokybė gera, yra galimybė žiūrėti medžiagą daug kartų. Pratybų metu išspręsti uždaviniai įkelti į virtualiąją mokymosi aplinką, juos galima išsispausdinti ir studijuoti iš popierinio varianto.

Savarankiškomis studijoms paruošti klausimai pasirenkami atsitiktine tvarka, taigi testas personalizuojamas atskiram besimokančiajam. Klausimų talpykloje pateikti 34 klausimai. Klausimų tipas – pasirinkti vieną atsakymą iš kelių pasiūlytų. Numatyti tarpiniai atsiskaitymai, t. y. 4 namų darbai. Darbui pristatyti panaudotos virtualios mokymosi aplinkos priemonės. Vaizdo įrašų medžiaga parengta glaustu *.avi* formatu.

Kurse pateikta daug pavyzdžių, papildytų atvira vaizdo medžiaga, parengta geriausių pasaulio universitetų. Du paskutiniai skyriai skirti papildomoms studijoms:

- laboratoriniai darbai,
- skaičių eilutės.

Tai praktinių uždavinių realizavimas su matematiniais paketais bei uždaviniai su pateiktais sprendimais.

Integralinio skaičiavimo kursas

Kursas dėstomas VGTU statinių inžinerinės, verslo informacinių sistemų bei transporto inžinerijos studijų programų pirmosios pakopos studentams. Kurso modulio kodas – FMSAB11223, apimtis – 6,0 kr. (6,00 ECTS kr.). Modulis parengtas lietuvių kalba. Taikomi mokymo metodai – paskaitos (45 val. per semestrą), pratybos (30 val. per semestrą), konsultacijos (6 val. per semestrą) bei savarankiškas darbas (79 val. per semestrą). Kurso tikslas – studentams išaiškinti pagrindines integralinio skaičiavimo sąvokas ir išmokti taikyti šio dalyko žinias, sprendžiant įvairių sričių uždavinius. Įgytos žinios yra būtinos studijuojant kitas matematinės disciplinas, kurios numatytos programoje. Kurse dėstomos šios temos: Netiesioginis integralas. Pagrindiniai integravimo būdai. Apibrėžtinis integralas ir jo taikymas skaičiuojant plokščių figūrų plotą, kreivės ilgį, kūnų tūrį. Integralo taikymas mechanikoje. Dvilypis integralas ir jo taikymas. Dėstomos svarbiausios skaičių eilutės sąvokos, teigiamų eilučių konvergavimo požymiai, alternuojančios eilutės, laipsninės eilutės, Teiloro eilutė, funkcijų skleidimas eilute, Furjė eilutė.

Integralinio skaičiavimo kursas parengtas VGTU virtualioje mokymosi *Moodle* aplinkoje ir prieinamas adresu: <http://moodle.vgtu.lt/course/view.php?id=2273>. Kurso pradžioje pateikta svarbiausia informacija apie egzaminų perlaikymą, studentų apklausa apie kurso kokybę, naujienų forumas. Pirmasis skyrius – tai informacija apie kursą. Taip pat yra nufilmuota įvadinė paskaita, viso kurso studijuojamų temų sąrašas ir trumpas kurso aprašymas. Skyriuje pateikta išsami informacija apie atsiskaitymo tvarką su preliminariomis datomis bei vertinimo formule. Kurse taikomas vientisas stilius. Aiški bendra kurso struktūra.

Kurso medžiaga išdėstyta 12 skyrių:

- 1–2 paskaitos: Neapibrėžtinis integralas.
- 3 paskaita: Apibrėžtinis integralas.
- 4 paskaita: Apibrėžtinio integralo taikymai geometrijoje.

- 5 paskaita: Apibrėžtinio integralo taikymai mechanikoje ir ekonomikoje.
- 6 paskaita: Kartotiniai integralai.
- 7 paskaita: Kontrolinis darbas → Tarpiniai atsiskaitymai.
- 8 paskaita: Pirmosios eilės diferencialinės lygtys.
- 9 paskaita: Antrosios eilės diferencialinės lygtys.
- 10 paskaita: Skaičių ir funkcijų eilutės.
- 11–12 paskaita: Kolokviumas → Tarpiniai atsiskaitymai; Kontrolinis → Tarpiniai atsiskaitymai.

Kiekvienoje paskaitoje pateiktos teorinės medžiagos skaidrės ir vaizdo įrašai, diskusijų forumai, kurie aktyviai naudojami atsakant į studentų klausimus. Vienos paskaitos vaizdo medžiaga išskaidyta į kelis įrašus. Nufilmuotos visos teorinės paskaitos bei pratybos. Kurse pateikti dešimties paskaitų vaizdo įrašai bei konferencijų įrašai, kurie vyko realiuoju laiku. Paskaitos pateiktos populiariu *.wmv* formatu. Savarankiškoms studijoms pateikti uždaviniai su atsakymais. Visos kurso veiklos yra paaiškinamos komentarais ir apribojamos atsiskaitymo datomis.

Tarpiniai atsiskaitymai ir koliokviumai paruošti testo pavidalu. Testų klausimai personalizuojami kiekvienam besimokančiajam. Klausimų talpykloje pateikti 62 klausimai. Panaudoti trys klausimų tipai: tiesa / netiesa, skaitinio atsakymo įvedimas, atsakymo pasirinkimas iš kelių pasiūlytų variantų. Egzaminas paruoštas testo pavidalu. Vienas iš tarpinių atsiskaitymų – namų darbo atlikimas, kurio pristatymas numatytas virtualioje mokymo sistemoje.

Paskaitų medžiagoje yra nuorodos į laboratorinius darbus ir tarpinius atsiskaitymus, kurie pateikti priešpaskutiniame kurso skyriuje. Paskutiniame kurso skyriuje pateikti vadovėliai lietuvių ir anglų kalbomis pagal kurso programos studijuojamą tematiką. Elektroninės knygos prieinamos be papildomo prisijungimo.

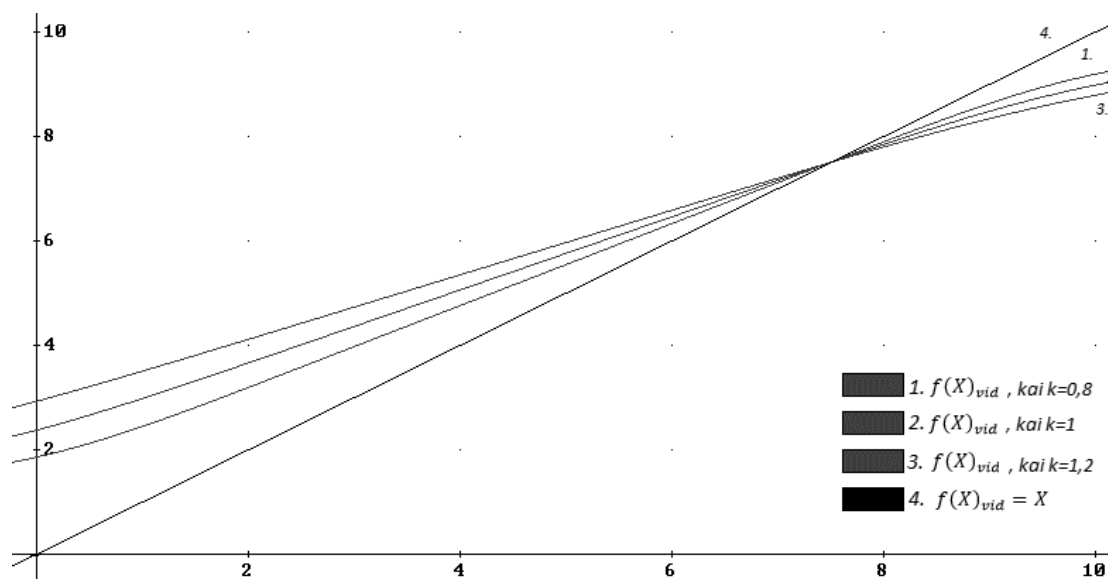
4.2. Bajeso metodo taikymas nuotoliniams kursams vertinti

Šiame poskyryje NSK kokybei nustatyti taikomas Bajeso metodas. Kaip minėta, Bajeso metodas naudoja visą sukaupią patirtį, t. y. visą istorinę informaciją apie kursų vertinimą ir eksperto vertinimo paklaidą. Metodas taikomas kiekvienam eksperto įverčiui. Ekspertų paklaida k buvo nustatyta pagal jų kvalifikaciją. Patyrusio eksperto paklaida paprastai būna nedidesnė už $k = 1$. Patikslintą kurso įvertinimą apibendrina aposteriorinio vidurkio funkcija $f_{vid}(X)$.

Kursą vertino trys ekspertų grupės: dėstytojai, IT specialistai ir studentai. Ekspertų kompetencija buvo nustatoma pagal jų vertinamo dalyko sritį. Kursų turinį vertino specialistai, turintys bazinį matematinį išsilavinimą. Atitinkamai buvo nustatytos ekspertų k paklaidos: aukščiausiam pedagoginiam vardui – profesoriui $k = 0,8$, turintiems docento vardą $k = 1$, lektoriams ir asistentams $k = 1,2$. Kursų kokybės vertinime dalyvavo skirtingos kvalifikacijos ekspertai, turintys profesoriaus, docento ir lektoriaus vardus. Kursą, įkeltą į virtualią mokymosi aplinką, bei IT priemonių panaudojimą, dėstant nuotoliniu būdu, vertino informatikos specialistai, turintys aukštąjį informatikos išsilavinimą ir nuotolinių kursų vertinimo patirties, ir jų kompetencija buvo vienoda. Trečiojo etapo kursų vertinimą atliko studentai. Darbe nebuvo atsižvelgiama į studentų aktyvų dalyvavimą paskaitoje, dalyko žinių pažymius bei kitus veiksnius, lemiančius studentų kompetenciją. Todėl visiems trečios grupės ekspertams buvo nustatyta vienoda kompetencija. Antrojo ir trečiojo etapo ekspertams savo vertinimo grupėse buvo nustatytos eksperto paklaidos $k = 1$.

Apriorinė informacija apie kursų vertinimą aprašoma Gauso skirstiniu, t. y. vidurkio μ ir vidutinio kvadratinio nuokrypio σ reikšmėmis. Kalbant apie VGTU sukaupią vertinimo informaciją, ekspertai (dėstytojai) kurso turinį vertino žodžiais, parašydami atsiliepimą apie kurso kokybę. IT specialistai kursą, įkeltą į virtualią mokymosi aplinką, vertino pažymiais. Iš dalies jie vertino

pirmojo etapo veiksnus, pavyzdžiui, kurso struktūrą, tikslus. Todėl darbe pirmojo ir antrojo vertinimo etapų apriorinė informacija buvo skaičiuojama iš esamų universiteto sukauptų kurso pažymių. Apriorinio Gauso skirstinio vidurkis yra lygus universiteto NSK įverčių vidurkiui $\mu = 7,543$, $\sigma = 1,528$. Pirmojo ir antrojo vertinimo etapų įvairių kvalifikacijų ($k = 0,8; 1; 1,2$) ekspertų funkcijos $f_{vid}(X)$ bei $f_{vid}(X) = X$ grafikas pavaizduotas 20 paveiksle. Apriorinio tolygaus ir ekspertų Gauso skirstinių taikymo tyrimas parodė (3.21), kad kai nėra realios informacijos apie kurso vertinimą, $f_{vid}(X) = X$, todėl jo atžvilgiu yra patogu stebėti kitų grafikų pokyčius.

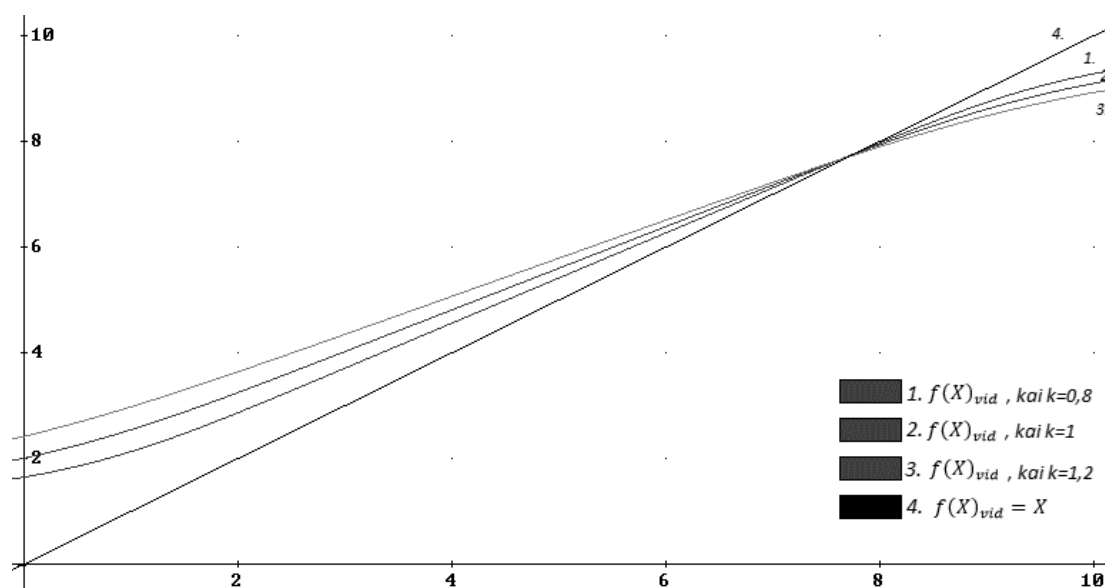


27 pav. Pirmojo ir antrojo vertinimo etapų $f_{vid}(X)$ skirtingos kvalifikacijos ekspertų grafikai

Iš 27 paveikslo matyti, kad visi grafikai susikerta taške $\{7,543; 7,543\}$, kai eksperto įvertinimas X sutampa su apriorinių universiteto įverčių vidurkiu μ . Jeigu eksperto įvertinimas yra mažesnis už apriorinį universiteto vidurkį ($X < \mu$), tai $f_{vid}(X)$ padidina jo įvertį (grafikai nr. 1, 2, 3 yra aukščiau už $f_{vid}(X) = X$ grafiką). Kai $X > \mu$, aposteriorinės funkcijos vidurkio grafikas pamažina eksperto įvertinimo X reikšmę (grafikai nr. 1, 2, 3 žemiau už

$f_{vid}(X) = X$ grafika). Kaip matyti iš skirtingų kvalifikacijų $f_{vid}(X)$ grafikų, daugiausiai yra koreguojamas nepatyrusio eksperto įvertis (grafikas nr. 3, kai $k = 1,2$). Geresnė eksperto kvalifikacija užtikrina mažesnę koregavimą (grafikas nr. 1, kai $k = 0,8$), kadangi jo nuomone yra labiau pasitikima.

Skirtingai nei pirmuose dviejuose vertinimo etapuose, trečiame etape apie parengto kurso kokybę savo nuomonę išsako studentai, atsižvelgdami į dėstytojo profesionalumą bei visą studijų eigą. Kadangi VGTU studentų nuomonė yra svarbi, universitete kas semestrą buvo atliekama apklausa apie dėstytojus ir jų dėstomus dalykus. Trečiojo vertinimo etapo apriorinio Gauso parametrai σ ir μ buvo nustatyti iš sukauptų universiteto matematikos srities kursų studentų vertinimų. Studentų sukauptų pažymių vidurkis $\mu = 7,838$ yra aukštesnis už dėstytojų ir IT specialistų įverčius. Jų pažymių sklaida apie vidurkį $\sigma = 1,932$ yra didesnė už pirmųjų vertinimo etapų σ reikšmę. Studentų funkcijų $f_{vid}(X)$ grafikai esant skirtingai ekspertų paklaidai k pavaizduoti 28 paveiksle.

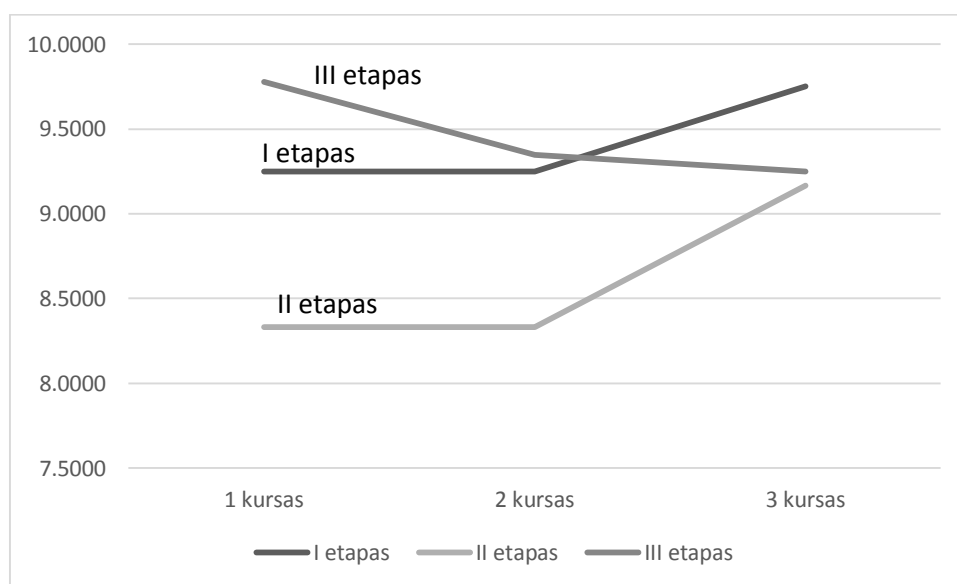


28 pav. Trečiojo vertinimo etapo $f_{vid}(X)$ skirtingos kvalifikacijos ekspertų grafikai

Kaip matyti 28 paveiksle, visi grafikai kertasi bendrame taške $X = \mu$. Kai eksperto įvertis X mažesnis už apriorinį vidurkį μ , aposteriorinė vidurkio

funkcija padidina eksperto įvertį, nepriklausomai nuo eksperto kvalifikacijos (grafikai nr. 1, 2, 3 yra aukščiau už $f_{vid}(X) = X$). Jeigu $X > \mu$, tai $f_{vid}(X)$ sumažina eksperto įvertį (grafikai nr. 1, 2, 3 yra mažiau už $f_{vid}(X) = X$ grafiką). Kuo eksperto kompetencija yra aukštesnė (juo paklaida yra maža ($k = 0,8$)), tuo vertinimas mažiau koreguojamas ir atvirkščiai. Darbe nebuvo atsižvelgiama į studentų lankomumą, dalyko išmokimo vertinimą bei kitus veiksnius, lemiančius studentų kompetenciją. Todėl jiems nebuvo taikomos skirtingos k paklaidos.

NSK kokybe ekspertai vertino vienu įverčiu X dešimties balų skalėje. Pradiniai ekspertų vertinimo rezultatai pateikti A priedo 1–3 lentelėse. Pradinių ekspertų X įverčių vidurkiai pateikti 7 lentelėje ir grafiškai pavaizduoti 29 paveiksle.



29 pav. X įverčių vidurkių grafikai

Kaip matyti 29 paveiksle, dėstytojų ir IT specialistų vertinimo tendencija yra vienoda. Įdomu, kad, prieš dėstant kursą studentams, kaip geriausias buvo išrinktas 3 kursas. Tačiau, studentų nuomone, jis yra blogesnis už kitus. 1 ir 2 kursą studentai įvertino geriausiai. Kritiškiausi buvo IT specialistai, nes jų įverčiai buvo žemesni už kitų ekspertų grupių. Bajeso metodas koreguoja

kiekvieną eksperto įvertį X , taikant atitinkamą vertinimo $f_{vid}(X)$ funkciją. Tarpiniai metodo skaičiavimai pateikti A priedo 1–3 lentelėse.

7 lentelė. *Kursų įverčių X ir $f_{vid}(X)$ vidurkių reikšmės*

Įverčių X vidurkis				$f_{vid}(X)$ vidurkis			
Etapai/kursai	1 kursas	2 kursas	3 kursas	Etapai/kursai	1 kursas	2 kursas	3 kursas
I etapas	9,2500	9,2500	9,7500	I etapas	8,5975	8,5975	8,8626
II etapas	8,3333	8,3333	9,1667	II etapas	8,2096	8,0428	8,5447
III etapas	9,7778	9,3462	9,2500	III etapas	8,9893	8,7668	8,6745
Vidurkis	9,1204	8,9765	9,3889	Vidurkis	8,5988	8,4690	8,6939

7 lentelėje matyti, kad visų etapų pradiniai ekspertų įverčių X vidurkiai yra aukštesni už Bajeso metodu patikslintas kurso reikšmes. Taip yra todėl, kad pradinių įverčių X vidurkiai yra aukštesni už apriorinius vidurkius: I–II etapų $\mu=7,543$, III etapo $\mu=7,8378$. Kelių ekspertų įverčiai X buvo žemesni už apriorinį vidurkį, pvz., IT specialisto 1 kurso įvertinimas yra $f_{vid}(7) = 7,1617$ (A.2 lentelė), studento 3 kurso įvertinimas yra $f_{vid}(7) = 7,1748$ (A.3 lentelė), todėl jų vertinimo rezultatai buvo padidinti. Analizuojant II vertinimo etapo rezultatus, matyti, kad 1-ojo ir 2-ojo kursų įverčiai sutampa. Tačiau, pritaikius Bajeso metodą, 1 kurso įvertis tapo didesnis nei 2-ojo. Esant vienodam vidurkiui įverčiai buvo skirtingi – po korekcijos jų reikšmės pasikeitė (A.2 lentelė).

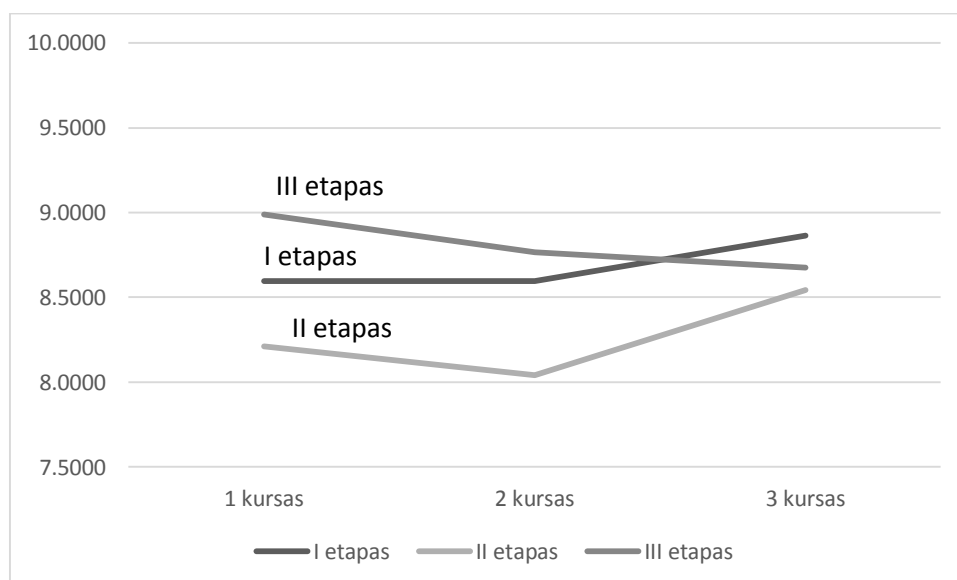
8 lentelė. *Kursų įverčių X ir $f_{vid}(X)$ rangai*

Įverčių X vidurkis				$f_{vid}(X)$ vidurkis			
Etapai/kursai	1 kursas	2 kursas	3 kursas	Etapai/kursai	1 kursas	2 kursas	3 kursas
I etapas	2-3	2-3	1	I etapas	2-3	2-3	1
II etapas	2-3	2-3	1	II etapas	2	3	1
III etapas	1	2	3	III etapas	1	2	3
Vidurkis	2	3	1	Vidurkis	2	3	1

4. KOMPLEKSINIS NUOTOLINIŲ STUDIJŲ KURSŲ VERTINIMAS

Norint išsamiau stebėti įverčių pasikeitimą, pritaikius Bajeso metodą, skaitiniai vertinimo rezultatai buvo suranguoti (8 lentelė). Iš pradinių įverčių vidurkio matyti, kad dėstytojų (I etapas) ir IT specialistų (II etapas) geriausiai yra įvertintas 3 kursas (8 lentelė). Pritaikius Bajeso metodą, vertinimo rezultatai nepasikeitė. Kaip rodo pradiniai vertinimo rezultatai, dėstytojai ir IT specialistai mano, kad 1-ojo ir 2-ojo kursų kokybė yra vienoda. Pritaikius Bajeso metodą, IT specialistų vertinimo rezultatas pasikeitė: 1 kurso vertinimas tapo geresnis už 2-ojo. Šis rangavimo rezultatas sutapo su galutiniu trijų etapų vertinimų vidurkiu.

Labai skiriasi studentų nuomonė nuo pirmųjų dviejų grupių ekspertų. Atsižvelgiant į visų trijų etapų suminį vertinimo rezultatą, kaip geriausias nustatytas 3 kursas, nors, studentų nuomone, jis yra blogiausias. Kaip rodo dėstytojų ir IT specialistų nuomonė, 1-ojo ir 2-ojo kurso kokybė beveik nesiskiria, tačiau studentų nuomonė turėjo didelę įtaką galutiniam rezultatui. Studentai nustatė, kad 1 kursas yra geriausias. Analizuojant pirminius vertinimo rezultatus su patikslintais Bajeso metodu, matyti, kad vertinimo tendencija išliko ta pati. Visų trijų etapų galutinis vertinimo rezultatas yra vienodas (8 lentelė).



30 pav. Grafiškai pavaizduoti vertinimo rezultatai, pritaikius Bajeso metodą

Trijų vertinimo etapų rezultatai pritaikius Bajeso metodą grafiškai pavaizduoti 30 paveiksle. Iš 30 paveikslo matyti, kad trijų vertinimo etapų grafikai išsidėstė arčiau vienas kito negu pirminių vertinimo rezultatų atveju (29 pav.). Pritaikius Bajeso metodą, visų ekspertų įverčiai pasiskirstė 8–9 balų intervale. Lyginant šiuos rezultatus su pradiniais ekspertų X įverčių vidurkiais, akivaizdu, kad visos įverčių reikšmės sumažėjo, atsižvelgiant į apriorinių skirstinių žemą vidurkį, nors vertinimo tendencija išliko tokia pati (29 – 30 pav.).

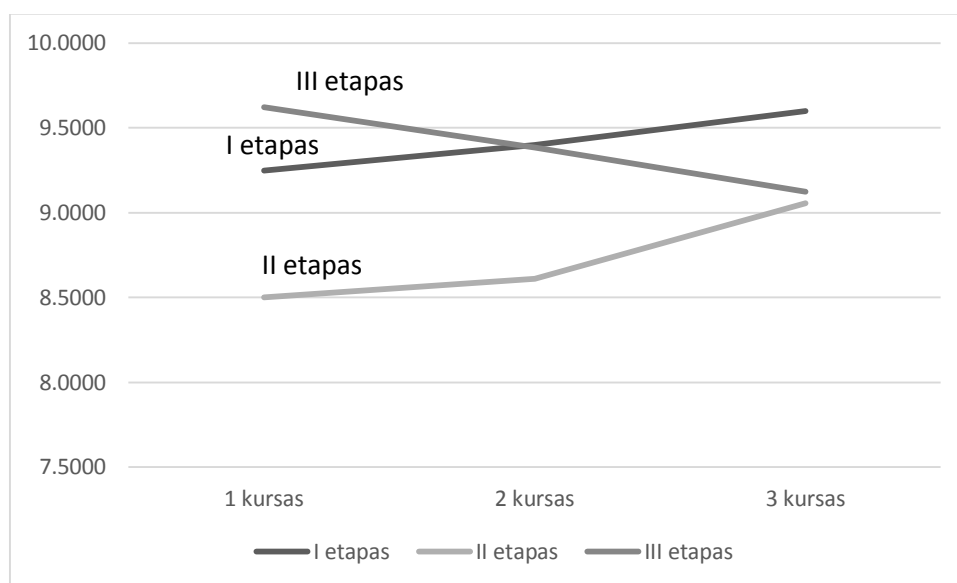
4.3. MCDM metodų taikymas nuotoliniams kursams vertinti

Šiame poskyryje nuotolinių studijų kursų kokybei vertinti taikomi daugiakriteriai metodai. Kurso kokybė vertinama pagal kriterijų grupes. Taikant MCDM metodus, atsižvelgiama ne tik į kursų įverčius, bet ir į kriterijų svarbumą (svorius). Tačiau neatsižvelgiama į ekspertų, atliekančių vertinimą, kompetenciją.

MCDM metodų vertinimą sudaro du etapai:

1. Kursų vertinimas pagal kriterijus,
2. Kriterijų svorių nustatymas.

Kurso kokybės vertinimas atliekamas jau minėtais trimis etapais. Taikant Bajeso metodą, ekspertai vertina kurso kokybę vienu įverčiu. Tačiau MCDM metoduose ekspertai atlieka tiesioginį kursų vertinimą dešimtbalėje sistemoje pagal numatytus kokybės kriterijus. Todėl yra tikslinga palyginti metodikos dviejų vertinimo būdų pradinius ekspertinių vertinimų rezultatus. Pradiniai kursų įverčiai pagal kriterijus pateikti B priedo 1–3 lentelėse. Daugiakriterio ekspertinio vertinimo vidurkių reikšmės pavaizduotos 31 paveiksle.



31 pav. Įverčių, vertinant pagal kokybės kriterijus, vidurkių grafikai

31 paveiksle matyti, kad dėstytojų ir IT specialistų kursų vertinimo rezultatai yra panašūs (tik dėstytojai kursus įvertino aukštesniais įverčiais). Abiejų grupių ekspertai nustatė, kad geriausias yra 3, o blogiausias – 1 kursas. Tačiau studentų nuomonė labai skiriasi nuo pirmųjų dviejų ekspertų grupių. Studentai nustatė, kad geriausias yra 1 kursas, prasčiausias – 3 kursas. Kursų kokybę įvertino siaurame įverčių intervale nuo 8,5 iki 9,7 balų.

Analizuojant Bajeso (29 pav.) ir daugiakriterių metodų ekspertinių pirminių vertinimo vidurkio reikšmes (31 pav.), matyti, kad vertinimo tendencija yra panaši. Tikslesnei pirminių ekspertinių vertinimų lyginamajai analizei suskaičiuojami įverčių vidurkių koreliacijos koeficientai. Atlikus palyginimą pagal vertinimo etapus, gauti tokie koreliacijos koeficientai: I etapo – 0,904, II etapo – 0,982, III etapo – 0,93. Palyginus dviejų vertinimo būdų ekspertinius duomenis pagal kursus, gauta tokia koreliacija: 1 kurso – 0,999; 2 kurso – 0,995; 3 kurso – 0,533. Matyti, kad Bajeso ir daugiakriterių pradinių ekspertinių duomenų koreliacija yra stipri, išskyrus 3-ojo kurso vertinimą.

Šiame darbe (3.2.5 skyrelyje) buvo pasiūlytas AHPF kriterijų svorių nustatymo metodas. AHPF metodas suformuoja vieną grupės porinio

4. KOMPLEKSINIS NUOTOLINIŲ STUDIJŲ KURSŲ VERTINIMAS

palyginimo matricą, naudojant neraiškiuosius skaičius. Tokiu būdu metodas nustato kriterijų svarbumą (svorį), įvertinantį bendrą ekspertų grupės nuomonę. Kitas ekspertų grupės kriterijų svorių nustatymo būdas – tai standartinio AHP metodo taikymas. Šis metodas suskaičiuoja kriterijų svorius kiekvienam ekspertui pagal jo užpildytą porinio palyginimo matricą. Toliau skaičiuojamas nustatytų kriterijų svorių vidurkis. Kriterijų svoriai, nustatyti AHP ir AHPF metodais, bei pradiniai kursų įverčių vidurkiai yra pateikti 9 lentelėje.

9 lentelė. Pradiniai ekspertiniai rezultatai vertinant pagal kriterijus

Kriterijaus numeris	Kriterijų svoriai			Įverčiai		
	AHP vidurkis	AHPF		1 kurso įvertis	2 kurso įvertis	3 kurso įvertis
I ETAPAS						
1	0,1920	0,2085		9,0000	9,0000	10,0000
2	0,1937	0,2053		9,0000	9,7500	10,0000
3	0,1315	0,1952		9,7500	9,5000	9,5000
4	0,1189	0,1845		9,2500	8,7500	9,0000
5	0,3639	0,2065		9,2500	10,0000	9,5000
Vid. kv. nuokr.	0,0874	0,0090	Vidurkis	9,2500	9,4000	9,6000
II ETAPAS						
6	0,3547	0,2346		9,3333	9,0000	10,0000
7	0,1619	0,1927		10,0000	9,0000	9,0000
8	0,0380	0,0433		8,3333	8,0000	8,6667
9	0,1815	0,1944		8,6667	10,0000	10,0000
10	0,1301	0,1714		7,3333	7,0000	8,3333
11	0,1337	0,1637		7,3333	8,6667	8,3333
Vid. kv. nuokr.	0,0954	0,0596	Vidurkis	8,5000	8,6111	9,0556
III ETAPAS						
12	0,2623	0,2110		9,7778	9,5385	9,8750
13	0,2557	0,2070		9,6667	9,8462	9,5000
14	0,1846	0,2045		9,6667	9,3846	9,0000
15	0,1544	0,1925		9,2222	9,0769	7,6250
16	0,1431	0,1851		9,7778	9,0769	9,6250
Vid. kv. nuokr.	0,0501	0,0097	Vidurkis	9,6222	9,3846	9,1250
			Bendras vidurkis	9,1241	9,1319	9,2602

Kriterijų svoriams palyginti, pritaikius AHP ir AHPF metodus, buvo apskaičiuotas vidutinis kvadratinis nuokrypis. Galima pastebėti, kad kriterijų svorių vidutinis kvadratinis nuokrypis, nustatytas AHP metodu, yra žymiai didesnis už gautą AHPF metodu. AHPF metodo rezultatų duomenų sklaida daug mažesnė, nes šis metodas skaičiuoja kriterijų svorius iš bendros grupės porinio palyginimo matricos, kuri atsižvelgia į visos ekspertų grupės nuomonę. AHP metodas nustato kriterijų svorius kiekvienam ekspertui. Ekspertų grupei skaičiuojamas atskirų ekspertų nustatytų svorių vidurkis.

Kriterijų svoriams nustatyti kiekvienas ekspertas pildė porinio palyginimo matricą. Buvo patikrinamas jos suderinamumas, nustatant suderinamumo indeksą (3.53) bei suderinamumo santykį (3.54). Atrinktos ekspertų porinio palyginimo matricos, kurių CR mažesnis už 0,1. Kiekvienai eksperto grupei, nustatant kriterijų svorius AHP metodu, buvo apskaičiuoti konkordancijos koeficientas W (3.57), kriterijus χ^2 (3.58), suderinamumui patikrinti. Apskaičiuota χ^2 kriterijaus reikšmė turi būti didesnė už kritinę χ_{kr}^2 reikšmę (Kendall, 1979). Lentelinės χ_{kr}^2 reikšmės priklauso nuo reikšmingumo lygmens α ir laisvės laipsnio $\bar{m} - 1$. Gauta dėstytojų nustatytų kriterijaus svorių reikšmė $\chi^2 = 10,906$ yra didesnė už $\chi_{kr}^2(\alpha=0,05,\bar{m}-1=4) = 9,488$, vadinasi, ekspertų nuomonės yra suderintos. IT ekspertų nuomonės, nustatant kriterijų svorių svarbumą, irgi suderintos, nes $\chi_{kr}^2(\alpha=0,05,\bar{m}-1=5) = 11,071$ yra mažesnė už apskaičiuotą $\chi^2 = 22,265$. Trečiojo vertinimo etapo reikšmė $\chi^2 = 31,753$ didesnė už kritinę reikšmę $\chi_{kr}^2(\alpha=0,05,\bar{m}-1=4) = 9,488$, todėl studentų nuomonės yra suderintos. 10 lentelėje pateikti suranguoti AHP ir AHPF metodų kriterijų svoriai pagal vertinimo etapus.

10 lentelė. Kriterijų svorių rangai

Kr. nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	I etapas					II etapas					III etapas					
AHP vidurkis	2-3	2-3	4	5	1	1	3	6	2	4-5	4-5	1	2	3	4	5
AHPF	1-2-3	1-2-3	4	5	1-2-3	1	2-3	6	2-3	4	5	1	2-3	2-3	4	5

Kaip matyti 10 lentelėje, AHP ir AHPF metodais nustatyti kriterijų svorių rangai sutampa. Ekspertų nuomone, didžiausią įtaką kurso turinio kokybei daro mokomosios medžiagos aiškumas (kr. nr. 5), suprantamas išdėstymas bei kursų struktūra (kr. nr. 1). Dėstytojai mano, kad labai svarbus medžiagos atitikimas dėstomai studijų programai (kr. nr. 2). IT specialistai nustatė, kad nuoseklus, tvarkingas, aiškiai skaitomas nuotolinių studijų kurso medžiagos pateikimas (kr. nr. 6) virtualioje mokymosi aplinkoje turi didžiausią įtaką kokybiškoms studijoms. Taip pat yra svarbus medžiagos nuskaitymas, prieinamumas (kr. nr. 9) ir žinių patikrinimo priemonių naudojimas (kr. nr. 7). Besimokančiųjų nuomone, studijoms didžiausią įtaką turi dėstytojo profesionalumas (kr. nr. 12), pateikiant medžiagą įdomiai ir aiškiai. Taip pat labai svarbus geras mokymo organizavimas (kr. nr. 13) bei savarankiškam mokymuisi skirtų įdomių ir naudingų užduočių parengimas (kr. nr. 14).

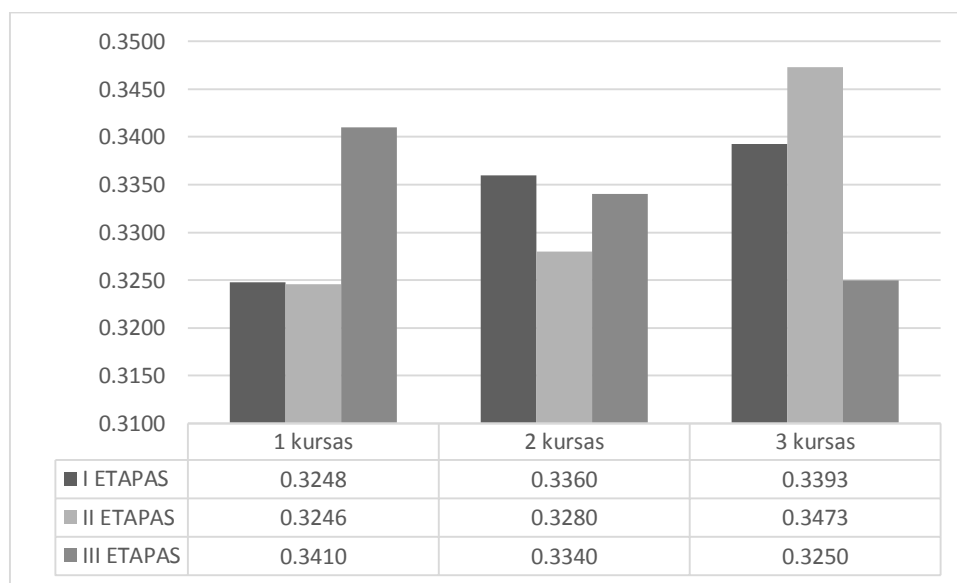
Apskaičiavus ekspertinio vertinimo kursų pradinis įverčius bei kriterijų svorius, taikomi keli daugiakriteriai metodai kurso kokybei nustatyti (3.32–3.47). Kadangi visi kriterijai yra maksimizuojami, tiesinės skaliarizacijos (3.32), SAW (3.34) ir COPRAS (3.46) metodų skaičiavimas sutampa (toliau darbe bus minimas SAW metodas). Trijų vertinimo etapų rezultatai, gauti pritaikius SAW, TOPSIS, MOORA, PROMETHEE daugiakriterius metodus, pateikti 25–32 paveiksluose. Visų taikomų metodų pradiniai duomenys yra vienodi, todėl galima analizuoti metodų veikimo specifiką, lyginant gautus rezultatus.

Kursų kokybė nustatyta taikant svorius, apskaičiuotus AHP ir AHPF metodais. Įvertinama kriterijų svorių įtaka vertinimo rezultatui. Analizuojant

4. KOMPLEKSINIS NUOTOLINIŲ STUDIJŲ KURSU VERTINIMAS

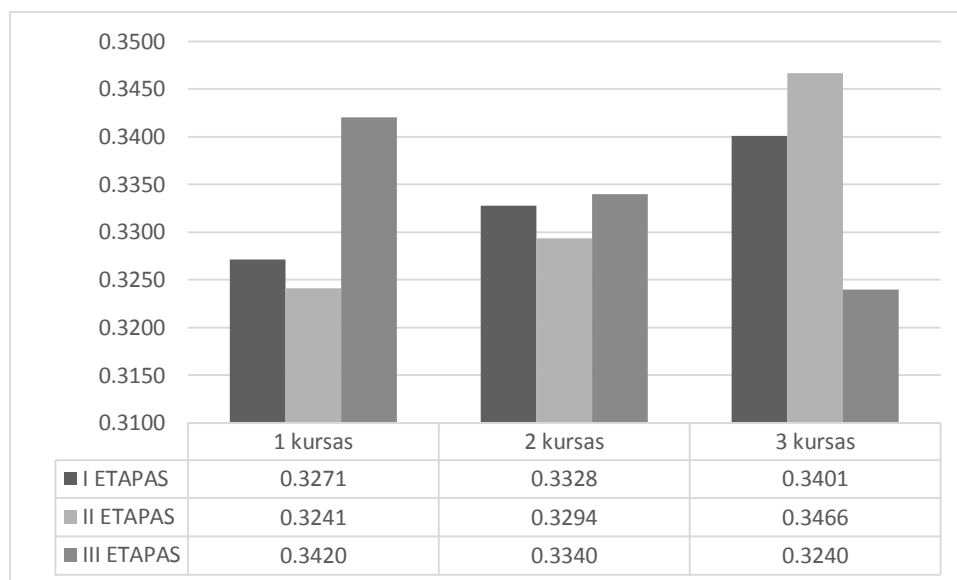
pradinius vertinimo rezultatus, pateiktus 9 lentelėje, matyti, kad 3-ojo kurso įvertis (trijų vertinimo įverčių vidurkis) yra nežymiai didesnis už kitų dviejų kursų. I vertinimo etapo 5-ojo kriterijaus AHP metodo nustatytas svoris (0,157) yra didesnis už AHPF nustatytą kriterijaus svorį. Dėstytojai pagal 5-ąjį kriterijų geriausiai įvertino 2 kursą (10 balų). Galima pastebėti, kad visų (32–39 pav.) taikomų metodų diagramose 2 kursas yra geriausiai įvertintas, kai kriterijai nustatyti AHP metodu, o ne AHPF. IT priemonių vertinimo etape 1-ojo kriterijaus, taikant šiuos du metodus, nustatyti svoriai skiriasi 0,12 ($w_{AHP} = 0,355, w_{AHPF} = 0,235$). Geriausiai įvertintas pagal 1-ąjį kriterijų yra 3 kursas (9 lentelė). Iš grafikų matyti, kad II etapo 3 kurso įvertis, kai svoriai nustatyti AHP metodu, yra aukštesnis už tą, kur svoriai nustatyti AHPF metodu. Tai pavyzdys, kaip vieno iš kriterijaus svoris daro poveikį bendram rezultatui. Aukščiausias kriterijaus svoris lemia bendrą kurso vertinimo rezultatą, kai to kriterijaus pradinis įvertis yra aukštas.

SAW metodo vertinimo rezultatai, kai kriterijų svoriai buvo nustatyti AHP metodu, pateikti 32 paveiksle.



32 pav. SAW metodo vertinimo rezultatai, kai kriterijų svoriai nustatyti AHP metodu

32 paveiksle matyti, kad dėstytojai ir IT specialistai geriausiai įvertino 3 kursą, prasčiausiai – 1 kursą. Tačiau studentai įvertino priešingai. Pasak jų, 1 kursas yra geriausias. SAW metodo vertinimo rezultatai, kai kriterijų svoriai buvo nustatyti AHPF metodu, pateikti 33 paveiksle.

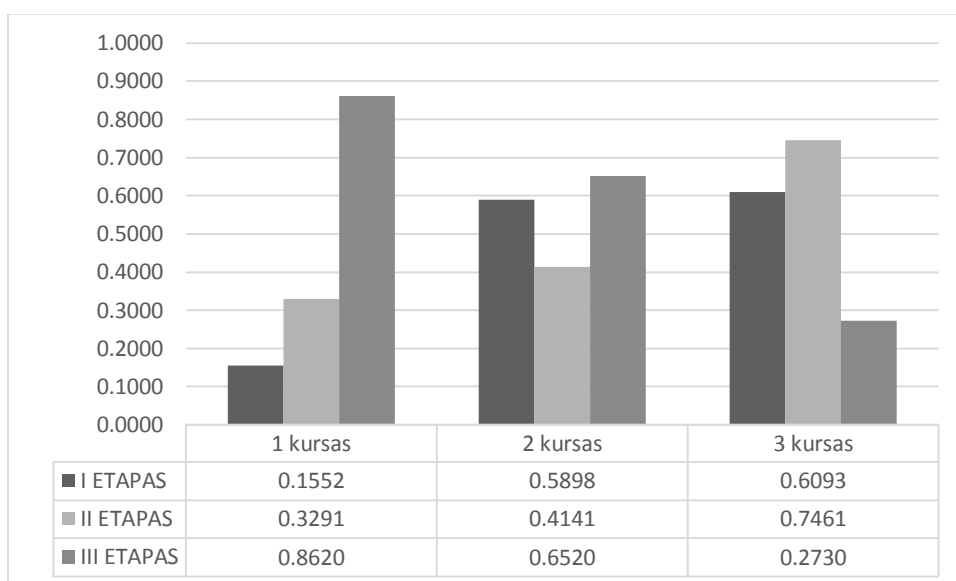


33 pav. SAW metodo rezultatai, kai kriterijų svoriai nustatyti AHPF metodu

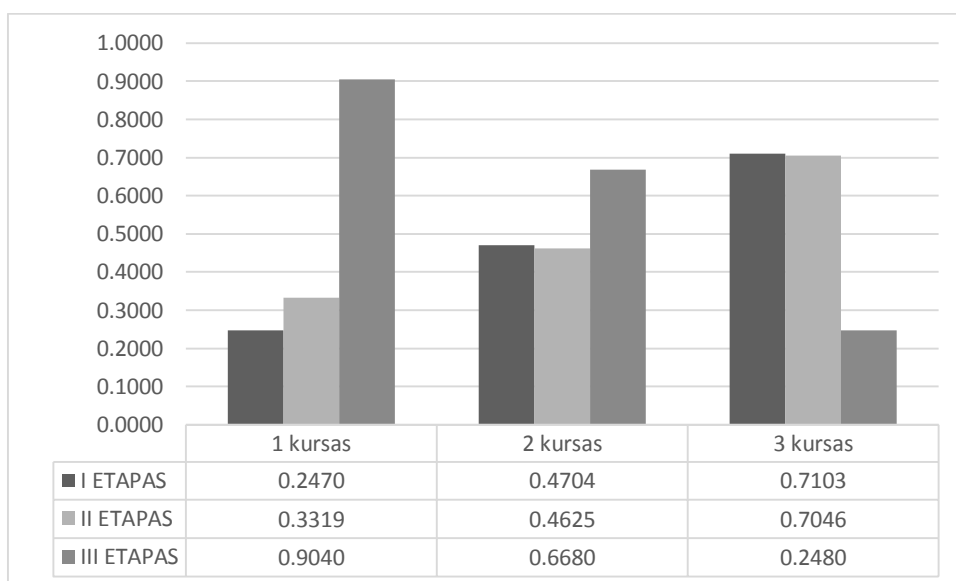
Analizuojant kurso kokybės rezultatus, nustatytus SAW metodu, matyti, kad vertinimo tendencija išlieka nepriklausomai nuo skirtingų svorių, t. y. AHP (32 pav.) ir AHPF (33 pav.). Kaip rodo SAW metodu gauti rezultatai, geriausiai studentai įvertino 1 kursą, dėstytojai – 2 kursą, IT specialistai – 3 kursą.

TOPSIS metodo rezultatai, kai kriterijų svoriai buvo nustatyti AHP ir AHPF metodais, pateikti 34–35 paveiksluose. Taikant šį metodą, gauta, kad 2 kurso I-ojo ir II-ojo vertinimo etapų įverčiai beveik nesiskiria, taikant svorius, nustatytus AHPF metodu (35 pav.). Pritaikius AHP metodo svorius, gauta, kad 2-ojo kurso dėstytojo įverčiai daug aukštesni už IT specialistų įverčius (34 pav.). Palyginus su SAW metodo įvertinimu, 1 kurso dėstytojų ir IT specialistų įverčių rezultatai skiriasi nepriklausomai nuo svorių nustatymo metodo.

4. KOMPLEKSINIS NUOTOLINIŲ STUDIJŲ KURSU VERTINIMAS



34 pav. TOPSIS metodo rezultatai, kai kriterijų svoriai nustatyti AHP metodu



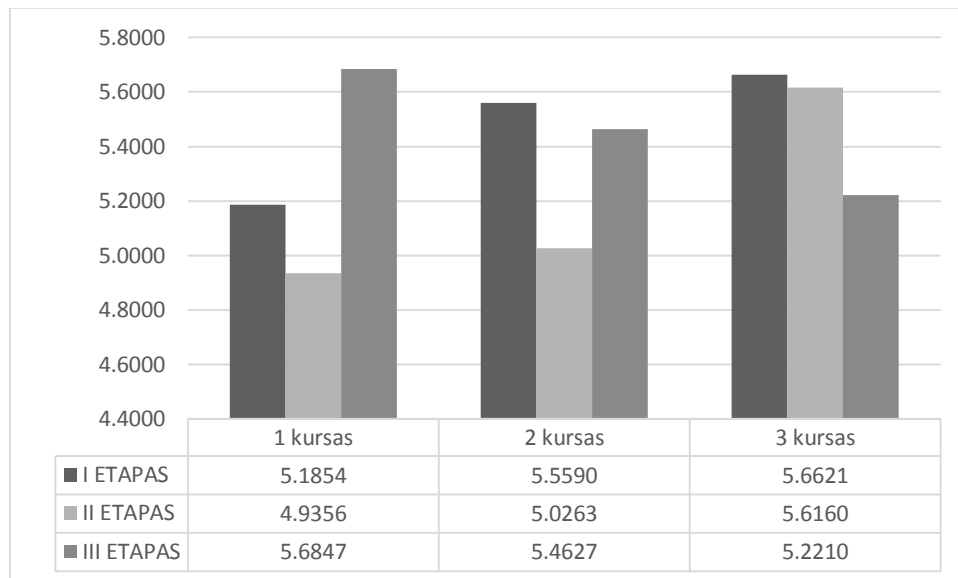
35 pav. TOPSIS metodo rezultatai, kai kriterijų svoriai nustatyti AHPF metodu

Analizuojant pradinį kurso įverčius (9 lentelė), gauta, kad II-ojo vertinimo etapo 3 kurso įverčių vidurkis yra aukštesnis už 2-ojo kurso. Tačiau, skaičiuojant TOPSIS vertinimo rezultatą su AHPF metodu nustatytais svoriais, skirtumas tampa neesminis (35 pav.). Taikant AHP metodu nustatytus svorius, TOPSIS metodo rezultatas (34 pav.) sutampa su SAW metodo rezultatais (32 pav.). Skirtingai nei SAW metodas, TOPSIS metodas reaguoja į skirtingus AHP ir

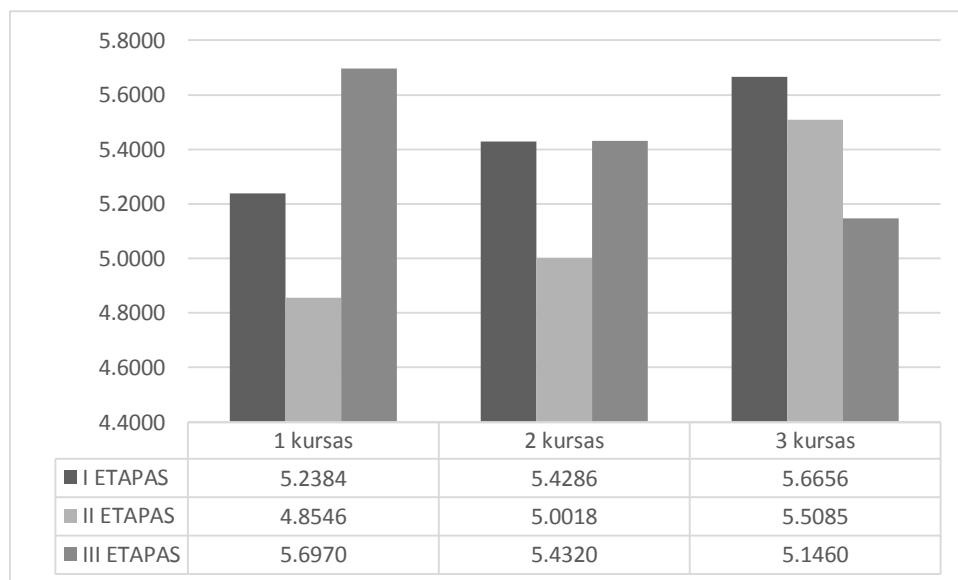
4. KOMPLEKSINIS NUOTOLINIŲ STUDIJŲ KURSŲ VERTINIMAS

AHPF metodų svorius, nustatant tikslesnį rezultatą.

Trijų vertinimo etapų rezultatai, nustatyti MOORA metodu, pateikti 36–37 paveiksluose.



36 pav. MOORA metodo rezultatai, kai kriterijų svoriai nustatyti AHP metodu



37 pav. MOORA metodo rezultatai, kai kriterijų svoriai nustatyti AHPF metodu

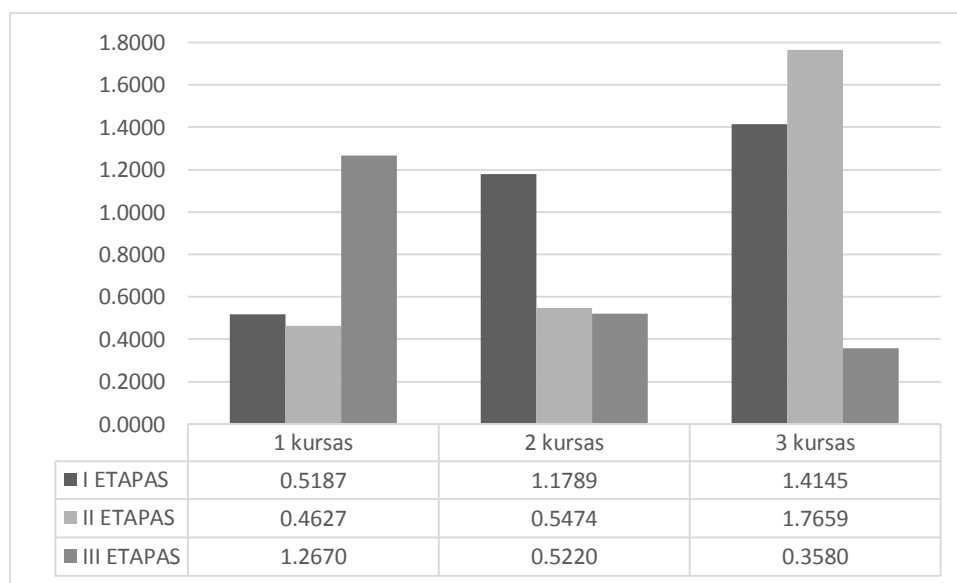
MOORA metodas vienodai įvertino kursus, nepriklausomai nuo svorių

skirtumo, nustatytus AHP ir AHPF metodais. 1 ir 2 kurso vertinimo rezultatas panašus į SAW metodo, 3 kurso vertinimas – į TOPSIS (su AHPF svoriais).

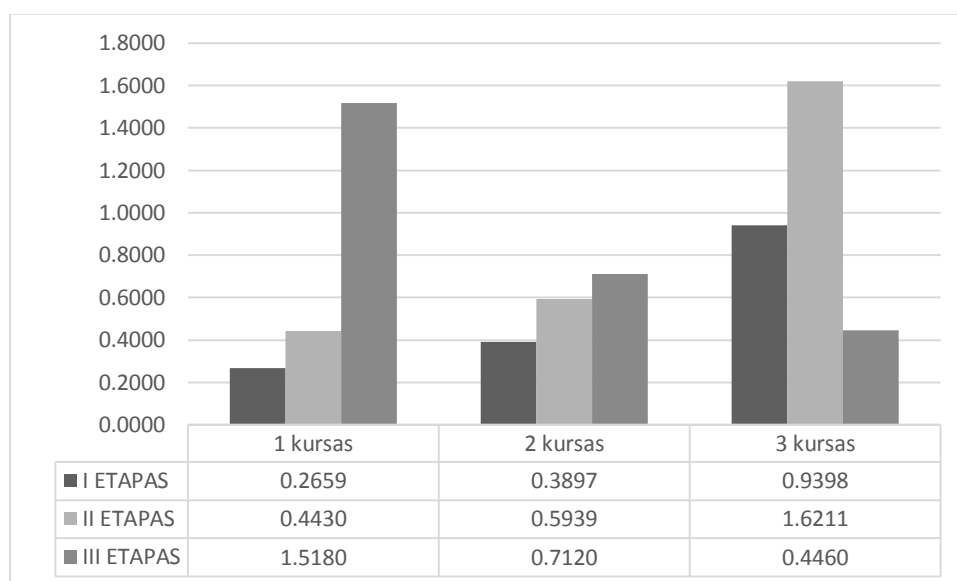
PROMETHEE metodu (3.39) gaunami rezultatai $F_i, i = 1..n$ būna tiek teigiami, tiek neigiami skaičiai. Norint juos palyginti su kitais MCDM metodais bei pavaizduoti diagramomis, darbe buvo pasiūlyta tokia duomenų transformacija. Transformuota vertinimo rezultato reikšmė žymima $\tilde{F}_i, i = 1..n$. Metodu gauti rezultatai F_i buvo surikiuoti didėjimo tvarka, t. y. nuo mažiausio iki didžiausio. Didžiausias neigiamas rezultatas paverčiamas teigiamu. Transformuojamas mažiausias gautas rezultatas, skaičiuojant jo modulį $\tilde{F}_1 = |\min F_i|, i = 1..n$. Kitos transformuotos reikšmės skaičiuojamos taip:

$$\tilde{F}_{i+1} = \tilde{F}_i + F_{i+1} - F_i, i = 1..n - 1. \quad (4.1)$$

PROMETHEE metodo rezultatai, kai kriterijų svoriai buvo nustatyti AHP ir AHPF metodais, pateikti 38–39 paveiksluose.



38 pav. PROMETHEE metodo transformuoti rezultatai, kai kriterijų svoriai nustatyti AHP metodu



39 pav. PROMETHEE metodo transformuoti rezultatai, kai kriterijų svoriai nustatyti AHPF metodu

PROMETHEE metodu gauti 1 kurso I-ojo ir II-ojo vertinimo etapų rezultatai su skirtingais AHP (38 pav.) ir AHPF (39 pav.) svoriais nežymiai keičiasi. Tačiau lyginant 2-ojo kurso I-ojo ir II-ojo vertinimo etapus, matyti, kad rezultatai labai pasikeičia. Su AHP metodu nustatytais svoriais dėstytojai kursą įvertino geriausiai, o su AHPF svoriais – prasčiausiai. Reikia atkreipti dėmesį, kad I ir III vertinimo etapų AHP ir AHPF metodais nustatytų kriterijų svorių vidutiniai nuokrypiai labai skiriasi ir tai paaškina tokį šio metodo rezultatą.

Taikant kelis daugiakriterius metodus yra neaišku, kokio metodo rezultatai yra teisingiausi. Todėl darbe siūloma nustatyti metodų stabilumą, esant nedideliame parametru (kurso įverčių ir kriterijų svorių) keitimui. Daugiakriterių metodų stabilumo nustatymo algoritmas pateiktas 17 paveiksle. Šis algoritmas fiksuoja pirminių duomenų geriausios alternatyvos pasikartojimo dažnį. Metodų stabilumas tikrinamas 10^5 imitacijų. Metodų stabilumo rezultatai, skaičiuojant su AHP ir AHPF nustatytais svoriais, pateikti 11 lentelėje.

11 lentelė. *Metodų stabilumo rezultatai, skaičiuojant svorius AHP ir AHPF metodais*

MCDM metodai	Svorių nustatymo metodai	I ETAPAS		II ETAPAS		III ETAPAS	
		Geriausias kursas	Metodo stabilumas	Geriausias kursas	Metodo stabilumas	Geriausias kursas	Metodo stabilumas
SAW	AHP	3 kursas	56%	3 kursas	90%	1 kursas	66%
	AHPF	3 kursas	66%	3 kursas	91%	1 kursas	72%
TOPSIS	AHP	3 kursas	51%	3 kursas	87%	1 kursas	63%
	AHPF	3 kursas	67%	3 kursas	86%	1 kursas	71%
MOORA	AHP	3 kursas	55%	3 kursas	88%	1 kursas	65%
	AHPF	3 kursas	66%	3 kursas	88-89%	1 kursas	71%
PROMETH EE	AHP	3 kursas	52%	3 kursas	87%	1 kursas	58%
	AHPF	3 kursas	60%	3 kursas	87%	1 kursas	65%

Analizuojant 11 lentelėje pateiktus rezultatus, matyti, kad visi daugiakriteriniai metodai vienodai nustatė geriausią kursą, t. y. I-ojo ir II-ojo vertinimo etapų geriausias yra 3 kursas, III etapo – 1 kursas. Galima pastebėti, kad metodo stabilumas yra aukštesnis, skaičiuojant su kriterijų svoriais, nustatytais AHPF metodu. Todėl tolesniems skaičiavimams bus taikomi AHPF metodu nustatyti svoriai.

Atlikus trijų etapų vertinimą, suskaičiuojamas galutinis suminis rezultatas. Vertinimo etapų įtaka suminiam rezultatui yra nevienoda dėl skirtingo kiekvieno etapo darbo kiekio ir laiko, skirto kursui parengti, ir vertinančių ekspertų kompetencijos. Vertinimo etapų svarbą nustatė universiteto administracija. Vertinimo svoriai buvo apskaičiuoti AHPF metodu. Universiteto administracijos nuomone, nuotolinio kurso turinio vertinimas yra svarbiausias (jo svoris yra $\omega_{I \text{ etapo}} = 0,3649$). IT taikymo ir kurso tikrinimo virtualioje mokymosi aplinkoje vertinimo etapo svoris yra $\omega_{II \text{ etapo}} = 0,3261$, o studentų – $\omega_{III \text{ etapo}} = 0,309$.

Darbe pasiūlytas visų trijų etapų kriterijų m svorių perskaičiavimas, atsižvelgiant į etapų svarbumą, atliekant nesudėtingą duomenų transformavimą:

$$\begin{aligned} \tilde{\omega}_i &= \omega_i \cdot \omega_{etapo}, \\ \sum_{i=1}^m \tilde{\omega}_i &= 1, \end{aligned} \quad (4.2)$$

čia $\tilde{\omega}_i$ – apibendrintų trijų vertinimo etapų kriterijų svoriai, kurių suma lygi 1. ω_i – atskiro vertinimo etapo kriterijų svoriai, ω_{etapo} – vertinimo etapo svoriai.

Apibendrintos kriterijų svorių reikšmės, atsižvelgiant į etapų svorius, nustatytos universiteto administracijos, pateiktos 12 lentelėje.

12 lentelė. Apibendrintos kriterijų svorių reikšmės, atsižvelgiant į vertinimo etapo svarbumą, nustatytą universiteto administracijos

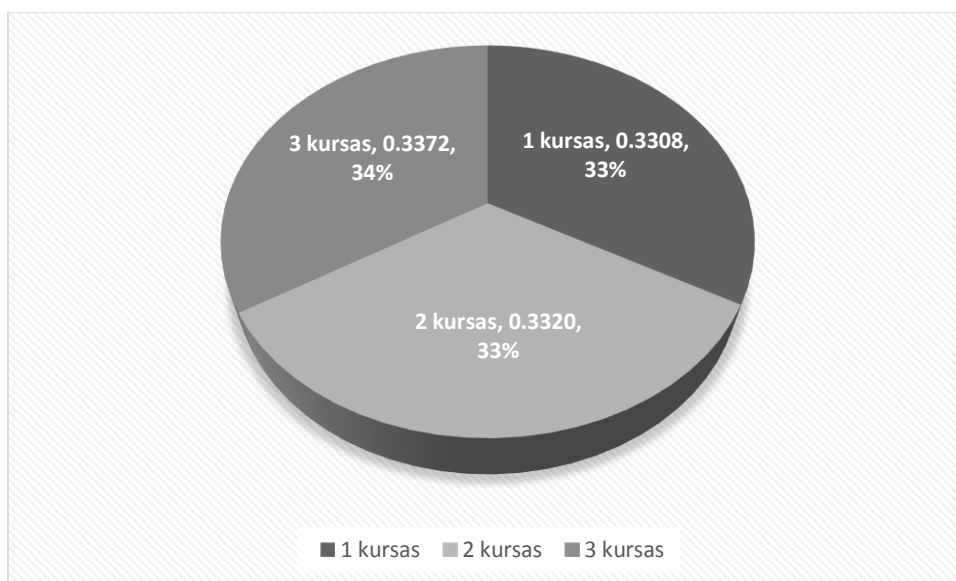
$\omega_I etapo = 0,3649$						
ω_i	0,2085	0,2053	0,1952	0,1845	0,2065	
$\tilde{\omega}_i$	0,0761	0,0749	0,0712	0,0673	0,0753	
$\omega_{II} etapo = 0,3261$						
ω_i	0,2346	0,1927	0,0433	0,1944	0,1714	0,1637
$\tilde{\omega}_i$	0,0765	0,0628	0,0141	0,0634	0,0559	0,0534
$\omega_{III} etapo = 0,309$						
ω_i	0,2110	0,2070	0,2045	0,1925	0,1851	
$\tilde{\omega}_i$	0,0652	0,0640	0,0632	0,0595	0,0572	

Atlikus kriterijų svorių transformavimą, taikomi daugiakriteriai metodai galutiniam rezultatui apskaičiuoti. Jiems naudojami pirminiai kurso įverčiai (9 lentelė).

Visų taikomų metodų rezultatai yra pavaizduoti skritulinėmis diagramomis (40–43 pav.), kurios parodo kiekvieno kurso procentinį rezultatą, t. y. visų kursų suminį rezultatą kaip 100 %.

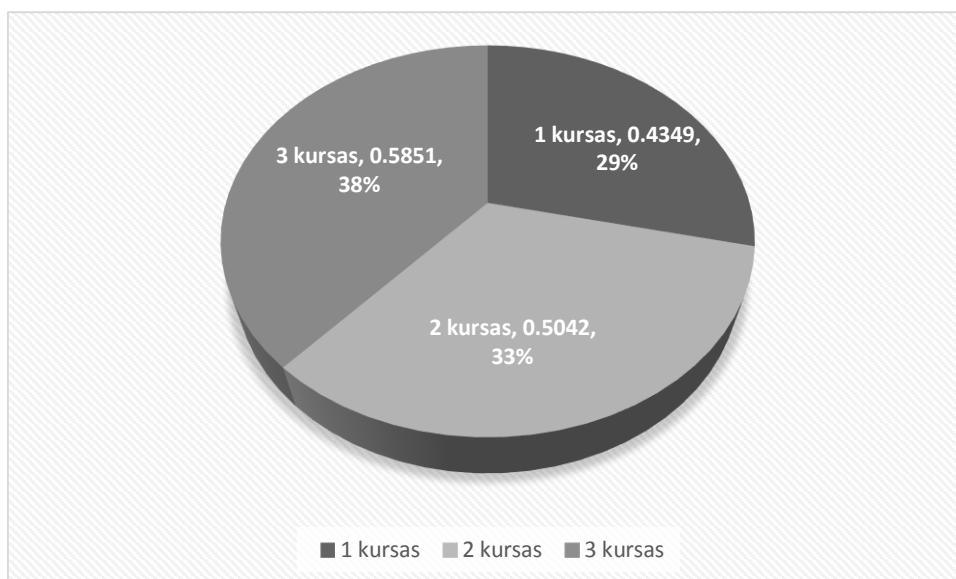
SAW metodo galutinis vertinimo rezultatas pateiktas 40 paveiksle.

4. KOMPLEKSINIS NUOTOLINIŲ STUDIJŲ KURSŲ VERTINIMAS



40 pav. SAW metodo galutinis procentinis kursų kokybės vertinimo rezultatas

Rezultatai parodė, kad geriausias kursas yra 3. Kitų dviejų kursų įverčiai beveik sutampa. Visų kursų nustatyta kokybė yra vienoda, kadangi 3 kursas skiriasi nuo kitų dviejų kursų 1 %. SAW metodo trūkumas yra tas, kad esant mažiausiems kriterijų svorių pasikeitimams, vertinimo rezultatas gali pasikeisti.



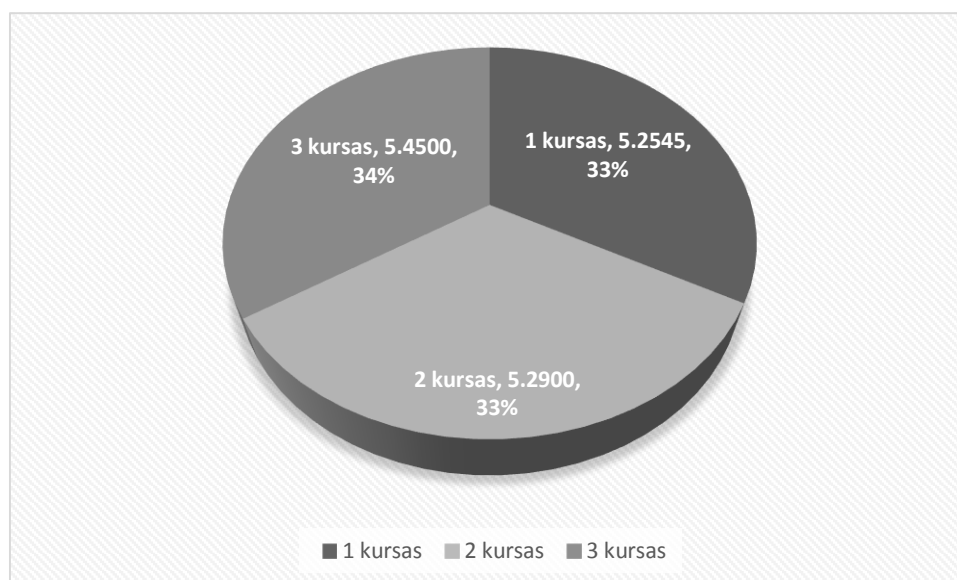
41 pav. TOPSIS metodo galutinis procentinis kursų kokybės vertinimo rezultatas

Atlikus skaičiavimus TOPSIS metodu (41 pav.), kaip geriausias nustatytas 3 kursas. Lyginant rezultatus su gautais SAW metodu, matyti, kad skirtumas tarp

4. KOMPLEKSINIS NUOTOLINIŲ STUDIJŲ KURSŲ VERTINIMAS

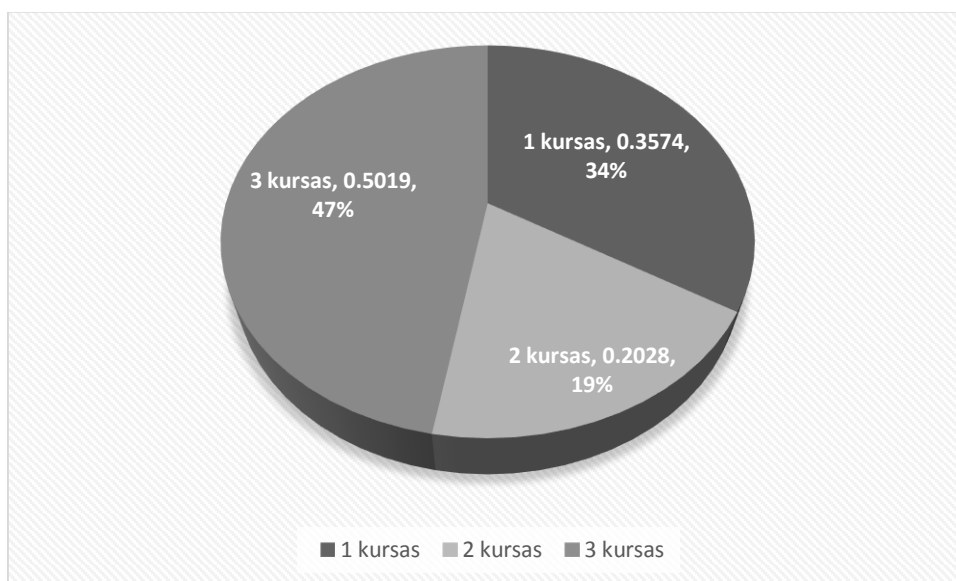
geriausio ir kitų įvertintų kursų yra labiau pastebimas. Šio metodo privalumas yra tas, kad metodas tiksliai atsižvelgia į nustatytus kriterijų svorius ir tarp įvertintų kursų aiškiai matyti skirtumas. TOPSIS metodas blogiausiai įvertino 1 kursą.

Analizuojant rezultatus, nustatytus MOORA metodu (42 pav.), pastebima, kad procentinė išraiška yra analogiška SAW metodui (40 pav.). Geriausias yra 3 kursas, skirtumas tarp likusių kursų yra beveik nepastebimas, t. y. 1 %. Procentiškai 1-ojo ir 2-ojo kurso įverčiai yra vienodi, bet, lyginant skaitines išraiškas, 2 kursas šiek tiek geresnis už 1-ąjį.



42 pav. MOORA metodo galutinis procentinis kursų kokybės vertinimo rezultatas

Procentinis PROMETHEE metodo rezultatas skiriasi nuo vertinimo kitais metodais rezultatu. 43 paveiksle matyti, kad 3 kurso įvertis akivaizdžiai aukštesnis (47 %) už įverčius, gautus kitais metodais. PROMETHEE metodas prasčiausiai įvertino 2 kursą, o kiti daugiakriteriniai metodai – 1 kursą. Šis vertinimo skirtumas atsirado, skaičiuojant bendrą kurso įvertį, t. y. su transformuotais kriterijų svoriais pagal etapų svarbumą (12 lentelė).



43 pav. PROMETHEE metodo galutinis procentinis kursų kokybės vertinimo rezultatas

Trijų etapų PROMETHEE metodo vertinimo rezultatai sutapo su kitų metodų rezultatais. Šis metodas tiksliai vertina kriterijų skirtumų ribines reikšmes, todėl tiksliai reaguoja į taikomus kriterijų svorius. Skirtumas tarp nustatytų kursų vertinimo rezultatų irgi labai pastebimas. Todėl nekyla abejonių, pasirenkant geriausią kursą.

Norint pasirinkti teisingiausią rezultatą iš visų gautų, reikia patikrinti kiekvieno metodo stabilumą. Naudojant kurso įverčius iš 9 lentelės bei transformuotus kriterijų svorius (12 lentelė), buvo nustatytas taikomų MCDM stabilumas 10^5 imitacijų. Rezultatai pateikti 13 lentelėje.

13 lentelė. Metodų stabilumo vertinimo rezultatai, taikant apibendrintus svorius

Metodas	Metodo stabilumas
SAW	68 %
TOPSIS	65 %
MOORA	67 %
PROMETHEE	60 %

Visų nustatytų metodų stabilumas yra panašus. Jis keičiasi nuo 60 % iki 68 %. Nėra labai aukšto rezultato, kuris labai skirtųsi nuo kitų metodų. Todėl siūloma atsižvelgti į visų metodų rezultatus, vertinant Pareto optimumą.

14 lentelė. *Daugiakriterių metodų rezultatai, taikant apibendrintus svorius*

Alternatyva	SAW	TOPSIS	MOORA	PROMETHEE
1 kursas	0,3308	0,4349	5,2545	-0,0482
2 kursas	0,3320	0,5042	5,2900	-0,2028
3 kursas	0,3372	0,5851	5,4500	0,2510

Galutiniai suminiai nuotolinių studijų kursų vertinimo rezultatai, gauti taikant visus daugiakriterius metodus, pateikti 14 lentelėje. Nustatomas Pareto optimumas, tai yra 3 kursas.

4.3.1. Kriterijų svorių perskaičiavimas, taikant Bajeso metodą

Atliekamas kriterijų svorių perskaičiavimas, taikant diskretinį Bajeso metodą, aprašytą 3.2.2.4 skyrelyje. Metodo taikymo tikslas – pakoreguoti vertinimo etapų svorius, atsižvelgiant į kitų ekspertų nuomonę. Tokiu atveju geriausio kurso pasirinkimas yra personalizuojamas pagal atskiros ekspertų grupės nuomonę, atsižvelgiant į SPA (administracijos) sprendimą.

Vertinimo etapų (I etapas: turinio vertinimas, II etapas: IT priemonių panaudojimas, III etapas: studentų vertinimas) svoriai $\omega(X)$, nustatyti administracijos, yra pateikti 12 lentelėje. Kiekvienos ekspertų grupės nariai atliko tų pačių etapų svarbumo tiesioginį vertinimą X dešimtbalėje sistemoje. Atskiros ekspertų grupės kriterijų $\omega(X|H_j)$ vertinimo rezultatui įtakos laipsnis pateiktas 15 lentelėje.

4. KOMPLEKSINIS NUOTOLINIŲ STUDIJŲ KURSU VERTINIMAS

Administracijos nustatyti etapų svoriai ($\omega(X) = \{0,3649, 0,3261, 0,3090\}$) yra koreguojami atskirų ekspertų grupių kriterijų įtakos laipsniu $\omega(X|H_j)$ (15 lentelė). Pritaikius (3.76) formulę, gaunami visų ekspertų grupių nustatyti vertinimo etapų svoriai (16 lentelė).

15 lentelė. Atskirų ekspertų grupių kriterijų įtakos laipsnis $w(X|H_j)$

Etapai	Dėstytojų $\omega(X H_j)$	IT specialistų $\omega(X H_j)$	Studentų $\omega(X H_j)$
I etapas	0,9429	0,9429	0,9300
II etapas	0,8143	0,9429	0,8733
III etapas	0,8714	0,8571	0,9433

16 lentelė. Vertinimo etapų svoriai $w(H_j|X)$, atsižvelgiant į skirtingų ekspertų grupių nuomonę

Etapai	$\omega(X)$	Dėstytojų $\omega(H_j X)$	IT specialistų $\omega(H_j X)$	Studentų $\omega(H_j X)$
I etapas	0,3649	0,3757	0,3757	0,3706
II etapas	0,3261	0,2900	0,3358	0,3110
III etapas	0,3090	0,2941	0,2893	0,3184

Pritaikius (4.2) formulę, buvo perskaičiuoti apibendrinti kriterijų svoriai, atsižvelgiant į kitų ekspertų grupių nustatytus etapų svorius. Galutinis visų vertinimo etapų suminis rezultatas pateiktas 17 lentelėje.

4. KOMPLEKSNIS NUOTOLINIŲ STUDIJŲ KURSU VERTINIMAS

17 lentelė. Galutiniai apibendrinti ir suranguoti kursų vertinimo rezultatai, atsižvelgiant į skirtingų ekspertų grupių koreguotus etapų svorius

	Metodų rezultatai			Suranguoti metodų rezultatai		
	1 kursas	2 kursas	3 kursas	1 kursas	2 kursas	3 kursas
	Vertinimo etapų svoriai, nustatyti administracijos					
SAW	0,3308	0,3320	0,3372	3	2	1
TOPSIS	0,4349	0,5042	0,5851	3	2	1
MOORA	5,2545	5,2900	5,4500	3	2	1
PROMETHEE	-0,0482	-0,2028	0,2510	2	3	1
	Vertinimo etapų svoriai, koreguoti ekspertų grupių					
	Dėstytojų ekspertų grupė					
SAW	0,3175	0,3188	0,3236	2-3	2-3	1
TOPSIS	0,4333	0,5059	0,5827	3	2	1
MOORA	5,0509	5,0872	5,2391	2-3	2-3	1
PROMETHEE	-0,0444	-0,1910	0,2354	2	3	1
	IT specialistų ekspertų grupė					
SAW	0,3307	0,3322	0,3379	2-3	2-3	1
TOPSIS	0,4196	0,4987	0,5992	3	2	1
MOORA	5,2458	5,2901	5,4666	3	2	1
PROMETHEE	-0,0677	-0,2034	0,2711	2	3	1
	Studentai					
SAW	0,3310	0,3321	0,3370	2-3	2-3	1
TOPSIS	0,4426	0,5080	0,5764	3	2	1
MOORA	5,2650	5,2970	5,4515	3	2	1
PROMETHEE	-0,0373	-0,2009	0,2382	2	3	1

Kriterijų svorių koregavimas neturėjo įtakos kurso rangavimo rezultatams, taikant TOPSIS ir PROMETHEE metodus. Tačiau SAW ir MOORA metodai šiek tiek pakeitė 1-ojo ir 2-ojo kurso kokybės rangavimo rezultatą.

4.4. Rezultatų palyginimas

Palyginkime atliktos kompleksinės vertinimo metodikos gautus rezultatus. 18 lentelėje pateikti visų taikytų metodų galutiniai suminiai ir suranguoti vertinimo rezultatai, gauti Bajeso ir daugiakriteriais metodais.

18 lentelė. Trijų vertinimo etapų ir galutinio vertinimo skaitiniai ir suranguoti rezultatai

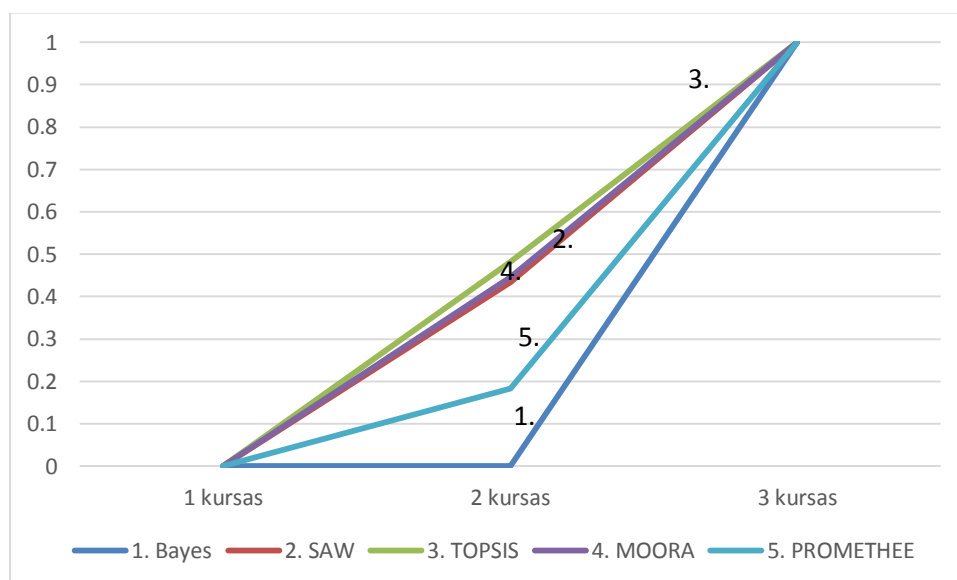
Taikomi metodai	Skaitiniai rezultatai			Suranguoti rezultatai		
	1 kursas	2 kursas	3 kursas	1 kursas	2 kursas	3 kursas
I ETAPAS						
BAYES	8,5975	8,5975	8,8626	2-3	2-3	1
SAW	0,3271	0,3328	0,3401	3	2	1
TOPSIS	0,2470	0,4704	0,7103	3	2	1
MOORA	5,2384	5,4286	5,6656	3	2	1
PROMETHEE	-0,2659	-0,1421	0,4080	3	2	1
II ETAPAS						
BAYES	8,2097	8,0428	8,5447	2	3	1
SAW	0,3241	0,3294	0,3466	3	2	1
TOPSIS	0,3319	0,4625	0,7046	3	2	1
MOORA	4,8546	5,0018	5,5085	3	2	1
PROMETHEE	-0,4430	-0,2921	0,7351	3	2	1
III ETAPAS						
BAYES	8,9893	8,7668	8,6745	1	2	3
SAW	0,3420	0,3340	0,3240	1	2	3
TOPSIS	0,9040	0,6680	0,2480	1	2	3
MOORA	5,6970	5,4320	5,1460	1	2	3
PROMETHEE	0,6260	-0,1800	-0,4460	1	2	3
Apibendrintas rezultatas						
BAYES	8,5988	8,469	8,6939	2	3	1
SAW	0,3308	0,3320	0,3372	3	2	1
TOPSIS	0,4349	0,5042	0,5851	3	2	1
MOORA	5,2545	5,2900	5,4500	3	2	1
PROMETHEE	-0,0482	-0,2028	0,2510	2	3	1

Norint grafiškai pavaizduoti ir palyginti visų taikomų metodų (Bajeso, SAW, TOPSIS, MOORA, PROMETHEE) rezultatus, yra atliekama duomenų transformacija (normalizacija):

$$x_{tr} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \quad (4.3)$$

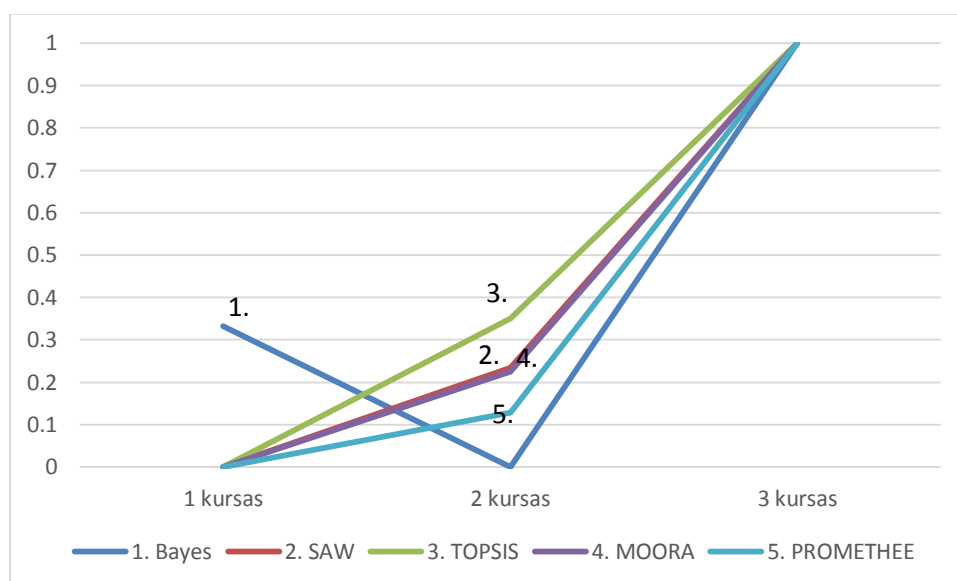
čia x_{tr} – transformuotas metodo rezultatas ir $x_{tr} \in [0; 1]$, x – pradinis gautas metodo rezultatas, x_{min} – mažiausia pradinių rezultatų alternatyvos reikšmė, x_{max} – didžiausia pradinių rezultatų alternatyvos reikšmė.

Nuotolinių kursų turinio kokybės kompleksinis vertinimas, taikant Bajeso ir daugiakriterius metodus, pavaizduotas 44 paveiksle.



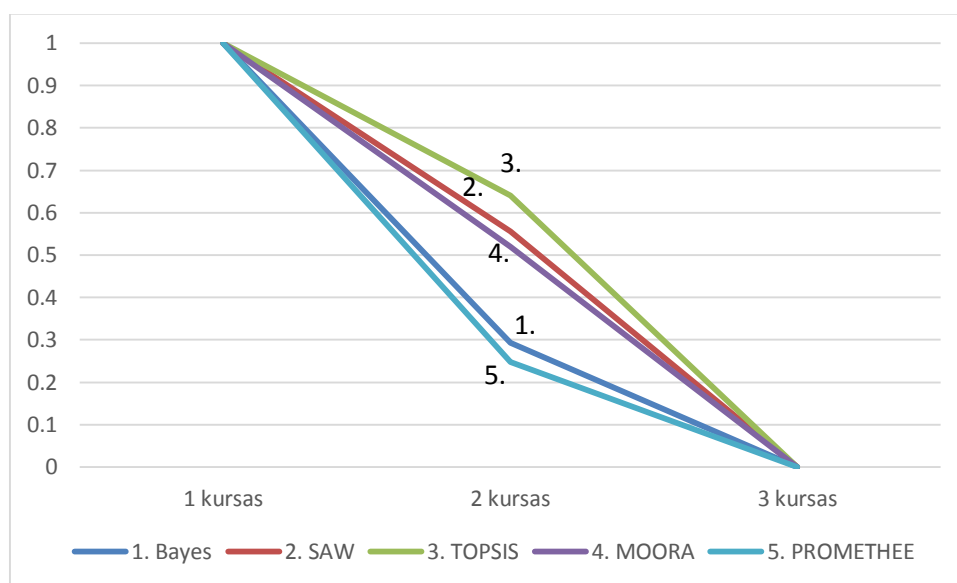
44 pav. Pirmojo vertinimo etapo taikytų metodų rezultatų palyginimas

SAW ir MOORA metodų grafikai sutampa. TOPSIS metodo grafikas analogiškas SAW ir MOORA metodų grafikams, tik gauti įverčiai nežymiai aukštesni. PROMETHEE metodu nustatytas rezultatas yra panašesnis į gautą Bajeso metodu. Visi šie metodai nustatė, kad geriausias yra kurso 3-ojo kurso turinys, o prasčiausias – 1-ojo kurso.



45 pav. Antrojo vertinimo etapo taikytų metodų rezultatų palyginimas

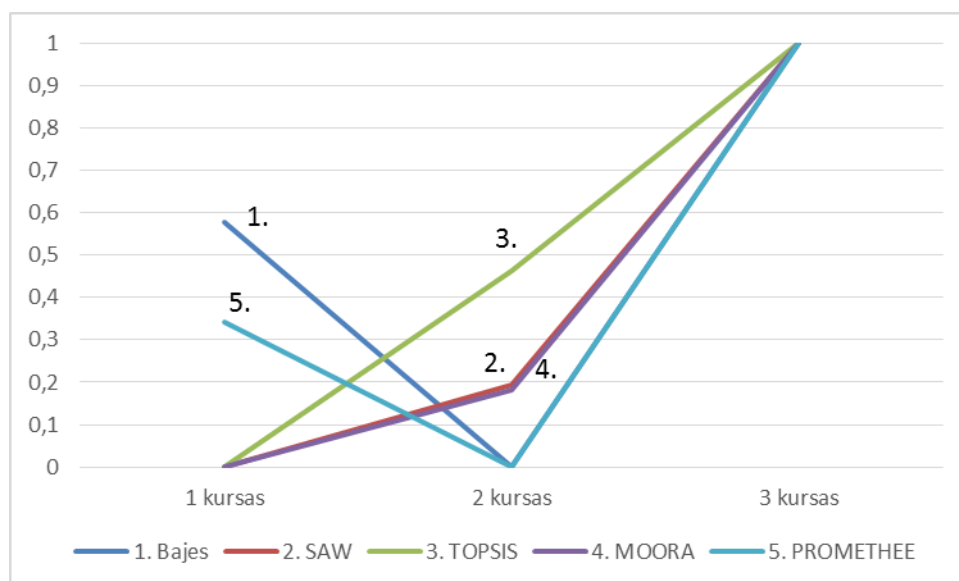
Vertinant nuotolinių studijų kursus virtualioje mokymosi aplinkoje bei IT priemonių panaudojimą, SAW ir MOORA metodais gautų rezultatų grafikai sutampa (45 pav.). TOPSIS metodo vertinimo rezultatai yra aukštesni, o PROMETHEE metodo – žemesni už minėtus SAW ir MOORA metodų rezultatus. Visi metodai nustatė, kad geriausiai yra panaudotos IT priemonės 3 kurse. Daugiakriteriais metodais blogiausiai yra įvertintas 1 kursas, o Bajeso metodu – 2 kursas. Tokį skirtingą vertinimo rezultatą paaiškina tai, kad pradiniai daugiakriterių ir Bajeso metodų ekspertų įverčiai yra skirtingi, daugiakriterių vertinimo atveju (29 pav.) 2-ojo kurso vertinimo rezultatas yra aukštesnis už Bajeso metodo įverčius (27 pav.).



46 pav. Trečiojo vertinimo etapo taikytų metodų rezultatų palyginimas

Studentų vertinimo atveju visais metodais kursų kokybė nustatyta vienodai. Studentų nuomone, geriausias yra 1 kursas, o blogiausias – 3 kursas (46 pav.). Metodų vertinimo rezultatų pasiskirstymo tendencija lieka tokia pati: SAW metodo grafikas beveik sutampa su MOORA, TOPSIS metodo vertinimo rezultatas nežymiai aukštesnis už minėtų metodų. Bajeso metodo grafikas beveik sutampa su PROMETHEE.

Trečiojo vertinimo etapo rezultatas visai priešingas pirmųjų dviejų etapų rezultatams. Visa tai gali paveikti galutinį rezultatą (46 pav.). Daugiakriterių metodų atveju didelę įtaką daro etapų svarba (svoriai) ir perskaičiuoti kriterijų svoriai. Bajeso metodo atveju skaičiuojamas visų vertinimo etapų įverčių vidurkis ir į etapų svarbumą nėra atsižvelgiama.



47 pav. *Trijų vertinimo etapų suminis taikytų metodų rezultatų palyginimas*

Trijų vertinimo etapų suminis rezultatas pateiktas 47 paveiksle. Atlikus kompleksinį vertinimą, galima teigti, kad visais metodais nustatyta, jog geriausias yra 3 kursas. SAW ir MOORA metodų rezultatai sutapo, t. y. 2 kursas geresnis už 1. TOPSIS metodas jautriai reagavo į svorių perskaičiavimą, nors vertinimo rezultatas sutapo su SAW ir MOORA metodais. Daugiakriterio PROMETHEE metodo rezultatas sutapo su Bajeso metodo rezultatais, nors pirminiai eksperto vertinimo rezultatai yra skirtingi. Jų rezultatas skiriasi nuo kitų taikomų metodų, atliekant 1-ojo ir 2-ojo kurso vertinimą, t. y. 1 kursas geresnis už 2-ąjį. Daugiakriterių metodų rezultatams poveikį daro kriterijų svoriai, o taikant Bajeso metodą – apriorinė patirtis bei ekspertų kvalifikacija.

4.5. Ketvirto skyriaus išvados

Nuotolinių kursų kokybei nustatyti buvo atliktas kompleksinis vertinimas. Vertinimo išvados yra šios:

1. Taikant Bajeso metodą, patikslintas ekspertų vertinimas sumažėjo, kadangi apriorinio skirstinio vidurkis buvo mažesnis už ekspertų įverčius.
2. Kiekvienas taikomas MCDM metodas turi savo skaičiavimo algoritmą, dėl to jų vertinimo rezultatai skyrėsi, nors naudoti vienodi pradiniai ekspertų įverčiai.
3. SAW (taip pat MOORA) metodu nustatyti kursų vertinimo rezultatai tarpusavyje beveik nesiskyrė, sunku išskirti geriausią kursą.
4. TOPSIS (taip pat PROMETHEE) geriausiai tinka kurso vertinimui, nes metodo gauti kursų vertinimo rezultatai tarpusavyje akivaizdžiai skyrėsi.
5. MCDM metodai parodė stabilesnę rezultatą skaičiavimuose, naudojant AHPF metodu nustatytus svorius nei AHP metodu.
6. Bajeso ir daugiakriteriai metodai tiksliai nustatė geriausią alternatyvą, nors metodai naudojo skirtingus pradinius ekspertų vertinimus.
7. Kompleksinis vertinimo taikymas išsamiau įvertina alternatyvas. Jis atsižvelgia į skirtingus vertinimo akcentus: Bajeso atveju – į eksperto kvalifikaciją bei sukauptą universiteto patirtį, daugiakriteriu metodu – į ekspertų nustatytus kriterijų svorius ir kursų kokybės kriterijų vertinimus.

5. Išvados

1. Darbe pasiūlytas kompleksinis nuotolinių studijų kursų vertinimas, taikant Bajeso ir MCDM metodus, yra naujas ir naudingas praktiniu požiūriu.
2. Taikomi Bajeso ir stabilusis MCDM metodai atsižvelgia į duomenų neapibrėžtumą, tai mažina ekspertinio vertinimo subjektyvumą.
3. Bajeso metodas gali būti taikomas, koreguojant ekspertų įverčius pagal sukauptą ilgametę patirtį ir eksperto kompetenciją.
4. Pasiūlytas neraiškiųjų skaičių porinio palyginimo matricos kūrimo algoritmas atsižvelgia į nepriklausomų ekspertų grupės duomenų neapibrėžtumą. Kaip parodė tyrimas, MCDM metodai yra stabilesni, taikant kriterijų svorius, nustatytus AHPF, o ne AHP metodu.
5. Bajeso metodas tinka kriterijų svarbumui perskaičiuoti, kai sprendimą priimančio asmens nuomonė yra koreguojama kitų ekspertų grupių.
6. Taikant vertinimams kelis MCDM metodus, pasirenkamas stabiliausias metodas, užtikrinantis vertinimo rezultato tikrumą.
7. Kompleksinis kokybės vertinimas leidžia visapusiškai ištirti sprendžiamą nuotolinių kursų vertinimo problemą, atsižvelgiant į skirtingus metodus.
8. Darbe pasiūlyta kompleksinė kursų kokybės vertinimo metodika gali būti taikoma panašiuose kokybės vertinimo uždaviniuose.

Literatūros šaltiniai

- Ahrari, A. and Atai, A. A. (2010). Grenade explosion method – a novel tool for optimization of multimodal functions. *Applied Soft Computing*: 10 (4), 1132–1140.
- Akao, Y. (1990). An Introduction to Quality Function Deployment. *Quality Function Deployment (QFD): Integrating Customer Requirements into Product Design*, Productivity Press, Cambridge, Massachusetts, 1–24.
- Alzbutas, R. (2005). Experts information application using Bayesian approach and fuzzy logic. *The 13th International Conference On Nuclear Engineering Abstracts. INIS:38(15)*, Paimta iš: <<http://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=38036540#>>, 2014-05-20.
- Andrejčikov, A. V. ir Andrejčikova, O. N. (2002). Analizė, sintezė, sprendimų planavimas ekonomikoje. *Finansai ir statistika*, 368 p. // Андрейчиков, А. В., & Андрейчикова, О. Н. (2002). Анализ, синтез, планирование решений в экономике. *Финансы и статистика*, 368 с.
- Balys, V. (2009). Mokslinės terminijos matematiniai modeliai ir jų taikymas leidinių klasifikavime. Daktaro disertacija, VGTU.
- BaseGroup Labs. (2014). Neraiškioji logika - matematiniai pagrindai. // Нечеткая логика - математические основы 1995–2014. Paimta iš <<http://www.basegroup.ru/library/analysis/fuzzylogic/math>>, 2014-01-19.
- Baziukaitė, D. (2007a). Investigation of Q-learning in the context of a virtual learning environment, *Informatics in Education*: 6(2), 255–268.
- Baziukaitė, D. (2007b). Learner oriented methods to enhance capabilities of virtual learning

environment. Doctoral dissertation, MII VDU.

Belton, V. and Stewart, T. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis: an integrated approach*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1084 p.

Berger, J. O. (1985). *Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis*. Springer-Verlag, 618 p.

Beshelev, S. D. and Gurvitch, F. G. (1974). *Mathematical and Statistical Methods of Expert Evaluation*. Moscow: Statistics.

Beyer, H. G. and Schwefel, H. P. (2002). Evolution strategies: a comprehensive introduction. *Journal Natural Computing*: 1 (1), 3–52.

Bishop, C. M. and Tipping, M. E. (2003). Bayesian regression and classifications. *Advances in Learning Theory: Methods, Models and Applications, NATO Science Series III: Computer & Systems Sciences*: 190, 436 p.

Brauers, W. K. M. and Zavadskas, E. K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*: 35 (2), 445–469.

Buchanan, B. G. and Shortliffe, E. H. (1984). *Rule-Based Expert Systems. The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project, Chapter 11*, 754 p.

Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*: 17(3), 233–247.

Butakova, M. M. (2010). *Ekonomikos prognozavimas: metodai ir praktinių skaičiavimų technikos: vadovėlis*: 2, 168 p. // Бутакова, М. М. (2010). *Экономическое прогнозирование: методы и приемы практических расчетов : учебное пособие*: 2, 168 с.

Chan, L. K. and Wu, M. L. (2005). A systematic approach to quality function deployment with a full illustrative example, *Omega*: 33, 119–139.

Chang, D. Y. (1992). *Extent analysis and Synthetic Decision*. Optimization Techniques and Applications. World Scientific, 352.

Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*: 95, 649–655.

Chao, R. J. and Chen, Y. H. (2009). Evaluation of the criteria and effectiveness of distance e-learning with consistent fuzzy preference relations. *Expert Systems with Applications*: 36, 10657–10662.

Črepinšek, M., Liu, S. H. and Mernik, L. (2012). A note on teaching–learning–based optimization algorithm. *Information Sciences*: 212, 79–93.

Dagienė, V., Ališauskienė, R., Dagys, V., Grigas, G., Jasutienė, E., Jevsikova, T., Krapavickaitė, D., Kubilius, K., Laucius, R., Puikytė, R., Pulikas, G., Stasiukaitytė, I. ir Židanavičiūtė, J. (2004). *Atvirasis kodas švietime*. Lietuvos Respublikos švietimo ir mokslo ministerija, Švietimo informacinių technologijų centras, MII, Vilnius.

Dagienė, V., Aukštuolienė, M. D., Balsys, M., Dagys, V., Grigas, G., Jasutienė, E., Jevsikova, T., Morkūnienė, A., Pulokas, G., Rimkus, M. ir Rudneva, V. (2005). *Mokomųjų kompiuterinių*

priemonių ir virtualiųjų mokymosi aplinkų profesinio mokymo srityse diegimas. Lietuvos respublikos švietimo ir mokslo ministerija, švietimo informacinių technologijų centras, MII, Vilnius.

Dagienė, V., Grigas, G. ir Jevsikova, T. (2008). *Enciklopedinis kompiuterijos žodynas*. Vilnius: TEV, 650 p.

Dagienė, V., Grigas, G. ir Jevsikova, T. (2010). *Programinės įrangos lokalizavimas*, MII, Vilnius, 327 p.

Dagienė, V. ir Kurilovas, E. (2008). *Informacinės technologijos švietime: patirtis ir analizė*. Monografija. Vilnius: Mokslo aidai, 216 p.

Dagiene, V. and Kurilovas, E. (2010). Web 2.0 Technologies and Applications in the Best Practice Networks and Communities. *Informatics in Education*: 9(2), 185–197.

Dubauskaitė, R. (2009). *Retų įvykių ekspertinis vertinimas taikant Bajesinį metodą*. Magistro baigiamasis darbas. Paimta iš: <http://vddb.laba.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2009~D_20090811_133605-14761/DS.005.0.01.ETD>, 2014-06-06.

Dzemyda, G., Šaltenis, V. ir Tiešis, V. (2007). *Optimizavimo metodai*. MII, Mokslo aidai. Vilnius, 166 p.

Dzemydienė, D. ir Tankelevičienė, L. (2005). Scenarijų parinkimas ir elektroninių paslaugų komponentai nuotolinio mokymo sistemoje. *Informacijos mokslai*: 34, 73–78.

Dzemydiene, D. and Tankeleviciene, L. (2009). Multi-layered knowledge-based architecture of the adaptable distance learning system. *Technological and Economic Development of Economy*: 15(2), 229–244.

Ehlers U.D. (2004). Quality in e-Learning from a Learner`s Perspective. *Proceedings of the Third EDEN Research Workshop Oldenburg, Germany: Bibliotheks- und Informationssystem der Universitat Oldenburg*, 553 p.

Emre Alptekin, S. and Ertugrul Karsak, E. (2011). An integrated decision framework for evaluating and selecting e-learning products. *Applied Soft Computing*: 11, 2990–2998.

EWGMDA (2014). EURO Working Group Multicriteria Decision Aiding. Paimta iš: <<http://www.cs.put.poznan.pl/ewgmcda>>, 2014-06-02.

Ginevičius, R. and Podvezko, V. (2004). Quantitative Assessing the Accuracy of Expert Methods, *Inžinerinė ekonomika*: 5(40), 7–12.

Ginevičius, R. ir Podvezko, V. (2008). Daugiakriterinio vertinimo būdų suderinamumas. *Veršlas: teorija ir praktika*: 9(1), 73–80.

Ginevičius, R. and Podvezko, V. (2009). Evaluating the changes in economic and social development of lithuanian counties by multiple criteria methods. *Baltic Journal on Sustainability*: 15(3), 418–436.

Goldberg, D. (1989). *Genetic Algorithms in Search Optimization, and Machine Learning*, Addison-

Wesley, 432 p.

- Gorochov, V. D. (2014). Daugiakriteriniai sprendimų priėmimo metodai medicinos technologijų vertinimo srityje. *Tarptautinis Europos Rusijos forumas. Vystymosi vektorius. Harmonizacija. Seminaras „Farmoekonomika ir medicinos technologijų vertinimas: bendri uždaviniai ir sankirtos taškai“* // Горохов, В. Д. (2014). Многокритериальные методы принятия решений в области оценки медицинских технологий. *Международный форум Европа и Россия. Вектор развития. Гармонизация. Семинар «Фармакоэкономика и оценка медицинских технологий: общие задачи и точки пересечения»*. Paimta iš: <www.forum-hta.ru/materialy>, 2014-06-02.
- Govindasamy, T. (2002). Successful implementation of e-learning pedagogical considerations. *Internet and Higher Education*: 4, 287–299.
- Graham, P. (2000). A Plan for Spam. Paimta iš: <<http://www.paulgraham.com/spam.html>>, 2013-04-04.
- Harrison, R. (1989). *Training and Development*, London, Institute of Personnel Management.
- Hora, S. C. (2009). *Expert Judgment in Risk Analysis*. CREATE Research Archive. Pimta iš: http://research.create.usc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1083&context=nonpublished_reports, 2013-08-25.
- Howson, C. and Urbach, P. (1989). *Scientific Reasoning: The Bayesian Approach*. Illinois: Open Court; La Salle.
- Hwang, C. L. and Yoon, K. (1981). *Multiple (Attribute) Decision Making. Methods and Applications*, Berlin, Heidelberg, New York, 259 p.
- IEEE (2002). IEEE Standart for Learning Object Metadata. Paimta iš: <<https://ieeesa.centraldesktop.com/ltsc>>, 2010-09-12.
- Inform online (2014). Multiple Criteria Decision Making. Paimta iš: <<https://www.informs.org/Community/MCDM>>, 2014-06-02.
- IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Quantifying Uncertainties in Practice. Paimta iš: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/gpgaum_en.html>, 2012-06-20.
- Ishizaka, A. and Nguyen, N. H. (2013). Calibrated fuzzy AHP for current bank account selection. *Expert systems with applications*: 40 , 3775-3783.
- International Society on Multiple Criteria Decision Making (2014). Paimta iš: <<http://www.mcdmsociety.org/intro.html>>, 2014-06-02.
- ISO (2013). ISO 9000, 9001, and 9004 Quality Management Definitions. Paimta iš: <<http://www.praxiom.com/iso-definition.htm>>, 2013-02-07.
- Jakimauskas, G. (2014). *Duomenų tyrybos empirinių Bajeso metodų. Tyrimas ir taikymas*. Daktaro disertacija, VU MII.
- Jara, M. and Mellar, H. (2010). Quality enhancement for e-learning courses: The role of student

- feedback Original Research. *Article Computers & Education*: 54, 709–714.
- Jevsikova, T. and Kurilovas, E. (2006). European learning resource exchange: Policy and practice. *Informatics in Secondary Schools: Evolution and Perspectives*, 670–676.
- Jonassen, D. H. and Land, M. S. (2000). *Theoretical Foundations of Learning Environments*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Jucevičienė, P. (2001). Integruotas požiūris į socialinio darbo teoriją ir praktiką - XXI amžiaus iššūkių žmonėms atsakas. *Acta Paedagogica Vilnensia: mokslo darbai / Vilniaus universiteta*:8, 189–197.
- Juškevičienė, A. (2014). Antrosios kartos saityno priemonės mokymuisi. Daktaro disertacija, VU MII.
- Kahraman, C. (2008). Fuzzy Multi-Criteria Decision Making. Theory and Applications with Recent Developments. Springer Optimization and Its Applications, Series. vol. 16, Springer US, 537 p.
- Kaklauskas, A. ir Zavadskas, E. K. (2012). *Biometrija ir intelektualus sprendimų palaikymas: monografija*. Vilnius: Technika, 344 p. // Каклаускас, А. и Завадскас, Э. К. (2012). *Биометрическая и интеллектуальная поддержка решений: монография*. Вильнюс: Техника, 344 с.
- Karaboga, D. and Basturk, B. (2008). On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm. *Applied Soft Computing*: 8(1), 687–697.
- Ke, H. Y. and Shen, F. F. (1999). Integrated Bayesian reliability assessment during equipment development. *International Journal of Quality & Reliability Management*: 16(9), 892–902.
- Keinys, S., Bilkis, L., Paulauskas, J. ir Vitkauskas, V. (2006). *Dabartinės lietuvių kalbos žodynas: šeštas (trečias elektroninis) leidimas*. Vilnius: Lietuvių kalbos institutas. Paimta iš: <<http://dz.lki.lt>>, 2011-02-15.
- Kendall, M. (1979). *Rank correlation methods*. Griffin and Co, London, 456 p.
- Kennedy, J., Eberhart, R.C. and Shi, Y. (2001). *Swarm Intelligence*, Morgan Kaufmann Publishers.
- Kracka, M., Brauers, W. K. M. and Zavadskas, E. K. (2010). Ranking Heating Losses in a Building by Applying the MULTIMOORA. *Inžinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 21(4), 352–359.
- Kubilinskienė, S. (2012). *Išplėstas skaitmeninių mokymosi išteklių metaduomenų modelis*. Daktaro disertacija, VU MII.
- Kubiliūnas, R. and Bareiša, E. (2009). A Formation Method of Flexible Learning Objects. *Informatics in Education*: 8(1), 49–68.
- Kulvietienė, R., Kulvietis, G., Šileikienė, I. and Stankevič, J. (2004). E-learning using learning management system. *Liet. matem. rink., LMD darbai*: 44, 304–308.
- Kulvietis, G., Mamčenko, J. and Šileikienė, I. (2006). Data mining application for distance education information system. *WSEAS transactions on information science and applications*. Athens: WSEAS: 3(8), 1482-1488.

- Kurilovas, E. and Dagiene, V. (2010). *Evaluation of Quality of the Learning Software. Basics, Concepts, Methods*. Monograph. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, 94 p.
- Kurilovas, E., Zilinskiene, I. and Dagiene, V. (2014a). Recommending Suitable Learning Scenarios According to Learners' Preferences: An Improved Swarm Based Approach. *Computers in Human Behavior*: 30, 550–557.
- Kurilovas, E., Kubilinskiene, S. and Dagiene, V. (2014b). Web 3.0 – Based Personalisation of Learning Objects in Virtual Learning Environments. *Computers in Human Behavior*: 30, 654–662.
- Kurilovas, E. and Serikoviene, S. (2012). New TFN Based Method for Evaluating Quality and Reusability of Learning Objects. *International Journal of Engineering Education*: 28(6), 1288–1293.
- Laužackas, R., Teresevičienė, M. ir Volungevičienė, A. (2009). Nuotolinio mokymo(si) turinio projektavimo modelis: kokybės vertinimo dimensijos ir veiksniai. *Acta Paedagogica Vilnensia*: 9–29. Paimta iš: <http://www.leidykla.vu.lt/fileadmin/Acta_Paedagogica_Vilnensia/23/9-20.pdf>, 2012-09-18.
- Laužackas, R. (2005). Profesinio rengimo terminų aiškinamasis žodynas. Kaunas: VDU.
- Lee, K. S. and Geem, Z. W. (2005). A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: harmony search theory and practice. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*: 194, 3902–3933.
- Levy, Y. (2007). Comparing dropouts and persistence in e-learning courses, *Computers & Education*: 48, 185–204.
- Lieponiene, J. (2012). *E. mokymosi rezultatų vertinimo technologijų tyrimas*. Daktaro disertacija, VGTU.
- Lin, H. F. (2010). An application of fuzzy AHP for evaluating course website quality. *Computers & Education*: 54, 877–888.
- Lipeikienė, J. ir Pinkevičiūtė, I. (2003). Virtualios aktyvaus mokymosi bendradarbiaujant aplinkos tyrimai. *Liet. matem. rink., LMD darbai*: 43, 259–264.
- Lipinskienė, D. (2002). Edukacinė studentą įgalinanti studijuoti aplinka. Daktaro disertacija, KTU.
- Lopatnikov, L. I. (2003). Ekonomikos-matematikos žodynas: Šiuolaikiško ekonomikos mokslo žodynas. 5 Leid., 520 p. // Лопатников, Л. И. (2003). Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки. — 5-е изд., 520 p.
- Lietuvos Respublikos aukštojo mokslo įstatymas (2013a). Dėl nuolatinės ir iššęstinės studijų formų aprašo patvirtinimo Žin., 2009, Nr. 54-2140.
- Lietuvos Respublikos aukštojo mokslo įstatymas (2013b). Nr. VIII-1586, Žin., 2000, Nr. 27-715, Aktuali redakcija nuo 2008-06-27.
- MacKay, D. J. C. (1995). Probable networks and plausible predictions – a review of practical

- Bayesian methods for supervised neural networks *Network: Computation in Neural Systems*: 6, 469–505.
- Mahmoodzadeh, S., Shahrabi, J., Pariazar, M. and Zaeri, M. S. (2007). Project Selection by Using Fuzzy AHP and TOPSIS Technique. *World Academy of Science, Engineering and Technology*: 30, 333–338.
- Maioa, C. D., Fenzaa, G., Gaetab, M., Loiaa, V., Orciuolib, F. and Senatorea, S. (2012). RSS-based e-learning recommendations exploiting fuzzy FCA for Knowledge Modeling. *Applied Soft Computing*: 12, 113–124.
- Mason, R. (1998). Models of online courses. *Standart 1: Pedagogy and Design, 1.71-1.80. NLS. 1998*. Paimta iš: http://www.networkedlearningconference.org.uk/past/nlc1998/Proceedings/Mason_1.72-1.80.pdf, 2013-10-10.
- Mironova, N. A. (2011). AHP metodo modifikacijų integravimas grupinių sprendimų priėmimo sistemose. *Radioelektronika, informatika, vadyba*: 2, 47-54. // Миронова Н. А. (2011). Интеграция модификаций метода анализа иерархии для систем поддержки принятия групповых решений. *Радиоелектроніка, інформатика, управління*: 2, 47-54.
- Mockus, J. B., Tieshis, V. and Zilinskas, A. (1978). The application of Bayesian methods for seeking the extremum. *Towards Global Optimization 2*, 117-130.
- Mockus, J. (1989). *Bayesian Approach to Global Optimization*. Theory and Applications. Kluwer Academic Publishers.
- Mockus, J. (1994). Application of Bayesian approach to numerical methods of global and stochastic optimization. *J. Glob. Optim*: 4, 347–365.
- Mockus, J. (2002). Bayesian heuristic approach to global optimization and examples. *J. Glob. Optim*: 22, 191–203.
- Mockus, J. (2014). *Optimizavimo metodai ir taikymas*. Vektorinis optimizavimas. Paimta iš: <http://proin.ktu.lt/~mockus/docj/distgt.pdf>, 2012-04-09.
- Muromcev, D. I. (2005). *Įvadas į ekspertinių sistemų technologijas*. SPb: SPb GU, ITVO, 93 p. // Муромцев, Д. И. (2005). *Введение в технологию экспертных систем*. –СПб: СПб ГУ ИТМО, 93 с.
- Nipper, S. (1989). *Third generation distance learning and computer conferencing*. Mindiveave: communications, computers and distance education, Oxford, Pergamon Press.
- Nogin, V. D. (2002). *Sprendimo priėmimas daugiakriteriterinėje aplinkoje: kiekybinis aspektas*. M.:FIZMATLIT, 144 p. // Ногин, В. Д. (2002). *Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход*. –М.: ФИЗМАТЛИТ, 144 с.
- Nukala, S. and Gupta, S. M. (2005). A fuzzy AHP-based approach for selecting potential recovery facilities in a closed loop supply chain. *Proceeding of the SPIE International Conference on*

Environmentally Conscious Manufacturing V, Boston, Massachusetts, 58–63.

Oliver, M. (2000). An introduction to the evaluation of learning technology. *Educational Technology & Society*: 3(4), 20–30.

Ong, C. S., Lai, J. Y. and Wang, Y. S. (2004). Factors affecting engineers' acceptance of asynchronous e-learning systems in high-tech companies. *Information and Management*: 41, 795–804.

Orlov, I. A. (2002). *Ekspertiniai įverčiai*. Vadovėlis. // Орлов, И. А. (2002). *Экспертные оценки*. Учебное пособие. Paimta iš: <<http://www.aup.ru/books/m154>>, 2012-03-30.

Pawlowski, J. M. (2007). The Quality Adaptation Model: Adaptation and Adoption of the Quality Standard ISO/IEC 19796-1 for Learning, Education, and Training. *Educational Technology and Society*: 10(2), 3–16.

Pawlowski, J. M. (2008). Globalaus mokymosi kokybė. *Aukštojo mokslo kokybė: 2008/5*, 12–31.

Petrauskienė, R. (2011). Informacinių technologijų taikymo nuotolinio mokymosi kokybei gerinti metodai ir priemonės. Daktaro disertacija, KTU.

Podvezko, V. ir Podvezko, A. (2009a). Prioritetų funkcijų įtaka daugiakriteriniams vertinimams. *Liet. matem. rink., LMD darbai*: 50, 208–211.

Podvezko, V. ir Podvezko, A. (2009b). PROMETHEE I metodo naudojimas, nustatant geriausią alternatyvą. *Verslas: teorija ir praktika*: 10, 84–92.

Podvezko, V. ir Podvezko, A. (2013). Naujos absoliutaus daugiakriterio vertinimo galimybės. *Liet. matem. rink., LMD darbai, ser. B*: 54, 54–59.

Podvezko, V. (2006). Neapibrėžtumo įtaka daugiakriteriniams vertinimams. *Verslas: teorija ir praktika*: 7(2), 81–88.

Podvezko, V. (2008). Sudėtingų dydžių kompleksinis vertinimas. *Verslas: teorija ir praktika*: 9(3), 160–168.

Podvezko, V. (2009). Application of AHP technique. *Journal of Business Economics and Management*: 10(2), 181–189.

Podvezko, V. (2011). The Comparative Analysis of MCDA Methods SAW and COPRAS. *Inžinerinė ekonomika*: 22(2), 134–146.

Podvezko, V. (2012). Dominuojančiųjų alternatyvų daugiakriteriniai metodai. *Liet. matem. rink., LMD darbai, ser. B*: 53, 96–101.

Possolo, A. and Elster, C. (2014). Evaluating the uncertainty of input quantities in measurement models. *Metrologia*: 51(3), 339–353.

Preidys, S. ir Sakalauskas, L. (2009). Virtualaus mokymo aplinkų vartotojų veiksmų vizualizavimas, naudojant mokymosi diagramas. *Innovation and creativity in e-learning*, 1–5.

Preidys, S. and Sakalauskas, L. (2010). Analysis of students' study activities in virtual learning environments using data mining methods. *Technological and Economic Development of Economy*:

16 (1), 94–108.

Preidys, S. ir Sakalauskas, L. (2011). Nuotolinio mokymosi stilių personalizavimas. *Informacijos mokslai*: 56, 42–49.

Preidys, S. ir Sakalauskas, L. (2012). Išmaniųjų modulių integravimo į VMA moodle galimybės: nuo teorijos prie praktikos [Capabilities for Intelligent Modules Integration into the Moodle VLE: from Theory to Practice], *Mokslo taikomųjų tyrimų įtaka šiuolaikinių studijų kokybei*: 1(5) 77–8.

Preidys, S. (2012). *Duomenų tyrybos metodų taikymas suasmeninto elektroninio mokymo aplinkose*, Daktaro disertacija, VU MII.

Quality Function Deployment (2013). Creative Industries. Research Institute. AUT University. Paimta iš: <<http://www.ciri.org.nz/downloads/Quality%20Function%20Deployment.pdf>>, 2013-05-31.

Richter, T. and Pawlowski, J. M. (2007). The Need for Standardization of Context Metadata for e-Learning Environments. Paimta iš: <http://users.jyu.fi/~japawlow/Final_e-ASEM_Richter_Pawlowski_31102007.pdf>, 2013-09-09.

Rusanganwa, J. (2013). Multimedia as a means to enhance teaching technical vocabulary to physics undergraduates. *Rwanda English for Specific Purposes*: 32, 36–44.

Rutkauskienė, D. (2010). E. mokymasis – informacinės visuomenės švietimo esminė dalis. *Nuo didaktikos e. didaktikos link. E. mokymosi paradigmos, modeliai ir metodai*, 8–11.

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. Graw-Hill, New York.

Saaty, T. L. (1993). *Decision-Making. Analytic Hierarchy Process*. Moscow: Radio and Communication.

Saaty, T. L. (2001). *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process : the Organization and Prioritization of Complexity*, 370 p.

Sakalauskas, L. (2002). Nonlinear stochastic programming by Monte-Carlo estimators. *Informatica*: 137, 558–573.

Sakalauskas, L. ir Preidys, S. (2009). Nuotolinių studijų vartotojų poreikių analizė. *Informacijos mokslai*: 50, 117–123.

Sakalauskas, L. and Žilinskas, K. (2006). Application of statistical criteria to optimality testing in stochastic programming, *Technological and economic development of economy*: 7(4), 314–320.

Sanyuan, S. (2009). Comprehensive Evaluation of CDIO model teachers' classroom teaching quality based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *International Conference on Innovation Management*, 88–91.

Šaparauskas, J. (2004). *Darnaus miesto vystymo(-si) daugiatikslių selektonovacija*. Daktaro disertacija, VGTU.

Selim, H. M. (2007). Critical success factors for e-learning acceptance: Confirmatory factor models. *Computers and Education*: 49, 396–413.

- Serafinas, D. (2014). *Kokybės vadybos teorijos praktinis taikymas*. Mokomoji knyga. Paimta iš: <<http://www.kv.ef.vu.lt/wp-content/uploads/2010/10/MOKOMOJI-KNYGA-Kokybes-vadybos-teorijos-praktinis-taikymas.pdf>>, 2014-04-28.
- Sėrikovienė, S. (2013). *Mokomųjų objektų daugkartinio panaudojamumo kokybės vertinimo metodų taikymo tyrimas*. Daktaro disertacija, VU MII.
- Simanavičienė, R. (2011). Kiekybinių daigiatikslių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė. Daktaro disertacija, VGTU.
- Skorochod, A. B. (2011). Neraiškaus AHP metodo taikymas įmonių konkurencinių pozicijų vertinimo uždaviniuose. Įmonių ekonomika. *Ekonomika ir valdymas*: 5, 104–110. // Скороход, А. Б. (2011). Применение нечеткого метода анализа иерархий в задаче оценки конкурентных позиций предприятия. Экономика предприятия. *Экономика и управление*: 5, 104–110.
- Stabingienė, L. (2012). *Vaizdų analizė naudojant Bajeso diskriminantines funkcijas*. Daktaro disertacija, VU MII.
- Stein, M., Beer, M. and Kreinovich, V. (2013). Bayesian approach for inconsistent information, *Information Sciences*: 245, 96–111.
- Stonkienė, M. (2013). Skaitmeninis informacinis raštingumas į studentą orientuotose studijose: kitas požiūris į plagiato prevenciją. *Electronic learning, information and communication: theory and practice*: 1, 36–54.
- Storn, R. and Price, K. (1997). Differential evolution – a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *J. Glob. Optim*: 11 (4), 341–359.
- Sun, P. C., Tsai, R. J., Finger, G., Chen, Y. Y. and Yeh, D. (2008). What drives a successful e-learning? An empirical investigation of the critical factors influencing learner satisfaction. *Computers and Education*: 50, 1183–1202.
- Taha, H. A. (2001). *Operations research An Introduction*. Prentice Hall, Inc. New Jersey, 1997 // Таха Х. А. *Введение в исследование операций*. Москва-С.Петербург-Киев. Вильямс, 2001.
- Targamadžė, A. ir Petrauskienė, R. (2008). Nuotolinių studijų kokybė technologijų kaitos sąlygomis. *Aukštojo mokslo kokybė*: 5, 15–31.
- Targamadžė, A. ir Petrauskienė, R. (2011). The use of information technology tools for improving the quality of learning. *17 th International Conference on Information and Software Technologies. IT 2011 Conference Proceedings*, 209–214.
- Teresevičienė, M., Rutkauskienė, D., Volungevičienė A., Zuzevičiūtė, V., Rutkienė, A. ir Targamadžė A. (2008). *Nuotolinio mokymo(si) taikymo galimybės tęstinio profesinio mokymo plėtrai skatinti*. Kaunas, VDU.
- Tidikis, R. (2003). *Socialinių mokslų tyrimų metodologija*. Vadovėlis.
- Trinkūnas, V., Bigelis Z., Vinogradova I. ir Šileikienė I. (2008). Dėstytojų mokymas teikti studijas nuotoliniu būdu. Mokomoji knyga.

- Tzeng, G. H. and Huang, J. J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, CRC Press, 335 p.
- Tzeng, G. H., Chiang, C. H. and Li, C. W. (2007). Evaluating intertwined effects in elearning program: A novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL. *Expert Systems with Applications*: 32, 1028–1044.
- UNESCO IITE. (2000). *Distance Education for the Information Society: Policies, Pedagogy, and Professional Development*. Analytical Survey.
- UNESCO IITE (2006). *Information and communication technologies in distance education, united nations educational, scientific and cultural organization, specialized Training course*, UNESCO IITE, Moscow.
- Van Laarhoven, P. J. M and Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy sets and Systems*: 11 (1), 199–227.
- Vencloviėnė, J. (2010). *Statistiniai metodai medicinoje: bendrasis vadovėlis aukštosios mokykloms*. Paimta iš: <http://vddb.library.lt/obj/LT-eLABa-0001:B.03~2010~ISBN_978-9955-12-558-7>, 2014-01-30.
- Volungevičienė, A. ir Teresevičienė, M. (2008). Nuotolinio mokymo(si) turinio projektavimo kokybės vertinimo dimensijos. *Aukšto mokslo kokybė 2008/5*, 32–53.
- VšĮ (2005). *Nuotolinių studijų kokybės vertinimo Lietuvos ir užsienio aukštosiose mokyklose analizė, galutinė ataskaita*. VšĮ Viešosios politikos ir vadybos institutas, Vilnius.
- Wang, Y. S. (2003). Assessment of learner satisfaction with asynchronous electronic learning systems. *Information & Management*: 41, 75–86.
- Wang, F. H. (2012). On extracting recommendation knowledge for personalized web-based learning based on ant colony optimization with segmented-goal and meta-control strategies. *Expert Systems with Applications*: 39, 6446–6453.
- Wu, H. Y. and Lin, H. Y. (2012). A hybrid approach to develop an analytical model for enhancing the service quality of e-learning. *Computers & Education*: 58, 1318–1338.
- Yang, J. and Shia, P. (2002). Applying Analytic Hierarchy Process in Firm's Overall Performance Evaluation: A Case Study in China. *International Journal of Business*: 7(1), 29–46.
- Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions System, Man Cybernetics, SMC-3*: 1, 28-44 // Заде, Л. А. (1974). Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. *Математика сегодня*. - М.: Знание, 5–49.
- Zadeh, L. A. (1980). Fuzzy Sets. *Information control*: 8, 338–533.
- Zavadskas, E. K. ir Kaklauskas, A. (1996). *Pastatų sistemotechninis įvertinimas*. Vilnius: Technika, 280 p.
- Zavadskas, E. K., Zakarevičius, A. and Antuchevičienė, J. (2006). Evaluation of Ranking Accuracy

in Multi-Criteria Decisions. *INFORMATICA*: 17(4), 601–618.

Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., Peldschus, F. and Turskis, Z. (2007). Multi-attribute assessment of road design solutions by using the COPRAS method. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*: 2(4), 195–203.

Zavadskas, E. K., Turskis, Z. and Vilutienė, T. (2010). Multiple criteria analysis of foundation instalment alternatives by applying Additive Ratio Assessment (ARAS) method. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*: 10(3), 123–141.

Zavadskas, E. K. and Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*: 16(2), 159–172.

Zhigljavsky, A. and Žilinskas, A. (2008). *Stochastic Global Optimization*. Springer.

Zhu, C. and Zhao, X. (2009). PSO-based Neural Network Model for Teaching Evaluation. *Proceedings of 2009 4th International Conference on Computer Science & Education. IEEE*, 53–55.

Žilinskas, A. (2005). *Matematinis programavimas*. Kaunas: VDU leidykla.

Žilinskienė, I. and Preidys S. (2013). A Model for Personalized Selection of Learning Scenario Depending on Learning Styles. *Databases and Information Systems VII, Frontiers in Artificial Intelligence and Applications Series of IOS Press*: 347–360.

Žilinskienė, I. (2013). *Adaptyvus mokomųjų modulių personalizavimo metodas*. Daktaro disertacija, VU MII.

Žitneva, D. S. (2006). *Imitacinis modeliavimas ekonominės veiklos įmonėje*. Kursinis darbas.

Žemės ūkio ministerija KGTU. // Житенева, Д. С. (2006). *Имитационное моделирование экономической деятельности предприятия*. Курсовая работа. Министерство сельского хозяйства КГТУ. Paimta iš:

<http://ua.coolreferat.com/Имитационное_моделирование_экономической_деятельности_предприятия_часть=>, 2013-05-20.

Zorounidis, C. and Doumpos, M. (2002). Multicriteria classification and sorting methods: A literature review. *European Journal of Operational Research*: 138, 229–246.

Wang, T. I. and Tsai, K. H. (2009). Interactive and dynamic review course composition system utilizing contextual semantic expansion and discrete particle swarm optimization. *Expert Systems with Applications*: 36, 9663–9673.

Autorės publikacijų sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose moksliniuose periodiniuose leidiniuose.

- A 1. Kurilovas, E., Vinogradova, I. and Serikoviene, S. (2011). Application of Multiple Criteria Decision Analysis and Optimisation Methods in Evaluation of Quality of Learning Objects. *International Journal of Online Pedagogy and Course Design*: 1(4), 62–76. Print: ISSN 2155-6873; Online: ISSN 2155-6881. [INSPEC] [Google Scholar].
- A 2. Kurilovas, E. and Vinogradova, I. (2010). Improvement of Technical Quality of Virtual Learning Environments. *Informacijos mokslai*: 54, 63–72. Print: ISSN 1392-0561, Online: ISSN 1392-1487. [LISA] [CEEOL].

Straipsniai kituose recenzuojamuose moksliniuose periodiniuose leidiniuose.

- A 1. Mockus, J. ir Vinogradova, I. (2014). Bajeso metodo taikymas nuotolinių kursų kokybei vertinti. *Liet. matem. rink., LMD darbai, ser. B*:55, 90–95. Print: ISSN 0132-2818.

- A 2. Vinogradova I. (2012). Neapibrėžtumo įtaka AHP metodo vertinimams. *Liet. matem. rink., LMD darbai, ser. B:53*, 243–248. Print: ISSN 0132-2818.
- A 3. Vinogradova, I. ir Kurilovas, E. (2010). Studentų adaptuotų nuotolinių kursų kokybės vertinimas. *Liet. matem. rink., LMD darbai*: 51, 170–175. Print: ISSN 0132-2818.

Straipsniai recenzuojamuose konferencijų darbų leidiniuose.

- A 1. Vinogradova, I. (2014). Kursų vertinimo optimizavimas taikant daugiakriterius MCDM metodus. *Informacinės technologijos. XIX tarpuniversitetinė magistrantų ir doktorantų konferencija. „Informacinė visuomenė ir universitetinės studijos“ (IVUS 2014)*, 234–238. Konferencijos pranešimų medžiaga. Kaunas: Technologija, ISSN 2029–4832.
- A 2. Vinogradova, I., Kliukas, R. ir Trinkūnas, V. (2014). Nuotolinių studijų organizavimo ypatumai bakalauro studijų studentams. *I tarptautinės mokslinės konferencijos pranešimų medžiaga. Studijos šiuolaikinėje visuomenėje*, 76–83. ISBN 978-9955-859-03-1.
- A 3. Vinogradova, I. [Виноградова, И.], Kliukas, R. [Клюкас, Р.] ir Trinkūnas, V. [Тринкунас, В.]. (2014). Вопросы организации дистанционного обучения в университете. И. Виноградова, Р. Клюкас, В. Тринкунас. Труды *Международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования» (ИНФОРИНО-2014)*, Москва, 15–16 апреля 2014 г. Москва: Национальный исследовательский университет «МЭИ», 409-412. ISBN 9785704615354.

- A 4. Kliukas, R. [Клюкас, Р.] ir Vinogradova, I. [Виноградова, И.]. (2013). Опыт внедрения и эксплуатации MOODLE системы в Вильнюсском техническом университете имени Гедиминаса (ВГТУ) / Клюкас, Р. Виноградова, И. *Машиностроение и техносфера XXI века: сборник трудов XX международной научно-технической конференции в городе Севастополе 16-21 сентября 2013 г. Т. 1 Донецк : ДонНТУ, 295-298. ISSN 2079-2670.*
- A 5. Kurilovas, E., Vinogradova, I. ir Žilinskienė, I. (2011). Analitinio hierarchinio proceso (AHP) metodo taikymas nuotolinių mokymo kursų naudotojų sąsajos kokybei vertinti *XV kompiuterininkų konferencijos mokslo darbai*, 87–98. ISBN 978-9986-34-261-8.
- A 6. Vinogradova, I. (2010). Influence of virtual learning environment tools on education efficiency considering technological quality criteria. *Information Society and University studies. Proceedings of master and phd students conference on informatics*: 15, 181-184. Print: ISSN 2029-249X, Online: ISSN 2029-4824.
- A 7. Vinogradova, I. ir Kurilovas, E. (2010). Elektroninių kursų projektavimas „IBM Authoring Tool“ įrankiu. *VIII mokslinės – praktinės konferencijos pranešimų medžiaga, Informacinės technologijos 2010: teorija, praktika, inovacijos*, 92–97. ISBN 978-609-8020-10-6.
- A 8. Vinogradova, I. ir Kurilovas E. (2010). Nuotolinių studijų kokybės vertinimas. *III respublikinės mokslinės – praktinės konferencijos mokslinių straipsnių rinkinys. Mokslo taikomųjų tyrimų įtaka šiuolaikinių studijų kokybei*, 99–103. ISSN 2029-2279.

Priedai

A priedas. Bajeso metodo skaičiavimo rezultatai

A.1 lentelė. Pirmojo vertinimo etapo $f_{vid}(X)$ reikšmės, kai $\mu=7,543$, $\sigma=1,5283$

	1 kursas			2 kursas			3 kursas		
	$\dot{I}vertis$	k	$Fvid$	$\dot{I}vertis$	k	$Fvid$	$\dot{I}vertis$	k	$Fvid$
	9,0000	1	8,4834	10,0000	1,2	8,7890	9,0000	1	8,4834
	10,0000	1,2	8,7890	9,0000	1	8,4834	10,0000	1,2	8,7890
	9,0000	1	8,4834	9,0000	1	8,4834	10,0000	1	8,9839
	9,0000	0,8	8,6342	9,0000	0,8	8,6342	10,0000	0,8	9,1942
Vidurkis	9,2500		8,5975	9,2500		8,5975	9,7500		8,8626

A.2 lentelė. Antrojo vertinimo etapo $f_{vid}(X)$ reikšmės, kai $\mu=7,543$, $\sigma=1,5283$

	1 kursas			2 kursas			3 kursas		
	\bar{I} vertis	k	F_{vid}	\bar{I} vertis	k	F_{vid}	\bar{I} vertis	k	F_{vid}
	7,0000	1	7,1617	7,0000	1	7,1617	9,0000	1	8,4834
	9,0000	1	8,4834	9,0000	1	8,4834	10,0000	1	8,9839
	10,0000	1	8,9839	9,0000	1	8,4834	10,0000	1	8,9839
	8,0000	1	7,8502	9,0000	1	8,4834	9,0000	1	8,4834
	8,0000	1	7,8502	8,0000	1	7,8502	9,0000	1	8,4834
	9,0000	1	8,4834	8,0000	1	7,8502	8,0000	1	7,8502
Vidurkis	8,3333		8,2097	8,3333		8,0428	9,1667		8,5447

A.3 lentelė. Trečiojo vertinimo etapo $f_{vid}(X)$ reikšmės, kai $\mu=7,8378$, $\sigma=1,932$

	1 kursas			2 kursas			3 kursas		
	\bar{I} vertis	k	F_{vid}	\bar{I} vertis	k	F_{vid}	\bar{I} vertis	k	F_{vid}
	10	1	9,0975	8	1	7,9397	7	1	7,1748
	9	1	8,6103	10	1	9,0975	9	1	8,6103
	9	1	8,6103	10	1	9,0975	9	1	8,6103
	10	1	9,0975	10	1	9,0975	10	1	9,0975
	10	1	9,0975	9	1	8,6103	9	1	8,6103
	10	1	9,0975	10	1	9,0975	10	1	9,0975
	10	1	9,0975	9	1	8,6103	10	1	9,0975
	10	1	9,0975	9	1	8,6103	10	1	9,0975
	10	1	9,0975	9	1	8,6103			
				9	1	8,6103			
				9,5	1	8,8795			
				9	1	8,6103			
				10	1	9,0975			
Vidurkis	9,7778		8,9893	9,3462		8,7668	9,25		8,6745

B priedas. MCDM metodų naudojami duomenys

B.1 lentelė. *Pirmojo vertinimo etapo kurso įverčiai, vertinant pagal kriterijus, ir kriterijų svoriai*

	1KR	2KR	3KR	4KR	5KR	Vidurkis
1 kursas	9,0000	9,0000	9,7500	9,2500	9,2500	9,2500
2 kursas	9,0000	9,7500	9,5000	8,7500	10,0000	9,4000
3 kursas	10,0000	10,0000	9,5000	9,0000	9,5000	9,6000
AHP	0,1920	0,1937	0,1315	0,1189	0,3639	
AHPF	0,2085	0,2053	0,1952	0,1845	0,2065	

B.2. lentelė. *Antrojo vertinimo etapo kurso įverčiai, vertinant pagal kriterijus, ir kriterijų svoriai*

	1KR	2KR	3KR	4KR	5KR	6KR	Vidurkis
1 kursas	9,3333	10,0000	8,3333	8,6667	7,3333	7,3333	8,5000
2 kursas	9,0000	9,0000	8,0000	10,0000	7,0000	8,6667	8,6111
3 kursas	10,0000	9,0000	8,6667	10,0000	8,3333	8,3333	9,0556
AHP	0,3547	0,1619	0,0380	0,1815	0,1301	0,1337	
AHPF	0,2346	0,1927	0,0433	0,1944	0,1714	0,1637	

B.3 lentelė. *Trečiojo vertinimo etapo kurso įverčiai, vertinant pagal kriterijus, ir kriterijų svoriai*

	1KR	2KR	3KR	4KR	5KR	Vidurkis
1 kursas	9,7778	9,6667	9,6667	9,2222	9,7778	9,6222
2 kursas	9,5385	9,8462	9,3846	9,0769	9,0769	9,3846
3 kursas	9,8750	9,5000	9,0000	7,6250	9,6250	9,1250
AHP	0,2623	0,2557	0,1846	0,1544	0,1431	
AHPF	0,2110	0,2070	0,2045	0,1925	0,1851	

Irina Vinogradova

NUOTOLINIŲ KURSŲ PARINKIMO

OPTIMIZAVIMAS

Daktaro disertacija

Fiziniai mokslai

Informatika (09 P)

Irina Vinogradova

DISTANCE COURSE SELECTION

OPTIMISATION

Doctoral Dissertation

Physical sciences

Informatics (09 P)