VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBOS VALDYMO IR NEKILNOJAMOJO TURTO KATEDRA

Rytis Pranarauskas

GELEŽINKELIO LINIJOS INŽINERINĖS INFRASTRUKTŪROS VYSTYMO KONCEPCIJŲ DAUGIAKRITERĖ ANALIZĖ

MULTICRITERIA ANALYSIS OF RAILWAY LINE ENGINEERING INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT CONCEPTS

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijų ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 6211EX043

Statybos technologijų ir valdymo specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2024

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
STATYBOS VALDYMO IR NEKILNOJAMOJO TURTO KATEDRA

Rytis Pranarauskas

GELEŽINKELIO LINIJOS INŽINERINĖS INFRASTRUKTŪROS VYSTYMO KONCEPCIJŲ DAUGIAKRITERĖ ANALIZĖ
MULTICRITERIA ANALYSIS OF RAILWAY LINE ENGINEERING INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT CONCEPTS

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijų ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 6211EX043
Statybos technologijų ir valdymo specializacija
Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas prof. dr. Jurgita Antuchevičienė

Lietuvių kalbos konsultantas dr. Lina Rutkienė

Vilnius, 2024

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Statybos valdymo ir nekilnojamojo turto katedra

ISBN | ISSN
Egz. sk. .....
Data .....-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Statybos technologijų ir valdymo** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas	**Geležinkelio linijos inžinerinės infrastruktūros vystymo koncepcijų daugiakriterė analizė**
Autorius	**Rytis Pranarauskas**
Vadovas	**Jurgita Antuchevičienė**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamas geležinkelių infrastruktūros vystymo daugiakriteris vertinimas. Darbas sudarytas iš šių pagrindinių dalių: geležinkelių transporto Europos Sąjungoje analizės, tiriamosios dalies, kurioje nagrinėjamos dalies „Rail Balticos“ ruožo koncepcinės alternatyvos bei kriterijai geležinkelio alternatyvų vertinimui ir optimalios geležinkelio linijos atrankos pasirinktu skaičiavimo metodu. Pirmoje dalyje išnagrinėta geležinkelių transporto Europos Sąjungoje situacija: geležinkelių transporto vaidmuo mažinant taršą, geležinkelių infrastruktūros padėtis Baltijos šalyse, infrastruktūros vystymo patirtys, vystymo galimybių daugiakriteris vertinimas ir vertinimo metodai. Antroje dalyje atlikta „Rail Balticos“ Lenkijos ir Lietuvos valstybių siena–Jiesia modernizavimo koncepcinių alternatyvų analizė ir atrinkti alternatyvų vertinimo kriterijai. Ekspertine apklausa šiems kriterijams buvo priskirti reikšmingumai. Remiantis koncepcinėmis alternatyvomis ir atrinktais vertinimo kriterijais su reikšmingumais, paskutinėje dalyje buvo atliekami skaičiavimai siekiant atrinkti optimalią inžinerinės infrastruktūros vystymo koncepcijų geležinkelio liniją tolesniam detalizavimui.

Darbą sudaro įvadas, dvi pagrindinės dalys su poskyriais ir skyreliais, išvados ir literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 62 p. teksto be priedų, 15 iliustr., 21 lent., 43 bibliografiniai šaltiniai.

Atskirai pridedami priedai.

Prasminiai žodžiai: Rail Baltica; geležinkelio koncepcinės alternatyvos; daugiakriterė analizė; MCDM; TOPSIS; COPRAS; kriterijai; infrastruktūros vystymas; europinė vėžė.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Civil Engineering
Department of Construction Management and Real Estate

ISBN | ISSN
Copies No. .....
Date .....-.....-.....

Master Degree Studies **Construction Technologies and Management** study programme Master's Thesis

Title	**Multicriteria Analysis of Railway Line Engineering Infractructure Development Concepts**
Author	**Rytis Pranarauskas**
Academic supervisor	**Jurgita Antuchevičienė**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

This master thesis deals with the multi-criteria analysis of railway infrastructure development. The thesis consists of the following main parts: an analysis of rail transport in the European Union, an exploratory part, which examines the conceptual alternatives for a part of the Rail Baltica section and the criteria for the evaluation of the rail alternatives, and the selection of the optimal rail line by the chosen calculation method. The first part examines the situation of rail transport in the European Union: the role of rail transport in reducing pollution, the situation of rail infrastructure in the Baltic States, experiences in infrastructure development, multi-criteria analysis of development alternatives and evaluation methods. The second part analyses the conceptual alternatives for the modernisation of the Rail Baltica Poland-Lithuania border and the selection of criteria for the evaluation of alternatives. These criteria were assigned significance by an expert survey. Using the conceptual alternatives and the selected evaluation criteria with the significance values, in the last part the calculations were carried out to select the optimal railway line for further detailing of the engineering infrastructure development concepts.

The thesis consists of an introduction, two main parts with sub-sections and chapters, conclusions and a list of references.

The volume of the work is 62 p. of text without appendices, 15 illustrations, 21 tables, 43 bibliographic references.

Appendices are attached separately.

Keywords: Rail Baltica; railway conceptual alternatives; multi-criteria analysis; MCDM; TOPSIS; COPRAS; criteria; infrastructure development; European gauge.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS 6
LENTELIŲ SĄRAŠAS 7
ĮVADAS 8
1. GELEŽINKELIŲ TRANSPORTAS EUROPOS SĄJUNGOJE 10
1.1. Geležinkelių transporto naudojimas siekiant mažinti taršą Europos Sąjungoje 10
1.2. Geležinkelių infrastruktūros padėtis tarp Baltijos šalių ir ES 12
1.3. Susisiekimo infrastruktūros vystymo daugiakriteris vertinimas 15
1.4. Taikomo daugiakriterio vertinimo metodo pasirinkimas 17
2. TYRIMO METODOLOGIJA 20
2.1. Tyrimo modelis 20
2.2. „Rail Balticos“ ruožo Baltijos šalyse vystymas 21
2.3. „Rail Balticos“ ruožas Lenkijos ir Lietuvos valstybių siena–Jiesia 22
2.3.1. Alternatyva 1 24
2.3.2. Alternatyva 2 24
2.3.3. Alternatyva 3A 25
2.3.4. Alternatyva 6A 25
2.4. Geležinkelio infrastruktūros vertinimo kriterijai 26
2.5. Vertinimo kriterijų reikšmingumo nustatymas ekspertiniu metodu 29
2.6. Daugiakriterio vertinimo metodai 37
2.6.1. TOPSIS metodas 37
2.6.2. COPRAS metodas 39
3. LENKIJOS IR LIETUVOS VALSTYBIŲ SIENA–JIESIA KONCEPCINIŲ ALTERNATYVŲ DAUGIAKRITERIS VERTINIMAS 41
3.1. Koncepcinių alternatyvų daugiakriteris vertinimas TOPSIS metodu 41
3.2. Koncepcinių alternatyvų daugiakriteris vertinimas COPRAS metodu 48
3.3. Koncepcinių alternatyvų daugiakriterio vertinimo rezultatai 52
IŠVADOS 55
LITERATŪRA 57

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Galutinis energijos suvartojimas pagal transporto rūšį 1990–2016 m., mln. teradžiaulių (European Environment Agency, 2019) ... 11
2 pav. Geležinkelių transporto išmetamo CO_2 kiekis Europos Sąjungoje 1990–2021 m., mln. tonų CO_2 (neįskaitant netiesioginės taršos elektros energijai) (Statista: Railway Emissions, 2023) ... 12
3 pav. Geležinkelių transportu vežamų krovinių kiekis Lietuvoje 2009–2022 m., mln. tonkilometrių ... 13
4 pav. Tyrimo modelis ... 20
5 pav. „Rail Balticos“ schema Baltijos šalyse (Rail Baltica, 2023) ... 21
6 pav. Esami geležinkelio keliai ruože Lenkijos ir Lietuvos valstybių siena–Kaunas (OpenRailwayMap, 2024) ... 22
7 pav. Bendra alternatyvų schema (koncepcijos dokumentų grafinė dalis) ... 23
8 pav. Alternatyvos 2 skerspjūvio schema (šiauriau Marijampolės) ... 24
9 pav. Alternatyvos 3A skerspjūvio schema (šiauriau Marijampolės) ... 25
10 pav. Apklaustų respondentų akademiniai laipsniai ... 31
11 pav. Apklaustų respondentų profesijos ... 31
12 pav. Apklaustų respondentų darbo sritis ... 32
13 pav. Apklaustų respondentų darbo patirtis ... 32
14 pav. TOPSIS metodo algoritmas ... 37
15 pav. COPRAS metodo algoritmas ... 39

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Baltijos šalių 1520 mm ir 1435 mm geležinkelio vėžių ilgiai 13
2 lentelė. Respondentų duomenys 29
3 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų apklausos rezultatai 33
4 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų apklausos rezultatai 34
5 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų pradinė sprendimų matrica 41
6 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų pradinė sprendimų matrica 42
7 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų normalizuota sprendimų matrica 43
8 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų normalizuota sprendimų matrica 43
9 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų svorinė normalizuota sprendimų matrica 44
10 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų svorinė normalizuota sprendimų matrica 45
11 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų idealiai teigiamų A+ ir idealiai neigiamų A– sprendiniai 46
12 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų idealiai teigiamų A+ ir idealiai neigiamų A– sprendiniai 46
13 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų Sj+, Sj– ir Cj+ reikšmės bei alternatyvų prioritetai 48
14 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų Sj+, Sj– ir Cj+ reikšmės bei alternatyvų prioritetai 48
15 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų įvertinta normalizuota sprendimų matrica 49
16 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų įvertinta normalizuota sprendimų matrica 50
17 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų minimizuojančios ir maksimizuojančios sumos 51
18 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų minimizuojančios ir maksimizuojančios sumos 51
19 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų variantų reikšmingumai bei alternatyvų prioritetai 52
20 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų variantų reikšmingumai bei alternatyvų prioritetai 52
21 lentelė. Rezultatų palyginimas 54

ĮVADAS

Tyrimo aktualumas. Transporto sektoriaus tarša Europos Sąjungoje sudaro beveik ketvirtadalį šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Palyginus su kitais sektoriais, transporto sektoriuje pastebimas lėtesnis laipsniškas taršos mažėjimas. Norint, kad ES išliktų konkurencinga ir galėtų reaguoti į didėjančius žmonių ir prekių judėjimo poreikius, reikia iš esmės pertvarkyti transporto sektorių. Kol kas pagrindinė ES strategija yra alternatyvios energijos (biodegalų, vandenilio ir atsinaujinančių sintetinių degalų) diegimas transporte ir transporto elektrifikavimas, tačiau pagal mokslininkų prognozes yra tikimybė nepasiekti užsibrėžtų tikslų. Geležinkelių sektorius pasižymi žema tarša ir aukštu našumu, todėl transeuropinio transporto tinklo vystymas yra svarbus žingsnis tvarios ateities link.

Geležinkelio infrastruktūros vystymas yra sudėtingas ir brangus procesas, todėl tokiems projektams, kuriuose dažnai nėra vieno optimalaus sprendimo, o vertinimas yra susijęs dideliu kiekiu kriterijų, galima taikyti daugiakriterį vertinimą. Šiame darbe nagrinėjamos keturios „Rail Balticos“ geležinkelio linijos Lenkijos ir Lietuvos valstybių siena–Jiesia modernizavimo koncepcijų alternatyvos, iš kurių kitai projekto stadijai turi būti atrinkta racionali alternatyva.

Tyrimo problema – sprendimų priėmimo proceso struktūravimas ir optimizavimas siekiant rasti racionalią alternatyvą sudėtinguose projektuose.

Tyrimo objektas – „Rail Balticos“ geležinkelio linijos Lenkijos ir Lietuvos valstybių siena–Jiesia modernizavimo koncepcijų alternatyvos.

Tyrimo tikslas – atrinkti optimalią geležinkelio linijos vystymo koncepciją tolesniam detalizavimui.

Uždaviniai tikslui pasiekti:

1. Įvertinti geležinkelių transporto situaciją Europos Sąjungoje, geležinkelių vaidmenį mažinant taršą ir infrastruktūros padėtį Baltijos regione bei vystymo galimybes.
2. Išnagrinėti daugiakriterio vertinimo taikymo galimybes vystant susisiekimo infrastruktūrą.
3. Ištirti įvairiose srityse naudojamus daugiakriterio vertinimo skaičiavimo metodus ir jų tinkamumą naudoti racionalios geležinkelio linijos alternatyvos parinkimui.
4. Pagal šiuo metu projektuojamos „Rail Balticos“ koncepciją, išnagrinėti ruožo Lietuvoje vystymo galimybes ir kiekybiškai įvertinti koks variantas yra optimalus, naudojant daugiakriterę analizę.

Tyrimo metodai. Rašant magistro darbą naudojami analitiniai tyrimo metodai – analizuojama ir apibendrinama mokslinė literatūra bei kiti informacijos šaltiniai. Pagal atrinktus kriterijus ir išnagrinėtą daugiakriterės analizės metodiką atliekami skaičiavimai atrinkti alternatyvai. Skaičiavimai priklauso nuo parinktų kriterijų reikšmingumų, kuriems nustatyti buvo vykdoma ekspertinė apklausa.

Tyrimo struktūra. Darbą sudaro 3 dalys. Pirmoje dalyje, analizuojant literatūros šaltinius, atliekamas geležinkelių transporto Europos Sąjungoje vertinimas. Apžvelgiamas geležinkelių vaidmuo mažinant taršą ir geležinkelių infrastruktūra Baltijos regione. Pasitelkiant mokslinę literatūrą, analizuojamas daugiakriterio vertinimo procesas ir taikymo galimybės transporto vystyme. Antroje dalyje nagrinėjamas „Rail Balticos“ projektas ir ruožo Lenkijos ir Lietuvos valstybių siena–Jiesia modernizavimo koncepcinės alternatyvos bei atrenkami kriterijai jų vertinimui. Kriterijams ekspertiniu metodu priskiriami reikšmingumai. Trečioje dalyje atliekami skaičiavimai pasirinktais daugiakriterio vertinimo metodais, siekiant parinkti racionalią koncepcinę alternatyvą.

Darbo naujumas. Per pastarąjį dešimtmetį palyginti daug dėmesio buvo skirta susisiekimo plėtros tyrimams pasitelkiant daugiakriterį vertinimą. Susisiekimo infrastruktūros vystymas yra ilgas, sudėtingas ir brangus procesas. „Rail Baltica“ iniciatyva, skirta skatinti tolesnę Baltijos šalių integraciją į ES bendriją ir didinti saugumą yra sudėtingas projektas, kertantis daug šalių, kurio sėkmei būtini racionalūs sprendiniai. Daugiakriterio vertinimo proceso taikymo tokiuose projektuose galimybių tyrimas gali padėti paskatinti geležinkelių transporto plėtojimą ES ir pasaulyje.

Darbo pritaikomumas – įvertinamos galimybės taikyti daugiakriterio vertinimo procesą sprendimų priėmimui siekiant rasti optimalią liniją geležinkelio infrastruktūros vystymo projektuose.

Darbo aprobavimas. Darbo tematika buvo skaitytas pranešimas jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“ (žr. A priedą).

1. GELEŽINKELIŲ TRANSPORTAS EUROPOS SĄJUNGOJE

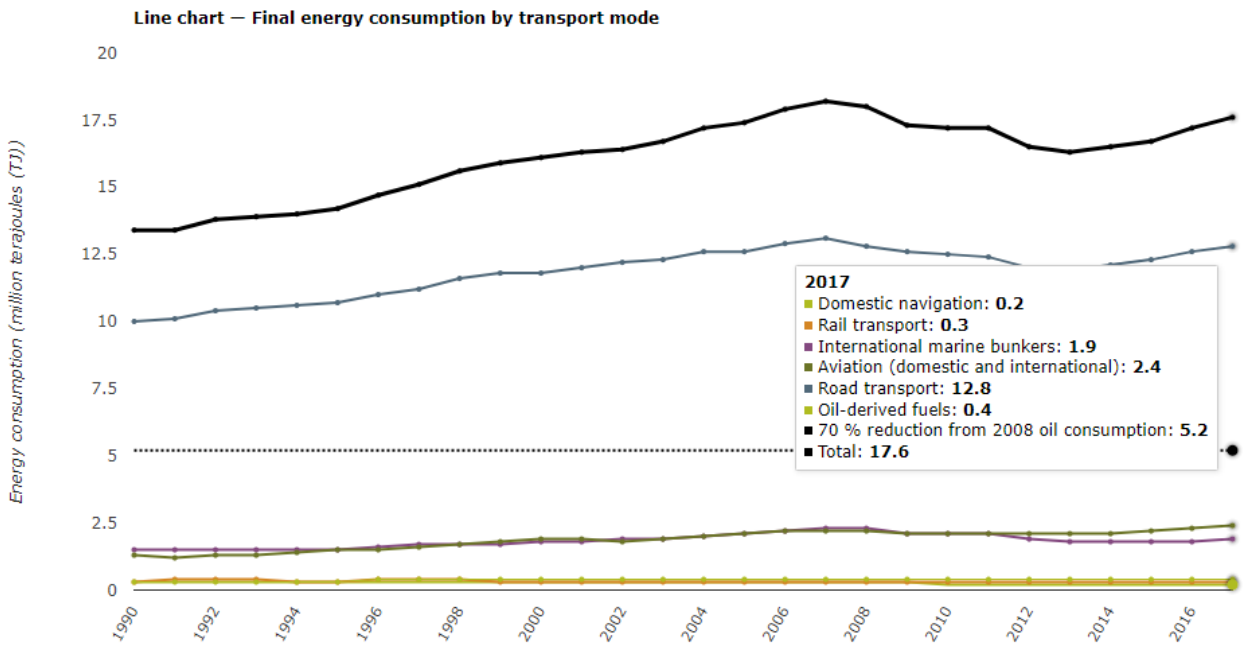
1.1. Geležinkelių transporto naudojimas siekiant mažinti taršą Europos Sąjungoje

Nors per milijonus metų Žemės temperatūra nuolat kito, XX a. pokyčiai, siejami su žmonių veiklos rezultatais, yra per staigūs. Vidutinė pasaulio temperatūra kyla dėl šiltnamio efekto, kurį sukelia deginamos naudingosios iškasenos. Kova su klimato kaita yra vienas iš svarbiausių valstybių ir įmonių prioritetų. 2015 m. Paryžiaus sutartį pasirašė beveik visos pasaulio šalys, o keliolika pasaulio valstybių jau nusistatė aiškius tikslus. Norint apriboti temperatūros kilimą iki mažiau nei 2°C ir stengiantis, kad neviršytų 1,5°C, reikia imtis konkrečių priemonių, nes dabar šis tikslas yra gana sunkiai pasiekiamas. Dėl COVID-19 apribojimų 2020 m. balandžio mėn. kasdien išmetamo iškastinio CO_2 kiekio sumažėjimas buvo 17 %, palyginus su ankstesnių metų duomenimis (Le Quéré et al., 2020). Vien pusė šio pokyčio atsirado iš antžeminio transporto sektoriaus. 2020 m. duomenimis, bendras išmetamo anglies dioksido kiekis sumažėjo 6,4 %, arba 2,3 mlrd. tonų (Tollefson, 2021). Būtent tokio metinio sumažinimo ir prireiks, kad klimato kaita per ateinančius dešimtmečius neviršytų 1,5°C nustatytos ribos.

Dabartinės prognozės puikiai parodo, kaip sunku bus pasiekti Paryžiaus klimato susitarime numatytus klimato kaitos tikslus. Be to, dauguma per krizę pastebėtų pokyčių neatspindi struktūrinių ekonomikos, transporto ar energetikos sistemų pokyčių. Antžeminis transportas yra antras pagal taršos kiekį sektorius Europos Sąjungoje, todėl tai yra vienas iš svarbiausių sektorių siekiant ES vidinių ir Paryžiaus susitarimo tikslų.

Geležinkelių transportas turi ekologinį konkurencinį pranašumą, palyginus su kitomis transporto priemonėmis (Mehta, 2019):

- Geležinkelių transportas leidžia vežti didelius kiekius keleivių ar krovinių su palyginus maža tarša;
- Elektriniai lokomotyvai turi puikius techninius parametrus, yra patikimi ir ekologiški;
- Net ir modernūs dyzeliniai lokomotyvai yra gana ekologiški (galima vežti didelius kiekius krovinių ar keleivių, palyginus su kelių transportu);
- Geležinkelių linijas galima elektrifikuoti;
- Ilgas infrastruktūros eksploatavimo laikas;
- Palyginti nedidelės veiklos sąnaudos;
- Saugumas;
- Žemas galutinis energijos suvartojimas (1 pav.).



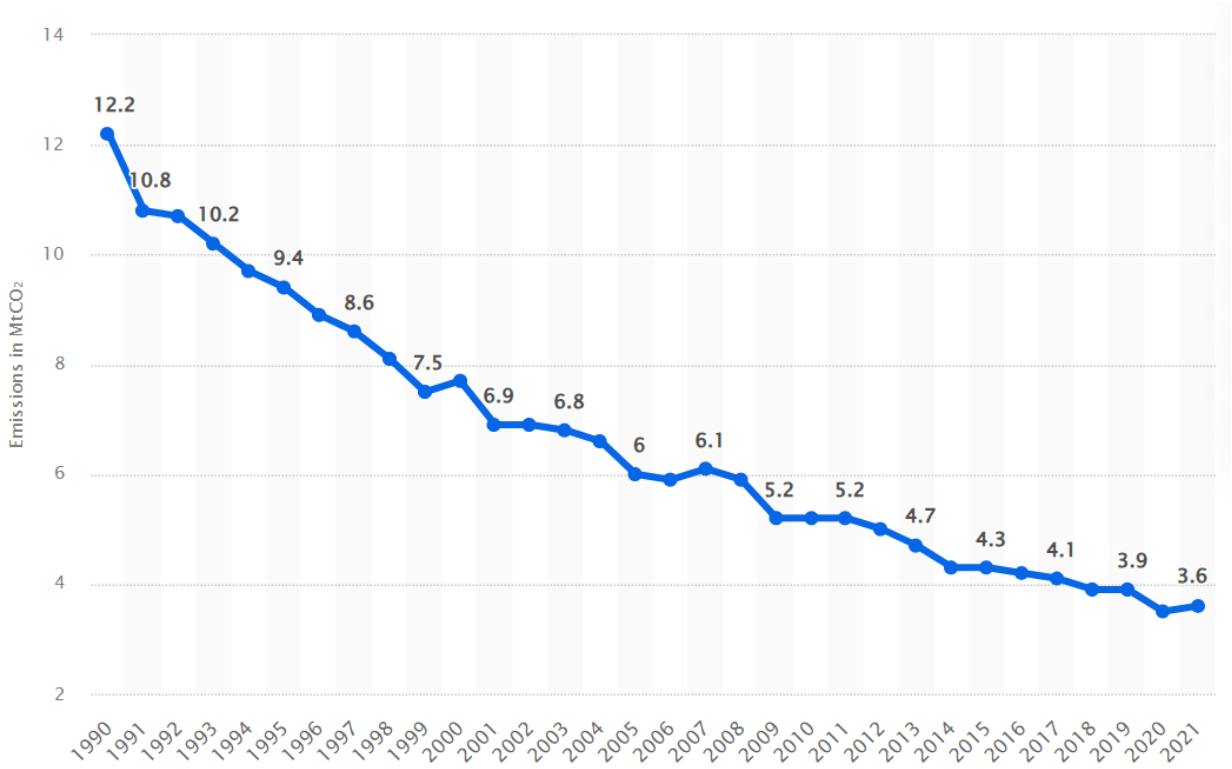
1 pav. Galutinis energijos suvartojimas pagal transporto rūšį 1990–2016 m., mln. teradžiaulių (European Environment Agency, 2019)

Pagrindiniai konkurenciniai trūkumai palyginus su kitomis transporto priemonėmis (Gholamizadeh et al., 2022):

- Reikalingos didelės investicijos į infrastruktūrą – išlaidos apima projektavimą, žemės išpirkimą, statybą ir susijusias infrastruktūros išlaidas;
- Sudėtingi ir ilgi planavimo, leidimų ir teisiniai procesai – aplinkosaugos vertinimai, atitiktys teisės aktams ir pan.;
- Didelė tiesioginė įtaka aplinkai – socialinė ir gamtinė įtaka;
- Paklausa – geležinkelio linijų sėkmė priklauso nuo būsimų keleivių ir krovinių vežimo paklausos;
- Ribota aprėptis – geležinkelio linijos sudaro tam tikrus koridorius, o visapusiškai tinklo plėtra yra sudėtingas ir ilgas procesas.

Europoje geležinkelių tarša per pastaruosius 25 metus sumažėjo daugiau kaip 40 %, nepaisant to, kad krovinių vežimas išaugo 8,5 %, o keleivių kelionių skaičius padidėjo 37 % (Thales Group, 2020). EU-27 elektrifikuoto geležinkelio vidurkis, 2021 m. duomenimis, siekė 56,1 % geležinkelių transporto Europoje (Statista: Electrified Rail Network, 2023). Nors iki 100 % ekologiškos elektros energijos gamybos dar toli, geležinkelių tarša, tenkanti vienam kilometrui, ir toliau mažėja, nes iškastinis kuras keičiamas į atsinaujinančius energijos šaltinius. Be abejo, patys geležinkeliai tampa vis efektyvesni. Naujos geležinkelio linijos tiesiamos vis didesniems greičiams, o esamos – pritaikomos. Ne mažiau svarbios yra naujoviškos valdymo ir kontrolės sistemos, didinančios geležinkelių pajėgumą bei patrauklumą.

2021 m. Europos Sąjungoje geležinkelių transportu iš viso išmesta 3,6 mln. tonų anglies dioksido (2 pav.). Tai buvo pirmas kartas, kai geležinkelių transporto išmetamųjų teršalų kiekis krito žemiau keturių mln. tonų CO_2 (Statista: Railway Emissions, 2023). Traukiniai yra viena iš mažiausiai taršių transporto rūšių ir sudaro tik 0,4 %. visų ES transporto išmetamų teršalų (Statista: Transport GHG Emission, 2023).



2 pav. Geležinkelių transporto išmetamo CO_2 kiekis Europos Sąjungoje 1990–2021 m., mln. tonų CO_2 (neįskaitant netiesioginės taršos elektros energijai) (Statista: Railway Emissions, 2023)

Siekiant įgyvendinti Paryžiaus susitarimo tikslus ir efektyviai kovoti su klimato kaita, būtina dėti daugiau pastangų mažinant iškastinio kuro naudojimą. Geležinkelių sektorius, turėdamas mažą taršos lygį ir aukštą efektyvumą, gali tapti svarbiu žingsniu tvarios ateities link, todėl būtina skatinti geležinkelių transporto plėtrą ir didinti šio transporto efektyvumą.

1.2. Geležinkelių infrastruktūros padėtis tarp Baltijos šalių ir ES

Dėl istorinių priežasčių Baltijos šalių geležinkeliai buvo tiesiami įvairių vėžių. Baltijos šalys buvo sujungtos su Europa 1435 mm pločio geležinkeliu trumpą laiką, kai Vokietijos imperijos kariuomenė pertvarkė geležinkelius savo reikmėms. Nuo XX a. vidurio geležinkeliai buvo vėl pertiesiami į 1520 mm (rusiškosios) vėžės pločio bėgius, o tai atsispindi dabartiniuose geležinkelių

transporto srautuose (Maskeliūnaitė, 2021). Dabar Baltijos šalyse pagrindinės vėžės yra 1520 mm ir 1435 mm (1 lentelė). Dominuojanti – 1520 mm pločio geležinkelio vėžė (rusiškoji vėžė).

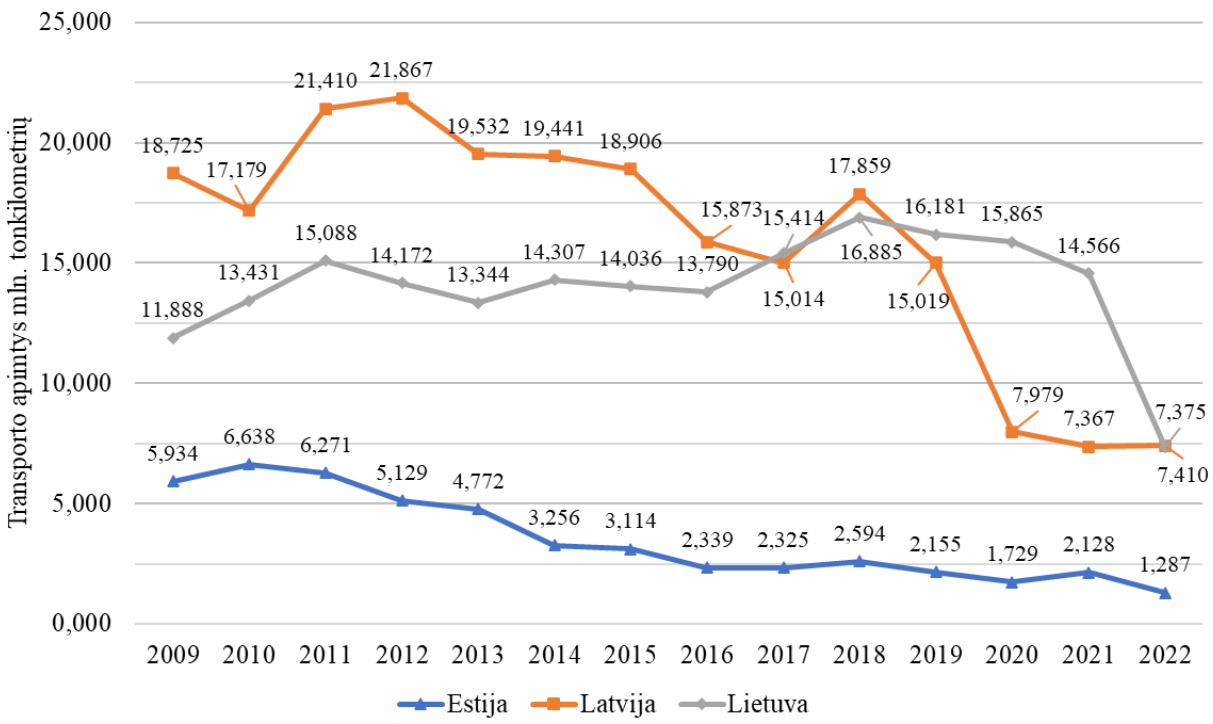
1 lentelė. Baltijos šalių 1520 mm ir 1435 mm geležinkelio vėžių ilgiai

Vėžė	Geležinkelių ilgiai valstybėse, km (elektrifikuota, km)		
	Estija	Latvija	Lietuva
1520 mm	2164,0*	1748,0	1745,8
1435 mm	-	-	123,0
Viso:	2164,0 (132,0)	1748,0 (250,0)	1868,8 (156,0)

Pastabos: * – įtraukta 1524 mm vėžė, kuri yra suderinama su 1520 mm vėže.

Šaltiniai: Estija: Ministry of Economic Affairs and Communications, 2022; Latvija: Latvian Railways, 2022; Lietuva: Ministry of Transport and Communications, 2023.

2022 m. Rusijos invazija į Ukrainą didžioji dalis krovinių, vežamų Baltijos šalių geležinkeliais, buvo iš NVS šalių, ypač iš Rusijos, o geležinkelių transporto paslaugos daugiausia teikiamos naudojant esamą 1520 mm vėžės pločio vėžės sistemą (Malnača et al., 2023). 2020-2022 m. periode, dėl krovinių pervežimo mažėjimo per pandemiją, geopolitinės situacijos, įsigaliojusių sankcijų, krovinių vežimo geležinkeliais apimtys iš rytų sumažėjo visose trijose Baltijos valstybėse: Estijoje – 40 % (Statista: Rail Freight Estonia, 2023), Latvijoje – 51 % (Statista: Rail Freight Latvia, 2023), o Lietuvoje – 54 % (Statista: Rail Freight Lithuania, 2023) (3 pav.).



3 pav. Geležinkelių transportu vežamų krovinių kiekis Lietuvoje 2009–2022 m., mln. tonkilometrių

Smarkiai kritus geležinkelio transporto apimtims į rytus sumažėjo ir poreikis naudoti 1520 mm pločio geležinkelio vėžę, neskaitant regioninių keleivių kelionių. ES plečiant geležinkelių naudojimą transportui ir siekiant prijungti Baltijos šalis per Lenkiją, būtina įrengti Baltijos šalių geležinkelio jungtį tarp Šiaurės jūros–Baltijos jūros ir TEN-T (angl. Trans-European Transport Network, liet. transeuropinio transporto tinklo) pagrindinio tinklo, užtikrinant visišką Estijos, Latvijos ir Lietuvos integraciją į bendrą Europos geležinkelių erdvę.

Europos geležinkelių reforma prasidėjo 1990 m., o jos tikslas – įveikti techninį ir organizacinį susiskaidymą ir sukurti bendrą laisvą ir konkurencingą geležinkelių transportą paslaugų sektorių, didinant geležinkelių patrauklumą. Per pastaruosius 34 metus pasiekta daug esminių pokyčių – iš esmės pakeista infrastruktūros valdymo strategija, buvo įsteigta Europos Sąjungos geležinkelių agentūra (angl. European Railway Agency – ERA), pradėta naudoti bendra kontrolės sistema ERTMS (angl. European Rail Traffic Management System), kuri dabar plėtojama naujose ir modernizuotose geležinkelio linijose, apibrėžta ir iš dalies įgyvendinta transeuropinio transporto tinklo (TEN-T) strategija – buvo skiriamos dideles finansines pastangos gerinti geležinkelių infrastruktūrą, kad būtų galima atgaivinti Europos geležinkelius (Publications Office of the EU, 2015).

Nepaisant to, pagrindinis politinis tikslas – padidinti keleivių ir krovinių vežimą geležinkelių transportu – dar nėra įgyvendintas. Geležinkelių užimama keleivių vežimo rinkos dalis nepasikeitė, o krovinių vežimas sumažėjo. ES geležinkelių organizacijos vis dar susiskaldžiusios, naujų technologijų ir taisyklių plėtra labai lėta, vyraujanti nacionalinė geležinkelių politika, kuria saugomos valstybinės įmonės, prekybos sektoriaus pasipriešinimas, mažas rinkos spaudimas (Publications Office of the EU, 2015).

Vienas iš būdų padidinti keleivių ir krovinių pervežimą yra „Rail Balticos“ jungtis. Dėl Baltijos šalių geležinkelio transporto apimčių kritimo ir geopolitinių priežasčių, toks pavyzdinis projektas sustiprintų ir sujungtų šį regioną su ES, taip paspartindamas ES geležinkelių atsigavimą. Geležinkelio infrastruktūros plėtra leistų padidinti Baltijos šalių rinkų pasiekiamumą, konkurencingumą, pritrauktų užsienio investuotojus ir potencialiai pakeltų šių trijų šalių BVP. Projektas taip pat integruos Baltijos šalis į TEN-T tinklą, taip suteikdamas prieigą prie pietų, vidurio ir vakarų Europos šalių ir didžiausių Europos uostų (Roterdamo, Hamburgo ir Antverpeno).

Padidėjusi grėsmei ES šalims įsitraukti į ginkluotą konfliktą, derėtų pripažinti geležinkelių svarbą karinėje logistikoje. Geležinkeliais galima pervežti didelius kiekius karių ir karinės įrangos, todėl geležinkeliai pasižymėjo šiais savo pranašumu įvairiuose konfliktuose, pradedant pirmaisiais Prūsijos karalystės kariuomenės bandymais eksploatuoti geležinkelius kariniais tikslais 1846 m. ir baigiant didžiausiu žmonijos kariniu konfliktu – Antruoju pasauliniu karu (Wikipedia: Military Railways, 2023). Europos saugumas priklauso nuo gebėjimo greitai reaguoti į grėsmes, todėl pagal gynybinius planus, siekiant išvengti konflikto, itin svarbu užtikrinti galimybę perkelti dešimtis

brigadų į gynybines pozicijas rytinėje Europos dalyje. Taip pat svarbu yra galimybė gabenti didelius kiekius karinės technikos išvengiant apribojimų, susijusių automobilių keliais dėl masės ir gabaritų. Dėl šių priežasčių „Rail Balticos“ projektas yra skirtas ne tik Baltijos šalių integracijai į bendrą Europos geležinkelių tinklą ekonominiais tikslais, bet ir saugumo garantas.

Pasikeitę prioritetai geležinkelių plėtros atžvilgiu lemia tai, kad Europinis geležinkelių tinklas turi būti pritaikomas kariniam mobilumui. Pagrindiniai iššūkiai, su kuriais susiduriama Europos gynybos stiprinime, yra biurokratinės kliūtys, lėtinančios karių ir karinės technikos judėjimą per Europos sienas ir infrastruktūros apribojimai (The Telegraph, 2024). Minėtų problemų sprendimai yra susiję su gynybos planų ir karinių koridorių kūrimu, todėl būtina ne tik spręsti biurokratijos problemas, bet ir vystyti naujus geležinkelio projektus. Su geležinkelio projektų vystymu susijęs ir geležinkelių infrastruktūros pritaikymas kariniam mobilumui – specialiai pritaikytų iškrovimo ir pakrovimo platformų įrengimas sunkiajai technikai ir eismo su civiliniais traukiniais suderinimas (LRT, 2022).

Apibendrinant galima teigti, kad Baltijos šalių geležinkeliai turi ilgą ir sudėtingą istoriją, susijusią su įvairiomis politinėmis ir ekonominėmis permainomis. Istorinė priklausomybė nuo skirtingų geležinkelių vėžių lėmė dabartinę infrastruktūrą, kurioje dominuoja 1520 mm vėžė. Pastarojo dešimtmečio geopolitiniai iššūkiai ir ES strateginės iniciatyvos, tokios kaip „Rail Baltica“, paskatino Baltijos šalių integraciją į bendrą Europos geležinkelių erdvę su 1435 mm vėže. Tokie projektai yra svarbūs ne tik ekonominei Baltijos šalių integracijai, bet ir regiono saugumui, prisidedant prie NATO gebėjimo greitai reaguoti į galimas grėsmes. Tai reikalauja ne tik infrastruktūros modernizavimo, bet ir biurokratinių kliūčių šalinimo bei naujų transporto koridorių kūrimo. „Rail Baltica“ projektas simbolizuoja šių tikslų siekį, skatindamas tiek ekonominę plėtrą, tiek karinį mobilumą, taip stiprinant viso regiono saugumą ir stabilumą.

1.3. Susisiekimo infrastruktūros vystymo daugiakriteris vertinimas

Vykdant sudėtingus projektus, pavyzdžiui norint atrinkti geriausią geležinkelio linijos inžinerinės infrastruktūros vystymo koncepciją, iš daugelio variantų, reikia priimti sprendimą. Kadangi reikia pasverti visas galimybes, būtina įsivesti ir apibrėžti kriterijus, pagal kuriuos bus priimamas sprendimas. Dažnai tie kriterijai yra ne tik prieštaraujantys arba nelygiaverčiai, bet ir su skirtingais matavimo vienetais. Nuo senų laikų žmonės atlikinėjo paprastus vertinimus pasveriant argumentus už ir prieš. Priimant sprendimus, toks vertinimas naudojamas ne tik kasdieniniame gyvenime, bet ir įvairiose srityse, tokiose kaip verslas, medicina, inžinerija, ir kt. Pavyzdžiui, norint įsigyti automobilį, būsimas savininkas pasirenka kriterijus, pagal kuriuos bus patenkinami jo poreikiai. Kaina, degalų sąnaudos ar saugumas yra tik keli pagrindiniai kriterijai renkantis automobilį, tačiau dažniausiai reikia daryti kompromisus norint išsirinkti geriausią variantą. Dažniausiai

kasdienybėje, priimant sprendimus, vertinami kriterijai yra priimami intuicija ir nesiremiant skaičiavimais, tačiau jei problema yra sudėtingesnė, geriau yra taikyti skaičiavimo metodus.

Nors įvairios paprastos sprendimų priėmimų metodikos buvo naudojamos praktikoje jau ilgą laiką, ši sritis buvo pradėta plėtoti tik nuo XX amžiaus vidurio. Pati sąvoka „daugiakriteris vertinimas“ (angl. Multiple-criteria decision-making – MCDM) buvo išpopuliarinta Stenlio Ziontso 1979 m. šmaikščiame straipsnyje, kurio įvade aprašoma trumpa istorija, kurioje vadybininkas, pamatęs trumpinį „MCDM“ autoriaus juodraštyje, supainioja jį su nežinomu romėnišku skaičiumi. Diskusijos metu, vadybininkas, sužinojęs metodikos esmę, išreiškė nuomonę, kad jo darbo esmė ir yra sprendimų priėmimas, tačiau iki šiol mokslininkų atliktas darbas tiriant šią sritį yra sunkiai suprantamas visuomenei, kuriai labai praverstų aiškiai aprašyta metodika.

Taigi, daugiakriteris vertinimas yra susijęs su sudėtingų, daug kriterijų turinčių, sprendimų struktūrizavimu ir priėmimu. Vertinimo tikslas – padėti sprendimų priėmėjams išspręsti tokius uždavinius. Paprastai tokiems uždaviniams nėra vienintelio optimalaus sprendimo, todėl sprendimams atrinkti būtina atsižvelgti į tuos sprendimus priimančių asmenų poreikius (Zionts, 1979).

Nagrinėjant susisiekimo infrastruktūros vystymo problemas galima pastebėti, kad šioje srityje dažnai susiduriama su dideliais kiekiais tikslų ir kriterijų. Dėl šios priežasties, daugiakriterio vertinimo metodų taikymas yra parankus būdas priimti svarbius sprendimus, susijusius su susisiekimo infrastruktūros vystymu. Nustačius nagrinėjamas alternatyvas, formuojama kriterijų sistema. Kriterijų sistema reikalinga, nes dažnu atveju tokiuose sudėtinguose projektuose nagrinėjamas alternatyvas neįmanoma apibrėžti vienu ar keliais kriterijais, tad sprendimus priimantys asmenys turi atsižvelgti į didelį kiekį kriterijų, tokių kaip topografija, ekologija, geologija ir pan. (Song et al., 2021). Po šio žingsnio yra nustatomos kriterijų reikšmės, priskiriamos reikšmingumo vertės. Dažnai šioms vertėms nustatyti remiamasi ekspertų vertinimais. Galiausiai, pasirinktais skaičiavimo metodais nustatoma alternatyvų racionalumas, alternatyvos ranguojamos ir daroma išvada (Keshavarz-Ghorabaee, 2021).

Nėra vieno geriausio daugiakriterio vertinimo metodo uždaviniui spręsti, todėl dažniausiai naudojami keli metodai. Renkantis geriausią alternatyvą sudėtingame projekte, tokiame kaip geležinkelio linijos atrankoje, itin svarbu kuo geriau įvertinti alternatyvas, nes tokių projektų vertė yra didelė, o neapgalvoti sprendimai gali kainuoti labai brangiai. Pagal Vinogradovą (2016), kelių, lygiagrečiai taikomų metodų rezultatus galima sujungti, atsižvelgiant į pačių metodų svarbumą, jei įvertintų alternatyvų rezultatai skiriasi.

Apibendrinant, sudėtinguose projektuose, tokiuose kaip geležinkelio linijos vystymas, sprendimų priėmimas reikalauja daugiakriterio vertinimo metodų taikymo, nes tokie projektai dažnai apima daugybę skirtingų, tarpusavyje prieštaraujančių ir įvairiais matavimo vienetais apibrėžiamų

kriterijų. Nors įvairūs vertinimai buvo atliekami jau nuo seno, modernūs daugiakriteriai vertinimo metodai, populiarinti nuo XX amžiaus vidurio, padeda struktūrizuoti ir optimizuoti sprendimų priėmimo procesą. Siekiant tinkamai įvertinti alternatyvas, būtina nustatyti kriterijų sistemą, jų reikšmes ir reikšmingumo vertes. Nėra vieno universalaus metodo, todėl dažnai taikomi keli metodai, siekiant apjungti rezultatus ir priimti racionaliausią sprendimą, ypač atsižvelgiant į projektų svarbą ir didelę vertę. Kadangi nuo atrinktos geriausios vystymo alternatyvos priklauso viso projekto sėkmė – geležinkelio parametrai, biudžetas, visuomenės poreikiams paimamų žmonių sklypų dydžiai, įtaka gamtai ir galutinė nauda – iš daugelio variantų reikia priimti geriausią sprendimą, kuris turi būti paremiamas skaičiavimais.

1.4. Taikomo daugiakriterio vertinimo metodo pasirinkimas

Daugiakriterio vertinimo tikslas yra iš sprendimo priėmimo proceso pašalinti subjektyvumą ir tai pakeisti aiškią struktūrą turinčiu matematiniu skaičiavimu. Nustačius nagrinėjamas alternatyvas, norint tęsti procesą remiantis matematiniais metodais, reikia formuoti kriterijų sistemą pagal geležinkelio infrastruktūros vystymui aktualius, aiškius ir išmatuojamus kriterijus. Tolesniais žingsniais nustatomi kriterijų svoriai ir atliekama daugiakriterė analizė pagal pasirinktą metodą.

Atrenkant optimalią koncepcijos alternatyvą geležinkelio linijos inžinerinės infrastruktūros vystymui, tam pritaikomas vienas ar keli iš daugelio skaičiavimo metodų. Vis dėlto atliekant daugiakriterį vertinimą, didžiausią iššūkį kelia ne patys skaičiavimo metodai, o kriterijų parinkimas (Triantaphyllou et al., 1998). Dėl to literatūroje gausu konkuruojančių metodų, tačiau viso proceso pagrindu lieka kriterijai. Pati sąvoka „optimali“, atsižvelgiant į praėjusiame skyriuje aprašytų geležinkelio infrastruktūros vystymo alternatyvų kontekstą, reiškia tai, kad iš esmės sudėtinga, net ir remiantis matematiniais metodais, nuspręsti, kas yra „optimali“ alternatyva, nes tai priklauso nuo proceso pradžioje nustatytų kriterijų. Nepaisant paminėtų problemų, yra didelė tikimybė, kad pasirinkto skaičiavimo metodo rezultatai sutampa arba yra arti su kitais metodais gautų rezultatų, todėl praktiniams skaičiavimas dažnai užtenka vieno metodo, o didžiausiam tikslumui galima perskaičiuoti keliais metodais (Phillip et al., 2016).

Per pastaruosius kelis dešimtmečius buvo sukurti, pritaikyti ir naudojami daugybė daugiakriterio vertinimo metodų įvairiose tyrimų srityse. Mokslinėje literatūroje galima rasti virš penkiasdešimties skaičiavimo metodų ir jų vis sukuriama daugiau. Kai metodų tiek daug, ne visi metodai randa platesnį pritaikymą įvairiose tyrimų sferose. Pats skaičiavimo būdo pasirinkimas priklauso nuo metodo tinkamumo konkrečiai problemai spręsti, o taip pat įvairūs metodai turi savų privalumų ir trūkumų (Krstić et al., 2022). Pagal įvairias taikymo sritis (sveikatos apsauga, energetika, inžinerija, švietimas, transportas, finansai), vieni iš žinomiausių ir dažniausiai naudojamų metodų yra AHP (angl. Analytic Hierarchy Process), DEA (angl. Data Envelopment Analysis),

TOPSIS (angl. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), GP (angl. Goal Programming), PROMENTHEE (angl. Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations), SAW (angl. Simple Additive Weighting) ir kt. Galima pastebėti, kad kai kurie tyrėjai vertinimo procesui taiko vieną daugiakriterio vertinimo metodą, o kiti – kelis metodus problemoms spręsti (Taherdoost ir Madanchian, 2023). Taikant metodus praktiškai taip pat svarbu atkreipti dėmesį į metodo sudėtingumą ir suprantamumą.

Lyginant kelis daugiakriterio vertinimo skaičiavimo metodus, vertinant vienodus kriterijus, galima pastebėti, jog rezultatai skiriasi ne itin daug. Pagal 2018 metų AHP, TOPSIS, SAW ir PROMENTHEE palyginimą su eksperto nuomone ranguojant darbuotojų paskirstymą įmonėje pagal iš anksto nustatytus kriterijus, rezultatai, gauti taikant keturis metodus ir lyginant su eksperto rekomendacijomis, buvo gauti labai panašūs. Pagal tyrime apskaičiuotą metodų tikslumą lyginant su ekspertu, buvo nustatytas kiekvieno metodo tikslumo lygis. TOPSIS metodas didžiausią tikslumą (95 %), o toliau iš eilės sekė PROMENTHEE (93,34 %), TOPSIS (81,67 %) ir AHP (50 %) (Widianta et al., 2018). Nepaisant tikslumo lygio skirtumų, šių keturių metodų rezultatai per daug nesiskyrė, o 10 geriausių darbuotojų vertinimas buvo beveik vienodas.

Nagrinėjant transporto sritį, galima pastebėti, kad per pastarąjį dešimtmetį gan daug dėmesio buvo skirta transporto planavimo ir plėtros tyrimams pasitelkiant daugiakriterį vertinimą. Susisiekimo infrastruktūros vystymas yra sudėtingas ir brangus procesas, o vertinimui dažnai reikalingi daugybė kriterijų. Šį vertinimą atlieka projektą vykdančios institucijos ir jose dirbantys ekspertai, tačiau projekto aplinkoje dalyvauja ne tik šios institucijos, bet ir įvairios kitos grupės, tiesiogiai ir netiesiogiai įtakojančios projektą, tokios kaip infrastruktūros naudotojai. Pagal Vulevic (2016), norint užtikrinti tvaresnį, visuomenės poreikius atitinkantį, projektų vystymą, sprendimų priėmimo procese reikia įvertinti ir įtraukti tiesiogiai ar netiesiogiai susijusius projekto aplinkos dalyvius. Vadinasi, tokiems sudėtingiems projektams, kuriuose dažnai nėra vieno optimalaus sprendimo, o vertinimas yra susijęs dideliu kiekiu kriterijų, reikia pasirinkti ir taikyti daugiakriterio skaičiavimo metodą arba metodus.

Pagal 2022 m. atliktą tyrimų apžvalgą apie daugiakriterių metodų naudojimą vertinant miesto ir viešojo transporto sistemas, buvo nustatyta, jog tarp atrinktų 72 straipsnių, išleistų 2017–2022 m. laikotarpiu, įvairioms transporto plėtros problemoms spręsti populiariausi buvo AHP ir TOPSIS metodai. Daug atvejų buvo naudojami hibridiniai skaičiavimo metodai, kuriuose pritaikomi keli skaičiavimo metodai. Verta atkreipti dėmesį, kad pagal straipsnių skaičių šioje srityje pirmauja Turkija, Vengrija ir Kinija, o patys straipsniai buvo iš kelių sričių: socialinių mokslų, inžinerijos, aplinkosaugos, informatikos ir energetikos (Keshavarz-Ghorabaee et al., 2022).

Nors AHP metodas yra vienas populiariausių ir plačiausiai taikomų daugiakriterių metodų, kadangi AHP metode rodiklių reikšmes nustato ekspertai, lygindami rodiklius tarpusavyje ir

įvertindami juos balais, šiame darbe jis nebus naudojamas dėl savo sprendimo principo. Tam tinkamas TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) metodas. Tai vienas iš populiaresnių daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų, sukurtas 1981 m. Hwango, ir Yoono. TOPSIS principas – potencialiai geriausia alternatyva yra mažiausiai nutolusi nuo idealaus sprendimo ir labiausiai nutolusi nuo idealiai neigiamo (blogiausio) sprendinio. TOPSIS pranašumas yra kai kriterijų yra daug, todėl šis metodas gali būti pritaikomas infrastruktūros vystymo srityje, o ypač atrenkant optimalią alternatyvą geležinkelio linijai. Pavyzdžiui, Hamurcu ir Eren (2019) savo straipsnyje pristatė, jog ANP-TOPSIS metodais galima efektyviai atlikti vienbėgio geležinkelio maršrutų alternatyvų Ankaroje daugiakriterį vertinimą. Tyrime, pagal 15 kriterijų, suskirstytų į 4 grupes, buvo vertinamos 8 alternatyvos, kurios atlikus skaičiavimus buvo suranguotos pagal savo racionalumą. TOPSIS metodas taip pat buvo taikomas geležinkelio maršruto Kinijos dykumoje optimizavimo modeliui. Viena iš didelių problemų, su kuria susiduriama tiesiant geležinkelio liniją dykumoje yra vėjo ir smėlio sukeliama žala palei geležinkelio liniją. Racionalus geležinkelio maršrutas yra viena iš pagrindinių priemonių, padedančių išvengti smėlio keliamo pavojaus, sutaupyti išlaidas statybai ir sumažinti žalą aplinkai. Remiantis 18 kriterijų, suskirstytų į 4 grupes, pagal TOPSIS metodiką buvo įvertintas Hotan–Ruoqiang geležinkelio maršrutas, taip parinkant racionalią alternatyvą (Gao et al., 2022).

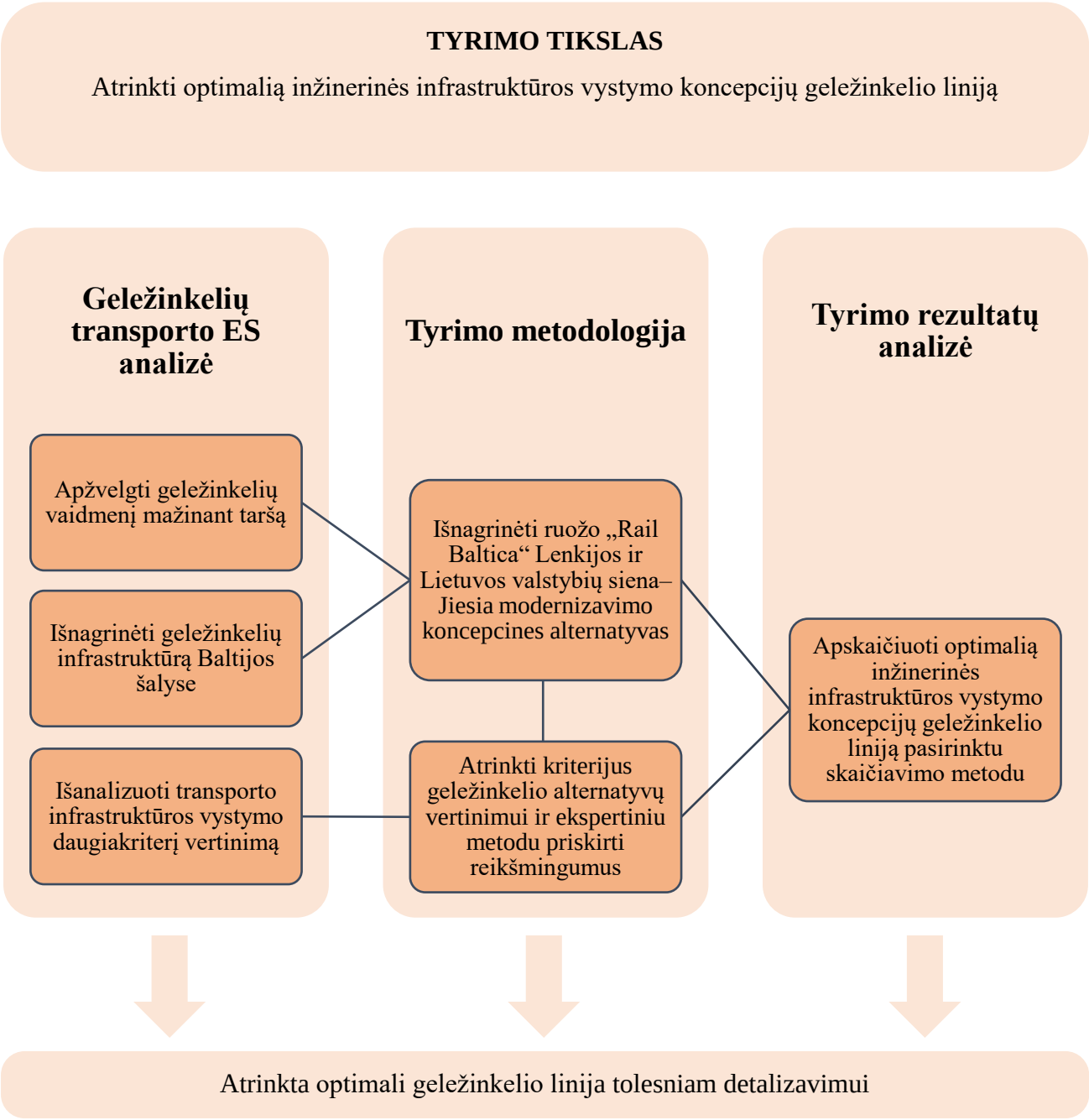
Skaičiavimams patikrinti antru metodu, dėl suprantamumo ir skaičiavimų patogumo, buvo pasirinktas COPRAS (angl. COmplex PRoportional ASsessment) metodas, kurį 1994 m. pristatė Zavadskas, Kaklauskas ir Šarka. Tai daugiakriterio kompleksinio proporcingo įvertinimo metodas, kuriuo alternatyvos sureitinguojamos pagal jų prioritetiškumą ir naudingumo laipsnį. Panašiai kaip ir TOPSIS skaičiavimo metodu, rezultatai priklauso nuo alternatyvas apibūdinančių kriterijų sistemos, kriterijų reikšmingumų ir kriterijus atitinkančių reikšmių dydžių. Šis metodas buvo pritaikytas vertinant faktorius, turinčius įtakos intelektinių transporto sistemų (ITS) plėtrai. Pagal 15 atrinktų kriterijų, pasitelkiant ekspertų, dirbančių ITS srityje vertinimus, COPRAS metodu buvo nustatytos valstybės, kuriose ITS plėtros galimybės yra didžiausios (Neverauskienė et al., 2021).

Taigi, daugiakriterio vertinimo esmė yra pašalinti subjektyvumą iš sprendimo priėmimo proceso ir jį pakeisti matematiniu skaičiavimu, turinčiu aiškią struktūrą. Vis dėlto, parenkant racionalią alternatyvą geležinkelio linijos vystymui, didžiausias iššūkis yra kriterijų parinkimas, o ne skaičiavimo metodai. Dažniausiai praktikoje pakanka vieno metodo, o tikslumui padidinti galima naudoti kelis metodus. Daugiakriterio vertinimo metodų yra daugybė, tačiau populiariausi metodai transporto plėtros problemoms spręst yra AHP ir TOPSIS arba hibridiniai (kelių metodų). Dėl savo tinkamumo nagrinėjamai problemai spręsti naudojamas TOPSIS metodas, o papildomai skaičiavimams patikrinti pasirinktas COPRAS metodas.

2. TYRIMO METODOLOGIJA

2.1. Tyrimo modelis

Siekiant atrinkti optimalią inžinerinės infrastruktūros vystymo koncepcijų geležinkelio liniją, naudojant daugiakriterę analizę, buvo sudarytas tyrimo modelis (4 pav.).



4 pav. Tyrimo modelis

Norint pasiekti užsibrėžtą tikslą, analizuojant literatūros šaltinius ir Europos šalių praktiką, pirmiausia buvo atlikta geležinkelių transporto Europos Sąjungoje vertinimas. Kadangi antžeminis transportas yra antras pagal taršos kiekį sektorius ES, apžvelgiamas geležinkelių vaidmuo mažinant

taršą ES. Nagrinėjama geležinkelių infrastruktūros situacija Baltijos šalyse. Remiantis moksliniais šaltiniais, analizuojamas transporto infrastruktūros vystymas, naudojant daugiakriterį vertinimą siekiant atrinkti optimalią alternatyvą iš kelių galimų variantų.

Atlikus analizę, apžvelgiama tyrimo metodologija. Nagrinėjamos bendrųjų sprendinių formavimo stadijoje parengtos ir atrinktos keturios „Rail Balticos“ ruožo Lenkijos ir Lietuvos valstybių siena–Jiesia modernizavimo koncepcines alternatyvos. Pagal nagrinėjamas alternatyvas formuojama kriterijų sistema. Parinktiems kriterijams reikšmingumai nustatomi ekspertiniu metodu, kai apklausos metu kriterijams priskiriami rangai pagal svarbą.

Pagal parinktą metodologiją atliekamas alternatyvų vertinimas. Naudojant nustatytus kriterijus, pasirinktu skaičiavimo metodu, apskaičiuojama optimali geležinkelio linija pasirinktam „Rail Baltica“ geležinkelio ruožui.

2.2. „Rail Balticos“ ruožo Baltijos šalyse vystymas

Lietuvos Respublikos Seimo 2011-10-11 nutarimu Nr. XI-1612 „Dėl projekto „Rail Baltica“ pripažinimo ypatingos valstybinės svarbos projektu“, šis projektas yra pripažintas ypatingos valstybinės svarbos projektu. Projektas yra transeuropinio transporto tinklo, svarbaus užtikrinant visišką Lietuvos, Latvijos ir Estijos integraciją į bendrą Europos geležinkelių erdvę, dalis ir turi ypatingąjį statusą Europos teritorijoje. Bendras „Rail Balticos“ ilgis trijose Baltijos šalyse yra 870 km, iš jų 392 km Lietuvoje, 265 km Latvijoje ir 213 km Estijoje (5 pav.). Ši „Rail Balticos“ geležinkelio trasa bus elektrifikuota ir turės 1435 mm vėžės pločio dvikelį. Viso projekto darbus koordinuoja 2014 m. įsteigta bendra Lietuvos, Latvijos ir Estijos geležinkelių bendrovė „RB Rail AS“ (LTG Infra, 2022).

5 pav. „Rail Balticos“ schema Baltijos šalyse (Rail Baltica, 2023)

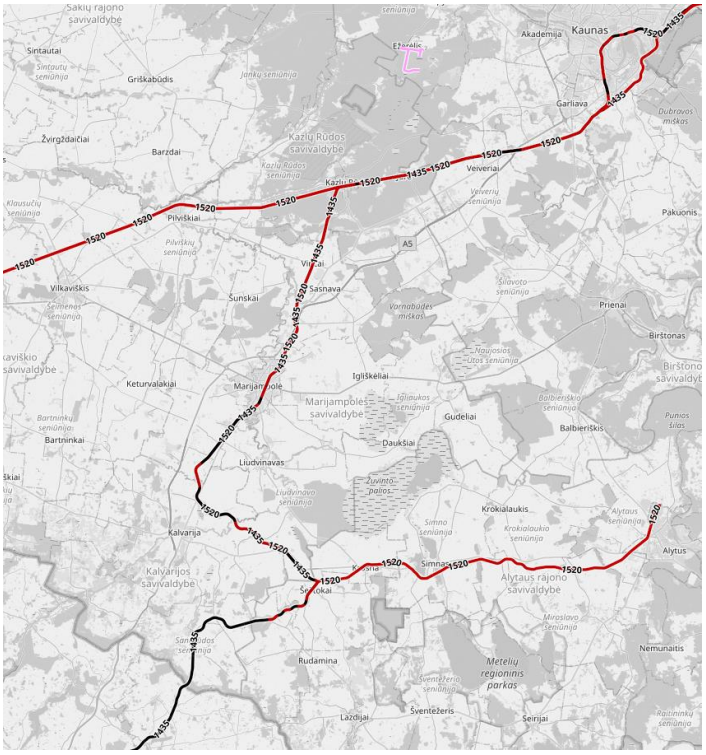
Lietuvoje 1435 mm dvikelis driekiasi nuo Lenkijos ir Lietuvos sienos per Kauną ir Panevėžį iki sienos su Latvija, per Rygą Latvijoje ir Pernu bei Taliną Estijoje. „Rail Balticos“ projektas taip pat apima dvi atskiras atšakas: Lietuvoje nuspręsta nutiesti jungtį Kaunas–Vilnius, o Latvijoje Rygos geležinkelio stotis bus sujungta su Rygos oro uostu. AB „LTG Infra“ yra projekto „Rail Balticos“ vykdytoja Lietuvoje, atsakinga už europinio geležinkelio infrastruktūros statybas šalyje (Rail Baltica, 2023).

2.3. „Rail Balticos“ ruožas Lenkijos ir Lietuvos valstybių siena–Jiesia

Šiame darbe remiamasi informacija iš teritorijų planavimo projekto „Projekto „Rail Baltica“ geležinkelio linijos Lenkijos ir Lietuvos valstybių siena–Jiesia modernizavimo susisiekimo komunikacijų inžinerinės infrastruktūros vystymo planas“ (toliau – Projektas) koncepcijos. Projekto rengėjai – jungtinės veiklos partneriai UAB „Sweco Lietuva“ ir DB „Engineering & Consulting GmbH“.

Duomenys yra naudojami su Projekto rengėjų sutikimu ir didžioji dalis yra viešai prieinami atsakingojo partnerio UAB „Sweco Lietuva“ svetainėje, Susisiekimo ministerijos interneto svetainėje ir Lietuvos Respublikos teritorijų planavimo dokumentų rengimo ir teritorijų planavimo proceso valstybinės priežiūros informacinės sistemos (TPDRIS) sistemoje.

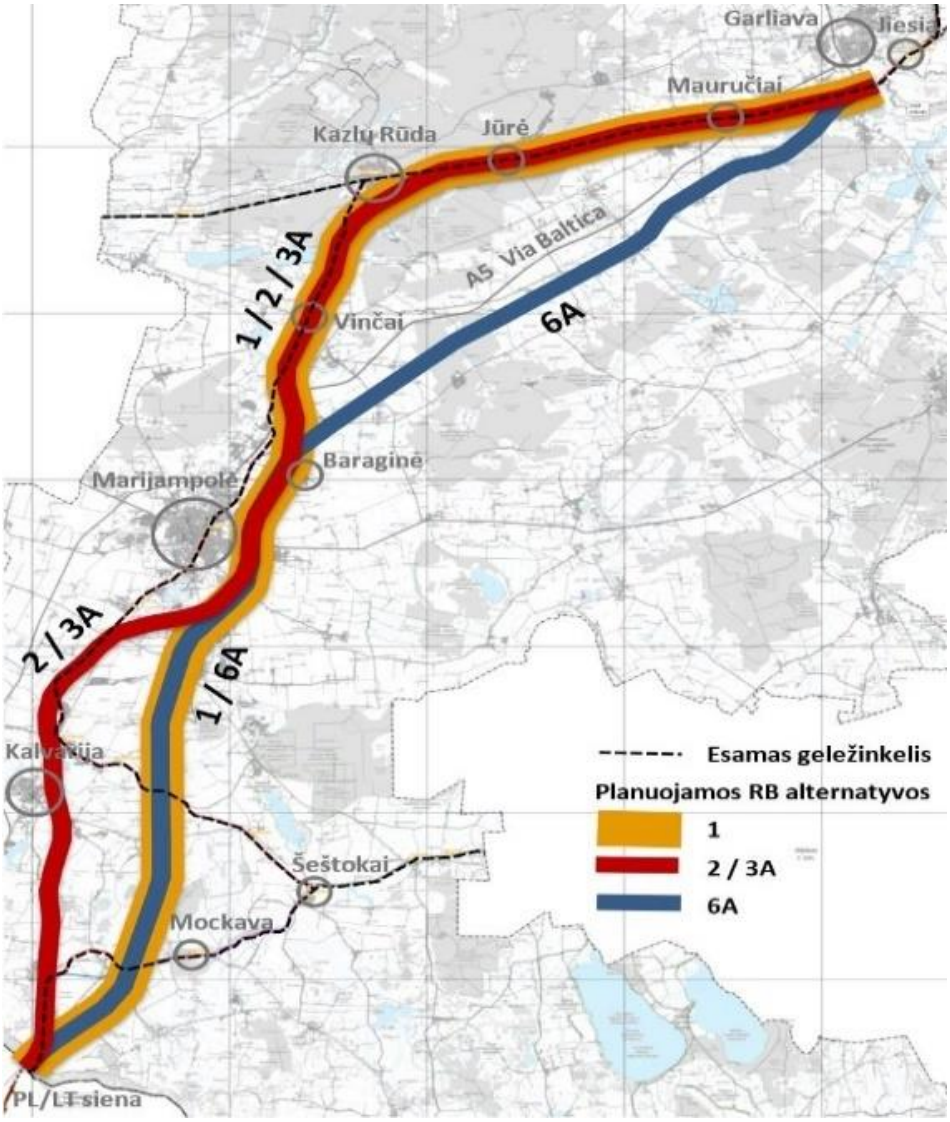
Pirmasis „Rail Balticos“ projekto etapas buvo įgyvendintas 2015 m. – nuo Lenkijos–Lietuvos sienos iki Kauno geležinkelio mazgo buvo nutiesta 123 km 1435 mm standarto vėžė, kuria šiuo metu kursuoja keleiviniai traukiniai. Nuo Mockavos geležinkelio stoties iki Kauno geležinkelio mazgo yra eksploatuojami 1520 mm vėžės geležinkeliai (6 pav.). RB projekto geležinkelio linijos Lenkijos ir Lietuvos valstybių siena–Jiesia modernizavimo susisiekimo komunikacijų inžinerinės infrastruktūros vystymo planas rengiamas siekiant modernizuoti RB vėžę nuo Jiesios iki Lenkijos, kad keleiviniai traukiniai galėtų išvystyti projektinį greitį iki 249 km/h (prekiniai – 120 km/h), pagal europinės vėžės geležinkelio reikalavimus. Dvikeliu taip pat naudosis krovininiai traukiniai.



6 pav. Esami geležinkelio keliai ruože Lenkijos ir Lietuvos valstybių siena–Kaunas (OpenRailwayMap, 2024)

Šiam modernizavimui buvo rengiamos ne mažiau kaip keturios koncepcinės alternatyvos, neskaitant anksčiau rengtų modernizavimo studijų kitais projektais, siekiant modernizuoti ruožą Lenkijos ir Lietuvos valstybių siena–Kaunas–Palemonas su 1435 mm geležinkelio vėže. Pagal projekto reikalavimus turi būti numatyti prijungimai prie Šeštokų krovinių terminalo, Marijampolės ir Kazlų Rūdos regioninių stočių, taip pat ir nauja pasienio ir tarpinės (aplankos) stotys.

Pagal teritorijų planavimo projekto „Projekto „Rail Baltica“ geležinkelio linijos Lenkijos ir Lietuvos valstybių siena–Jiesia modernizavimo susisiekimo komunikacijų inžinerinės infrastruktūros vystymo planas“ koncepciją, bendrųjų sprendinių formavimo stadijoje, parengtos ir toliau nagrinėjamos keturios atrinktos alternatyvos (7 pav.). Šių alternatyvų pagrindas – ankščiau vykdyta modernizavimo studija, kurios duomenys toliau buvo apdorojami siekiant atrinkti optimalią alternatyvą. Alternatyvų pradžia – su Lenkija suderintas koridorius su tiksliomis susijungimo koordinatėmis, o pabaiga – netoli Jiesios esantis sujungimo taškas. Koncepcinės alternatyvos: 1, 2, 3A ir 6A. Jos projektuotos remiantis Rail Baltica projektavimo gairėmis (angl. Design Guidelines).



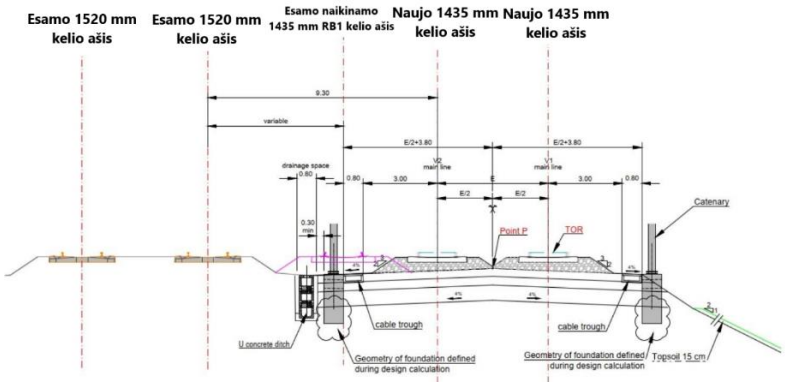
7 pav. Bendra alternatyvų schema (koncepcijos dokumentų grafinė dalis)

2.3.1. Alternatyva 1

Alternatyva 1 yra 83,5 km ilgio (pagrindinės linijos ilgis) ir prasideda nuo Lietuvos ir Lenkijos valstybių sienos, kur jungiasi su projektuojamu 1435 mm vėžes dvikeliu Lenkijoje. Projektuojamas naujas elektrifikuotas 1435 mm pločio vėžės dvikelis. Pagrindinė linija planuojama tiesti į šiaurės rytus nuo sienos, prie Mockavos privažiavimas yra iš vakarų. Toliau alternatyva planuojama į šiaurę, į Marijampolę, aplenkiant iš rytų. Šiauriau Marijampolės alternatyva planuojama prie Baraginės iš vakarų, prie Vinčų priartėja prie esamo geležinkelio, prie Kazlų Rūdos iš pietryčių, per Jūrę, per Mauručius, prie Garliavos iš pietų. Už Marijampolės, ruože Vinčai–Kazlų Rūda–Jiesia, naujas 1435 mm geležinkelio dvikelis planuojamas šalia naudojama esamo 1435 mm geležinkelio (RB1), kuris nebus rekonstruojamas ir bus toliau eksploatuojamas. Iš viso ruože lieka du esami 1520 mm keliai, vienas 1435 mm kelias ir du naujai projektuojami 1435 mm keliai. Planuojamos jungtys su Šeštokais, Marijampole, Kazlų Rūda, taip pat planuojamos naujos stotys (pasienio ir Marijampolės) bei terminalai (Šeštokų ir Kazlų Rūdos).

2.3.2. Alternatyva 2

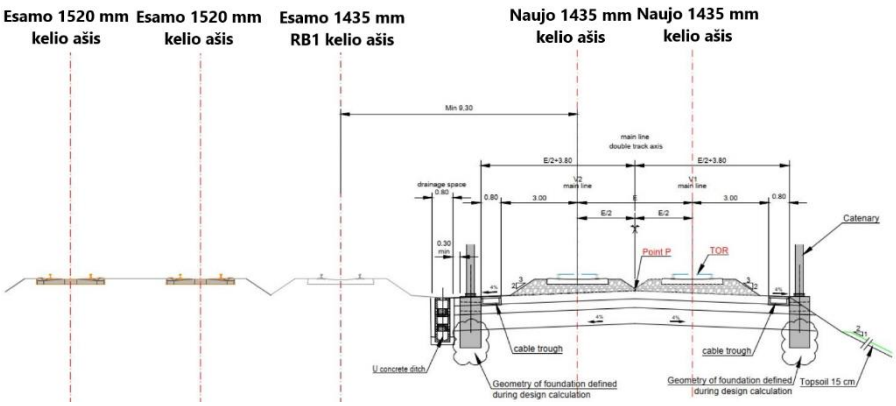
Alternatyva 2 yra 85,7 km ilgio (pagrindinės linijos ilgis) ir prasideda nuo Lietuvos ir Lenkijos valstybių sienos, kur jungiasi su projektuojamu 1435 mm vėžes dvikeliu Lenkijoje. Projektuojamas naujas elektrifikuotas 1435 mm pločio vėžės dvikelis. Pagrindinė linija planuojama tiesiai į šiaurę, link Kalvarijos, aplenkiant iš rytų. Prie Mockavos privažiavimas yra iš vakarų, tik ilgesnis, palyginus su 1 ir 6A alternatyvomis. Toliau alternatyva driekiasi į šiaurę, į Marijampolę, aplenkiant iš rytų. Šiauriau Marijampolės alternatyva planuojama prie Baraginės iš vakarų, prieš Vinčus grįžta į esamo geležinkelio koridorių, ir aplenkia Kazlų Rūdą iš pietryčių, per Jūrę, per Mauručius, lenkia Garliavą iš pietų. Naujo šios alternatyvos 1435 mm geležinkelio dvikelio tiesimui planuojama esamo 1435 mm geležinkelio (RB1) rekonstrukcija ruože Vinčai–Kazlų Rūda–Jiesia (8 pav.). Iš viso ruože lieka du esami 1520 mm keliai ir du naujai projektuojami 1435 mm keliai. Planuojamos tos pačios jungtys, taip pat ir tos pačios naujos stotys bei terminalai.



8 pav. Alternatyvos 2 skerspjūvio schema (šiauriau Marijampolės)

2.3.3. Alternatyva 3A

Alternatyva 3A yra tokio pat (85,7 km) ilgio, kaip ir 2 (pagrindinės linijos ilgis), ir prasideda nuo Lietuvos ir Lenkijos valstybių sienos, kur jungiasi su projektuojamu 1435 mm vėžes dvikeliu Lenkijoje. Projektuojamas naujas elektrifikuotas 1435 mm pločio vėžės dvikelis. Pagrindinė linija planuojama tiesiai į šiaurę, link Kalvarijos, aplenkiant iš rytų. Prie Mockavos privažiavimas yra iš vakarų, tik ilgesnis. Toliau alternatyva driekiasi į šiaurę, į Marijampolę, aplenkiant iš rytų. Šiauriau Marijampolės alternatyva planuojama prie Baraginės iš vakarų, prieš Vinčus grįžta prie esamo geležinkelio, ir aplenkia Kazlų Rūdą iš pietryčių, per Jūrę, per Mauručius, lenkia Garliavą iš pietų. Už Marijampolės, ruože Vinčai–Kazlų Rūda–Jiesia, 3A naujas 1435 mm geležinkelio dvikelis planuojamas šalia naudojama esamo 1435 mm geležinkelio (RB1) (9 pav.), kuris nebus rekonstruojamas ir bus toliau eksploatuojamas. Iš viso ruože lieka du esami 1520 mm keliai, vienas 1435 mm kelias ir du naujai projektuojami 1435 mm keliai. Planuojamos tos pačios jungtys, taip pat ir tos pačios naujos stotys bei terminalai.



9 pav. Alternatyvos 3A skerspjūvio schema (šiauriau Marijampolės)

2.3.4. Alternatyva 6A

Alternatyva 6A yra 78,1 km ilgio (pagrindinės linijos ilgis) ir prasideda nuo Lietuvos ir Lenkijos valstybių sienos, kur jungiasi su projektuojamu 1435 mm vėžes dvikeliu Lenkijoje. Projektuojamas naujas elektrifikuotas 1435 mm pločio vėžės dvikelis. Pagrindinė linija planuojama tiesti į šiaurės rytus nuo sienos, prie Mockavos privažiavimas yra iš vakarų. Toliau alternatyva planuojama į šiaurę, į Marijampolę, aplenkiant iš rytų. Šiauriau Marijampolės alternatyva planuojama prie Baraginės iš vakarų, o toliau planuojama naujomis teritorijomis į šiaurės rytus, Garliavos link, aplenkiant iš pietų. Netoli Jiesios geležinkelio stoties planuojama RB geležinkelio trasa grįžta prie esamo geležinkelio. Planuojamos jungtys su Šeštokais ir Marijampole, taip pat planuojamos naujos stotys (pasienio ir Marijampolės) bei terminalai (Šeštokų ir Kazlų Rūdos).

2.4. Geležinkelio infrastruktūros vertinimo kriterijai

Optimalios alternatyvos pasirinkimui iš atrinktų keturių koncepcinių alternatyvų sudaromas kriterijų sąrašas, nuo kurio priklauso parinkimo skaičiavimų kokybė ir galutinio sprendimo objektyvumas. Svarbu tinkamai atrinkti kriterijus, kurių pagrindu bus atliekama koncepcinių alternatyvų analizė.

Vykdant geležinkelio vystymo projektą, vertinimo kriterijai turi apimti įvairius aspektus, tokius kaip (Stoilova et al., 2020):

- Geležinkelių techninius parametrus – trasos ilgį, didžiausią techninį greitį, geometrijos įvertinimą, žemės sankasą, viršutinę kelio konstrukciją ir pan.;
- Signalizacijos sistemas – kontrolės sistemų diegimą (pvz. ERTMS), skirtas valdyti traukinių eismą, didinančias saugą ir eismo pajėgumą;
- Techninės priežiūros priemones – depai ir patogi prieiga prie geležinkelio techninei priežiūrai padeda sumažinti eismo pertraukas ir užtikrinti geležinkelių ilgaamžiškumą;
- Stočių infrastruktūrą – gerai suprojektuotos ir prižiūrimos stotys pritraukia keleivių, užtikrina sklandų ir veiksmingą keleivių ir krovinių vežimą;
- Geležinkelių statinius – geležinkelių infrastruktūros komponentai leidžiantys geležinkeliui kirsti natūralias ir dirbtines kliūtis arba leidžiantys šioms kliūtims kirsti geležinkelį;
- Finansus – alternatyvos įgyvendinimo kaina, ekonominis efektyvumas, įskaitant veiklos ir priežiūros sąnaudas, lyginant su pajamomis;
- Poveikį aplinkai – geležinkelių nauda mažinant CO_2 emisijas, bendras poveikis gamtinei aplinkai ir pan.;
- Socialinį poveikį – apima tiesioginį ir netiesioginį poveikį visuomenei, įskaitant ir gyventojus, patenkančius į planuojamą geležinkelio trasą.

Pagrindinis Projekto tikslas yra modernizuoti esamą geležinkelio koridorių (1520 mm ir 1435 mm keliai) nuo Lenkijos ir Lietuvos valstybių sienų iki Jiesios, kad keleiviniai traukiniai galėtų išvystyti iki 249 km/h projektinį greitį pagal europinės vėžės geležinkelio reikalavimus ir „Rail Balticos“ projektavimo gaires. Sprendiniai projektuojami taip, kad atitiktų keliamus parametrus, atsižvelgiant į geometrinių parametrų apribojimus horizontaliam ir vertikaliam trasavimui. Šiuo atžvilgiu, vieni iš svarbiausių vertinimo kriterijų yra traukinio kelionės trukmė ir geležinkelio trasos ilgis, nes dabartinė kelionė Kaunas–Varšuva užtrunka apie 8 val. su persėdimu Mockavoje. Apribojimai horizontaliam ir vertikaliam trasavimui, turintys įtakos greičiui, aprašyti „Rail Balticos“ projektavimo gairėse ir išreiškiami horizontaliosiomis ir vertikaliosiomis kreivėmis (ilgiais ir spinduliais), nuolydžiais, posvyriais (išorinio bėgio pakylos ir aukščiai) bei šių elementų tarpusavio suderinamumo. Nagrinėjant teritorijų planavimo projektą, nuo šių parametrų priklauso visuomenės

poreikiams išperkamų sklypų plotai, nes kuo didesnis projektinis greitis, tuo daugiau įtakos turi trasos geometriniai parametrai. Pagal techninius aspektus taip pat reikia įvertinti eismo valdymo organizavimą, geležinkelio kelių pralaidumą, infrastruktūros valdymo klausimus (pvz. stočių, prasilenkimo punktų, iešmų ir dispečerinių sąvažų skaičiai ir išdėstymai). Kitais techniniais aspektais, kaip pavyzdžiui geležinkelio statinių atžvilgiu, vertinamos įvairios sankirtos su projektuojamais geležinkeliais, tokios kaip su esamais geležinkeliais, automobilių keliais ir gatvėmis, vandens telkiniais, inžineriniais tinklais ir pan.

Pagal finansinius kriterijus, vienas iš svarbiausių yra alternatyvos įgyvendinimo kaina, kuri apima visas investicijas, reikalingas geležinkelio infrastruktūros objektams ir statiniams. Kadangi nagrinėjamas projektas yra teritorijų planavimo, kurio metu nustatomos konkrečios teritorijos, žemės sklypai ir jų dalys, per kuriuos planuojama linija, didelę įtaką ne tik finansiniais, bet ir socialiniais aspektais turi visuomenės poreikiams išperkami žemės sklypai ir gyvenamieji bei visuomeninai pastatai. Reikia atkreipti dėmesį, jog priklausomai nuo alternatyvų, kai kurios dalys yra trasuojamos toliau nuo tankiau apgyvendintų vietovių, o kitos – arčiau, todėl reikia įvertinti ne tik finansinius (vertė) ir socialinius klausimus, bet ir atsižvelgti į plotus ir paimamų pastatų kiekius (pvz. 2 ar 3A alternatyvos atveju žemės sklypų kainos didesnės, nes yra šalia tankiau apgyvendintų vietovių, bet turi mažesnius plotus, o 6A yra trasuojama per atvirus laukus, kurie palyginti turi mažesnę vertę ir didesnius plotus). Analogiškai, reikia įvertinti ne tik geležinkelio statinių kiekius, bet ir kainas, kurios priklauso nuo susikirtimų sudėtingumo.

Poveikiui aplinkai įvertinti reikia atsižvelgti į įtaką šiems aspektams: kraštovaizdžiui, gyvūnijai, saugomoms teritorijoms ir vertybėms, nekilnojamojo kultūros paveldo objektams ir teritorijoms. Geležinkeliai turi didelę įtaką kraštovaizdžiui ir reljefui – formuojamos sankasos ar iškasos, kertami miškai, vandens telkiniai, slėniai ir kiti gamtiniai elementai. Įtaka gyvūnijai (faunai) taip pat didelė – daromas poveikis migracijai, geležinkelis kerta buveines ir trikdo natūralią tvarką.

Pagal techninių sprendimų įgyvendinamumą ir tvarumo principus (ekonominiai, socialiniai ir aplinkosauginiai aspektai) projekte atrinkti šie kriterijai:

1. Traukinio kelionės trukmė – keleivinio traukinio kelionės laikas pagrindine linija;
2. Geležinkelio trasos bendras ilgis – pagrindinių kelių ir regioninių jungčių kelių ilgiai;
3. Alternatyvos įgyvendinimo kaina – investicijos, reikalingos geležinkelio infrastruktūros objektams ir statiniams;
4. Visuomenės poreikiams išperkamų žemės sklypų plotas;
5. Visuomenės poreikiams išperkamų žemės sklypų vertė;
6. Visuomenės poreikiams išperkamų gyvenamųjų bei visuomeninių pastatų kiekis;
7. Visuomenės poreikiams išperkamų gyvenamųjų bei visuomeninių pastatų vertė;
8. Saugiai gyvūnų migracijai skirtų praginų, žaliųjų tiltų vertė;

9. Vibracijos ir triukšmo taršos mažinimo priemonių vertė;
10. Visuomenės poreikiams išperkamų miškų plotai;
11. Visuomenės poreikiams išperkamų miškų vertė;
12. Geležinkelio kelių pralaidumas – maksimalus mišraus traukinių eismo (keleivinio ir prekinio) pralaidumas maršrute;
13. Eksploataciniai kaštai – infrastruktūros priežiūros bei infrastruktūros atnaujinimo kaštai per projekto laikotarpį;
14. Infrastruktūros valdymo paprastumas – infrastruktūros priežiūros patogumas, įvertintas pagal stočių ir jų kelių, aplankų, iešmų ir dispečerinių sąvažų skaičių bei jų išdėstymą;
15. Eismo valdymo organizavimas – susikertančių maršrutų viename lygyje skaičius, eismo valdymo priemonių poreikis ir jų išdėstymas;
16. Susikirtimų su esamais geležinkeliais kiekis – susikirtimų su esamais 1435 mm ir 1520 mm geležinkeliais kiekis;
17. Susikirtimų su esamais geležinkeliais vertė – susikirtimų su esamais 1435 mm ir 1520 mm geležinkeliais vertė;
18. Automobilių kelių ir gatvių sankirtų su geležinkeliais kiekis;
19. Automobilių kelių ir gatvių sankirtų su geležinkeliais vertė;
20. Inžinerinių tinklų sankirtų su geležinkeliais kiekis (LITGRID, Amber Grid ir kt.);
21. Inžinerinių tinklų sankirtų su geležinkeliais vertė (LITGRID, Amber Grid ir kt.);
22. Susikirtimų su paviršinio vandens telkiniais kiekis (upėmis, ežerais, kanalais);
23. Susikirtimų su paviršinio vandens telkiniais vertė (upėmis, ežerais, kanalais);
24. Automobilių tunelių kiekis;
25. Automobilių tunelių vertė;
26. Įtaka kraštovaizdžiui – poveikis kraštovaizdžiui, gamtiniam karkasui ir reljefui;
27. Įtaka saugomoms teritorijoms ir vertybėms;
28. Įtaka gyvūnijai (faunai) – poveikio gyvūnijos migracijai, kitų veiksnių (nerštaviečių, kt.) apribojimas bei neigiamo poveikio mažinimo priemonių taikymo galimybės;
29. Pasekmės nekilnojamojo kultūros paveldo objektams ir teritorijoms – poveikis nekilnojamo kultūros paveldo objektams ir teritorijoms bei neigiamo poveikio mažinimo priemonių taikymo galimybės.

Norint atlikti tvarų geležinkelio inžinerinės infrastruktūros modernizavimą, reikia, kad alternatyvos būtų ne tik įmanomos technologiškai, bet ir racionalios ekonominiu, socialiniu, bei aplinkosauginiu požiūriu. Pasirinktos alternatyvos turi turėti mažiausias neigiamas pasekmes gamtinei, socialinei bei ekonominei aplinkai.

2.5. Vertinimo kriterijų reikšmingumo nustatymas ekspertiniu metodu

Ekspertų apklausa – tai tyrimo metodas, taikomas siekiant surinkti specializuotas žinias ir nuomones iš asmenų, kurie yra pripažinti tam tikros srities ar sferos ekspertais. Ekspertai geba apibendrinti daugybę informacijos šaltinių, kad pateiktų pagrįstus sprendimus apie konkrečius rodiklius. Šis metodas taikomas siekiant gauti išsamią ir kokybišką informaciją apie sudėtingus klausimus, kai ekspertinis vertinimas yra labai svarbus priimant sprendimus ar sprendžiant problemas (Maestas, 2016).

Siekiant įvertinti kriterijų svarbą, juos įvertino 25 ekspertai, dirbantys statybų srityje ir turintys patirties, susijusios su susisiekimo infrastruktūra. Apklausa buvo vykdoma anketiniu metodu, kreipiantis į ekspertus per el. paštą su paaiškinimu, kuriame pateikiama būtina informacija apie apklausą, ir prašymu užpildyti anketą per tam skirtą internetinę svetainę (manoapklausa.lt). Anketoje internetinėje svetainėje pateiktas trumpas aprašymas, bendri klausimai respondentą (išsilavinimas, profesija, darbo sritis ir patirtis) ir dvi rangų eilių vertinimo skalės su pildymo instrukcija, skirtos įvertinti atrinktus kriterijus. Apklausa buvo vykdoma lietuvių ir anglų kalbomis. Apklaustų respondentų įmonė, akademinis laipsnis, profesija, darbo sritis ir patirtis nurodyti 2 lentelėje.

2 lentelė. Respondentų duomenys

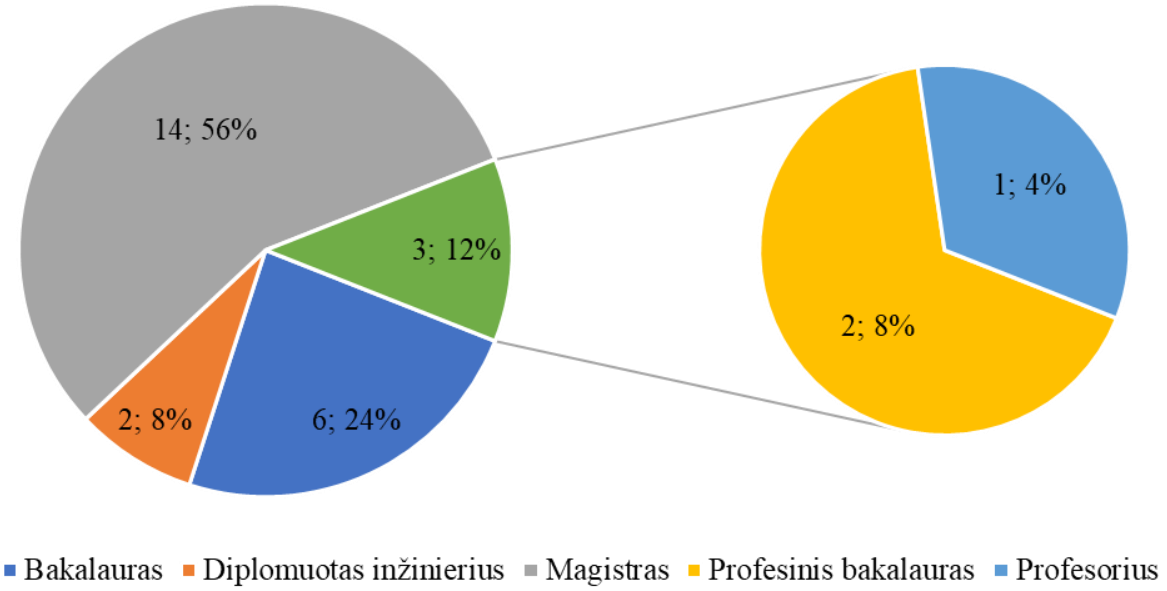
Eil. Nr.	Įmonė	Akademinis laipsnis	Profesija	Darbo sritis	Darbo patirtis
1.	DB „Engineering & Consulting GmbH“ filialas Vilnius	Magistras	Projektuotojas, inžinierius, projektų vadovas, specialistas	Universitetas, projektavimas	21 m. ir daugiau
2.	UAB „Sweco Lietuva“	Magistras	Specialistas	Projektavimas	16–20 m.
3.	UAB „ID Vilnius“	Magistras	Architektas	Projektavimas	21 m. ir daugiau
4.	UAB „ID Vilnius“	Bakalauras	Projektuotojas	Projektavimas	21 m. ir daugiau
5.	DB „Engineering & Consulting GmbH“ filialas Vilnius	Magistras	Inžinierius, projektų vadovas	Projektavimas	11–15 m.
6.	UAB „Sweco Lietuva“	Magistras	Inžinierius	Paslaugos	1–5 m.
7.	UAB „Sweco Lietuva“	Magistras	Projektuotojas	Projektavimas	6–10 m.
8.	UAB „Sweco Lietuva“	Bakalauras	Inžinierius, BIM koordinatorius	Projektavimas	6–10 m.
9.	UAB „Sweco Lietuva“	Magistras	Specialistas	Projektavimas	1–5 m.

2 lentelės pabaiga

Eil. Nr.	Įmonė	Akademinis laipsnis	Profesija	Darbo sritis	Darbo patirtis
10.	UAB „Sweco Lietuva“	Magistras	Inžinierius	Projektavimas, statyba	6–10 m.
11.	UAB „Sweco Lietuva“	Bakalauras	Inžinierius, projektų vadovas, skyriaus vadovas	Projektavimas	21 m. ir daugiau
12.	UAB „Sweco Lietuva“	Magistras	Projektų vadovas	Projektavimas, statyba	16–20 m.
13.	UAB „Sweco Lietuva“	Magistras	Inžinierius	Projektavimas	6–10 m.
14.	UAB „Sweco Lietuva“	Diplomuotas inžinierius	Inžinierius	Projektavimas	21 m. ir daugiau
15.	UAB „Sweco Lietuva“	Magistras	Inžinierius	Projektavimas	6–10 m.
16.	UAB „Sweco Lietuva“	Magistras	Projektuotojas, inžinierius	Projektavimas	6–10 m.
17.	UAB „Grinda“	Diplomuotas inžinierius	Projektų vadovas	Statyba	21 m. ir daugiau
18.	Vilniaus Gedimino technikos universitetas	Profesorius	Mokslo darbuotojas	Universitetas	21 m. ir daugiau
19.	DB „Engineering & Consulting GmbH“ filialas Latvija	Bakalauras	Projektų vadovas	Projektavimas	11–15 m.
20.	DB „Engineering & Consulting GmbH“ filialas Latvija	Profesinis bakalauras	Inžinierius	Finansai	16–20 m.
21.	DB „Engineering & Consulting GmbH“ filialas Latvija	Bakalauras	Inžinierius	Statyba	21 m. ir daugiau
22.	DB „Engineering & Consulting GmbH“ filialas Latvija	Magistras	Inžinierius	Statyba	16–20 m.
23.	DB „Engineering & Consulting GmbH“ filialas Latvija	Magistras	Kokybės vadovas	Statyba	21 m. ir daugiau
24.	DB „Engineering & Consulting GmbH“ filialas Latvija	Profesinis bakalauras	Inžinierius	Statyba	11–15 m.
25.	DB „Engineering & Consulting GmbH“ filialas Latvija	Bakalauras	Architektas, projektų vadovas	Projektavimas, statyba, vadyba	1–5 m.

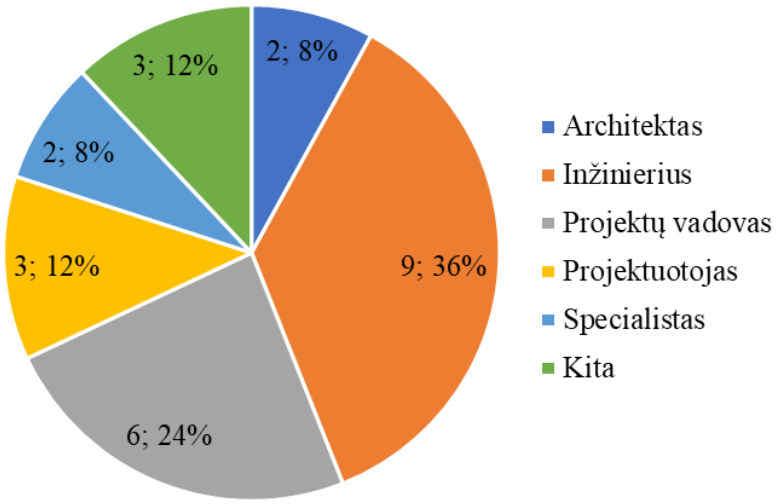
Apklausoje dalyvavo 12 darbuotojų iš UAB „Sweco Lietuva“, 9 darbuotojai iš DB „Engineering & Consulting GmbH“ filialų Lietuvoje (2) ir Latvijoje (7), 2 darbuotojai iš UAB „ID Vilnius“, 1 darbuotojas iš UAB „Grinda“ ir 1 darbuotojas iš Vilniaus Gedimino technikos universiteto.

Iš apklaustų respondentų, magistro išsilavinimą turi 56 %, bakalauro – 24 %, o likusios išsilavinimo rūšys sudaro 20 % (10 pav.).



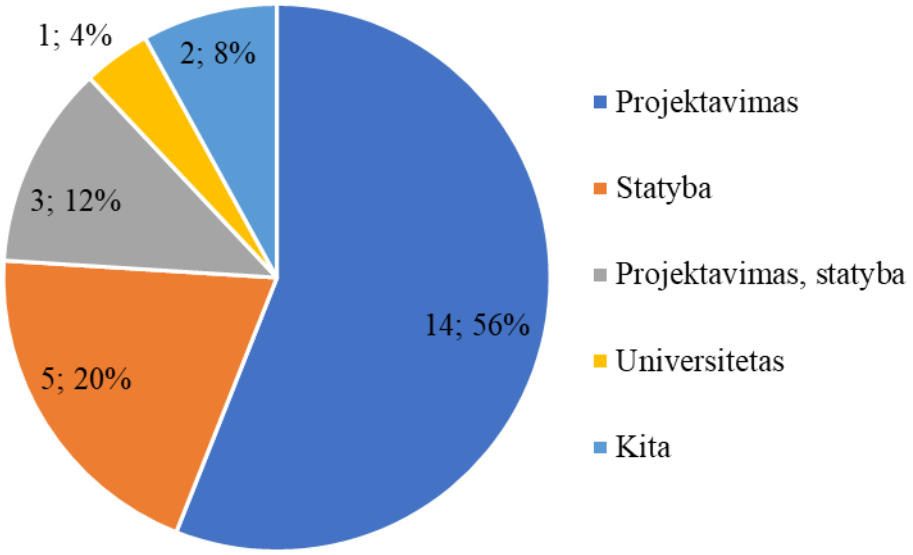
10 pav. Apklaustų respondentų akademiniai laipsniai

Pagal profesiją, daugiausiai apklaustųjų respondentų dirba inžinieriais – 36 %. 24 % apklaustųjų yra projektų vadovai. Likusieji respondentai dirba projektuotojais – 12 %, architektais ir specialistais – po 8 % apklaustųjų. Kitos profesijos sudaro 12 % (11 pav.).



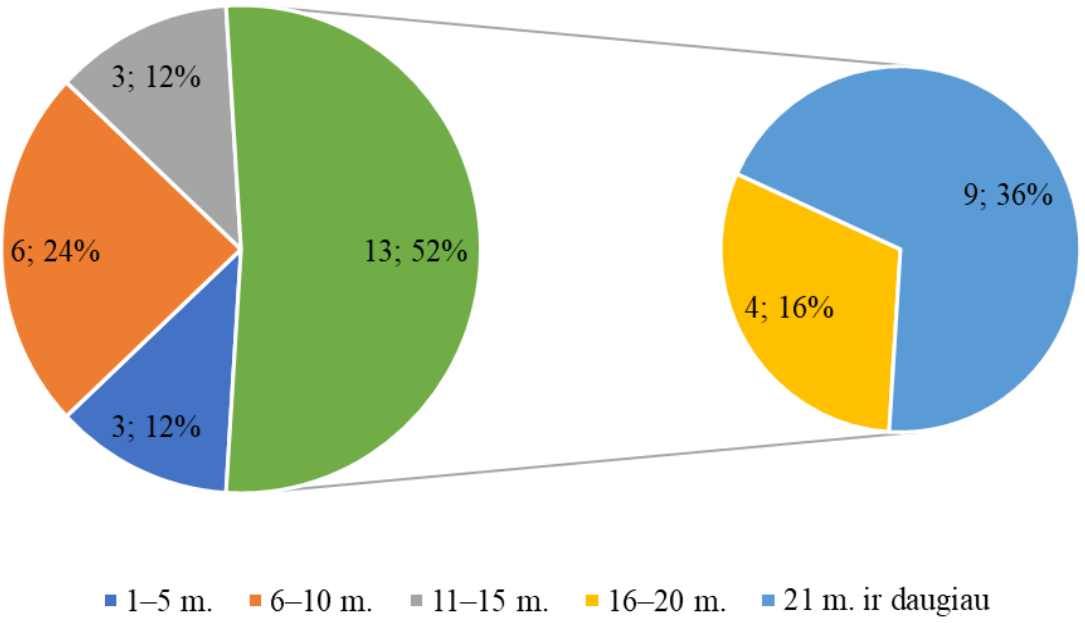
11 pav. Apklaustų respondentų profesijos

Darbo srities atžvilgiu didžioji dalis apklaustųjų (56 %) dirba projektavime. Antra pagal dydį sritis – statyba, kurioje dirba 20 % respondentų. Projektavime ir statyboje dirba 12 % respondentų, kitose srityse – 8 %. Vienas apklaustasis dirba universitete (12 pav.).



12 pav. Apklaustų respondentų darbo sritis

Galima pastebėti, kad respondentai išsiskiria ilgamete darbo patirtimi – šiek tiek daugiau nei pusė (52 %) jų yra savo srities specialistais daugiau nei 16 metų. 16 % apklaustųjų turi 16–20 m. patirtį, o 36 % turi 21 m. ir didesnę patirtį. 24 % turi 6–10 m. patirtį, 11–15 m. ir 1–5 m. patirtį turi po 12 % apklaustųjų (13 pav.).



13 pav. Apklaustų respondentų darbo patirtis

Po bendrųjų klausimų apie respondentą, anketoje buvo pateiktos dvi rangų eilių vertinimo skalės su pildymo instrukcija. Kriterijų reikšmingumas nustatomas rangų vertinimo principu: svarbiausiam kriterijui, priklausomai nuo kriterijų skaičiaus, skiriamas aukščiausias balas, o mažiausiai svarbiam – 1 balas. Kadangi kriterijų yra daug, kriterijai suskirstomi į dvi grupes, priklausomai nuo to, kuriems projekto aplinkos dalyviams jie turi įtakos. Šios grupės yra:

- Naudos gavėjai – valstybė, kurioje vykdomas projektas, jos gyventojai, verslas ir transporto sektorius.
- Įgyvendinančiosios institucijos – už projekto įgyvendinimą atsakingos institucijos.

Ekspertų pateiktų balų sumos ir kriterijų reikšmingumai yra nurodyti 3 ir 4 lentelėse.

3 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų apklausos rezultatai

Eil. Nr.	**Naudos gavėjams įtakos turintys kriterijai**	**Mato vnt.**	**Suma**	**Reikšmin-gumas, q_i**
1.	Traukinio kelionės trukmė	min.	263	0,1594
2.	Geležinkelio trasos bendras ilgis	km	238	0,1442
3.	Alternatyvos įgyvendinimo kaina	Eur	246	0,1491
4.	Visuomenės poreikiams išperkamų žemės sklypų plotas	ha	58	0,0352
5.	Visuomenės poreikiams išperkamų žemės sklypų vertė	Eur	125	0,0758
6.	Visuomenės poreikiams išperkamų gyvenamųjų bei visuomeninių pastatų kiekis	vnt.	177	0,1073
7.	Visuomenės poreikiams išperkamų gyvenamųjų bei visuomeninių pastatų vertė	Eur	127	0,0770
8.	Saugiai gyvūnų migracijai skirtų gyvūnų praginų, žaliųjų tiltų vertė	Eur	100	0,0606
9.	Vibracijos ir triukšmo taršos mažinimo priemonių vertė	Eur	159	0,0964
10.	Visuomenės poreikiams išperkamų miškų plotai	ha	98	0,0594
11.	Visuomenės poreikiams išperkamų miškų vertė	Eur	59	0,0358
		Suma:	1650	1

Pagal ekspertų vertinimą, svarbiausi naudos gavėjams priskirti kriterijai yra traukinio kelionės trukmė, alternatyvos įgyvendinimo kaina ir geležinkelio trasos bendras ilgis. Mažiausiai svarbūs yra visuomenės poreikiams išperkamų žemės sklypų plotai, visuomenės poreikiams išperkamų miškų vertės ir jų plotai.

4 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų apklausos rezultatai

Eil. Nr.	**Įgyvendinančioms institucijoms įtakos turintys kriterijai**	**Mato vnt.**	**Suma**	**Reikšmingumas, q_i**
1.	Geležinkelio kelių pralaidumas	balai	426	0,0996
2.	Eksploataciniai kaštai	Eur	434	0,1015
3.	Infrastruktūros valdymo sudėtingumas	balai	370	0,0865
4.	Eismo valdymo organizavimas	balai	355	0,0830
5.	Susikirtimų su esamais geležinkeliais kiekis	vnt.	257	0,0601
6.	Susikirtimų su esamais geležinkeliais vertė	Eur	244	0,0571
7.	Automobilių kelių ir gatvių sankirtų su geležinkeliais kiekis	vnt.	189	0,0442
8.	Automobilių kelių ir gatvių sankirtų su geležinkeliais vertė	Eur	249	0,0582
9.	Inžinerinių tinklų sankirtų su geležinkeliais kiekis	vnt.	92	0,0215
10.	Inžinerinių tinklų sankirtų su geležinkeliais vertė	Eur	97	0,0227
11.	Susikirtimų su paviršinio vandens telkiniais kiekis	vnt.	141	0,0330
12.	Susikirtimų su paviršinio vandens telkiniais vertė	Eur	125	0,0292
13.	Automobilių tunelių kiekis	vnt.	71	0,0166
14.	Automobilių tunelių vertė	Eur	173	0,0405
15.	Įtaka kraštovaizdžiui	balai	188	0,0440
16.	Įtaka saugomoms teritorijoms ir vertybėms	balai	263	0,0615
17.	Įtaka gyvūnijai (faunai)	balai	305	0,0713
18.	Pasekmės nekilnojamojo kultūros paveldo objektams ir teritorijoms	balai	296	0,0692
		Suma:	4275	1

Pagal ekspertų vertinimą, svarbiausi įgyvendinančioms institucijoms priskirti kriterijai yra eksploataciniai kaštai, geležinkelio kelių pralaidumas ir infrastruktūros valdymo paprastumas. Mažiausiai svarbūs yra automobilių tunelių kiekiai, inžinerinių tinklų sankirtų su geležinkeliais kiekiai ir jų vertės.

Siekiant išsiaiškinti, ar nustatyti reikšmingumai gali būti naudojami tolesniems skaičiavimams, turi būti atliekamas nuomonių suderinamumo skaičiavimas.

M. Kendallo metodu apskaičiuojamas konkordancijos koeficientas pagal (1) formulę:

$$W = \frac{12 \times S}{r^2 \times m \times (m^2 - 1)}, \qquad (1)$$

čia:

S – dispersija;

m – kriterijų skaičius;

r – ekspertų skaičius.

Dispersija apskaičiuojama pagal (2) formulę:

$$S = \sum_{i=1}^{m} (c_i - \bar{c})^2 , \qquad (2)$$

čia:

S – dispersija;

c_i – kriterijų rangų suma;

$\bar{c}$ – rangų vidurkis;

m – kriterijų skaičius.

Pagal (1) ir (2) formules apskaičiuojamas konkordancijos koeficientas naudos gavėjams įtakos turintiems kriterijams:

$$W_1 = \frac{12 \times 53642}{25^2 \times 11 \times (11^2 - 1)} = 0{,}78;$$

$S_1 = (263 - 150)^2 + (238 - 150)^2 + (246 - 150)^2 + (58 - 150)^2 + (125 - 150)^2 + (177 - 150)^2 + (127 - 150)^2 + (100 - 150)^2 + (159 - 150)^2 + (98 - 150)^2 + (59 - 150)^2 = 53642;$

Rangų vidurkis:

$$\bar{c} = \frac{1650}{11} = 150.$$

Pagal (1) ir (2) formules apskaičiuojamas konkordancijos koeficientas įgyvendinančioms institucijoms įtakos turintiems kriterijams:

$$W_2 = \frac{12 \times 214254{,}5}{25^2 \times 18 \times (18^2 - 1)} = 0{,}71;$$

$S_2 = (426 - 237{,}5)^2 + (434 - 237{,}5)^2 + (370 - 237{,}5)^2 + (355 - 237{,}5)^2 + (257 - 237{,}5)^2 + (244 - 237{,}5)^2 + (189 - 237{,}5)^2 + (249 - 237{,}5)^2 + (92 - 237{,}5)^2 + (97 - 237{,}5)^2 + (141 - 237{,}5)^2 + (125 - 237{,}5)^2 + (71 - 237{,}5)^2 + (173 - 237{,}5)^2 + (188 - 237{,}5)^2 + (263 - 237{,}5)^2 + (305 - 237{,}5)^2 + (296 - 237{,}5)^2 = 214254{,}5;$

Rangų vidurkis:

$$\bar{c} = \frac{4275}{18} = 237{,}5.$$

Abejais atvejais konkordancijos koeficiento reikšmė rodo, kad respondentų nuomonės gana vieningos. Konkordancijos koeficiento reikšmingumą ir ekspertų vertinimų suderinamumą nustato kriterijus χ^2, apskaičiuojamas pagal (3) formulę:

$$\chi^2 = \frac{12 \times S}{r \times m \times (m + 1)}. \quad (3)$$

Pagal (3) formulę apskaičiuojamas konkordancijos koeficiento reikšmingumas naudos gavėjams įtakos turintiems kriterijams:

$$\chi_1^2 = \frac{12 \times 53642}{25 \times 11 \times (11 + 1)} = 195{,}06.$$

Pagal (3) formulę apskaičiuojamas konkordancijos koeficiento reikšmingumas įgyvendinančioms institucijoms įtakos turintiems kriterijams:

$$\chi_2^2 = \frac{12 \times 214254{,}5}{25 \times 18 \times (18 + 1)} = 300{,}71.$$

Apskaičiuota reikšmė palyginama su kritine (χ_{kr}^2), kuri randama pagal statistinę lentelę. Apskaičiuota reikšmė lyginama su pagal laisvės laipsnių skaičių parinktoje eilutėje esančia reikšme. Abejais atvejais apskaičiuota reikšmė didesnė už kritinę, todėl ekspertų vertinimai yra suderinti.

$$\chi^2 > \chi_{kr}^2,$$

$$195{,}06 > 25{,}19;$$

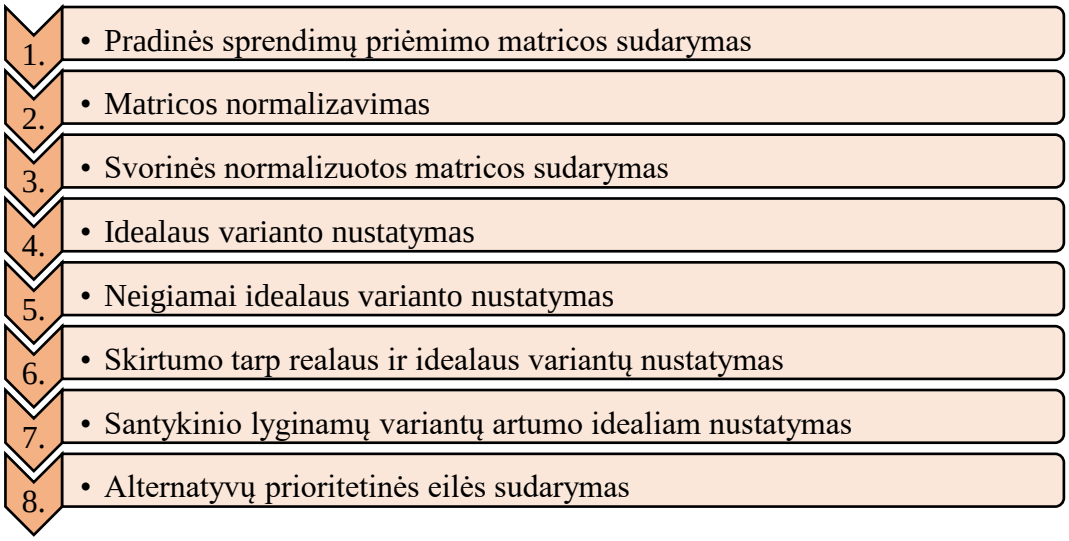
$$300{,}71 > 35{,}72.$$

Ekspertų nuomonės suderintos 99%, todėl nustatyti reikšmingumai gali būti naudojamas tolesniems skaičiavimams.

2.6. Daugiakriterio vertinimo metodai

2.6.1. TOPSIS metodas

TOPSIS (angl. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) – 1981 m. Hwango ir Yoono sukurtas daugiakriterės sprendimų analizės metodas, paremtas variantų racionalumo nustatymu artumo idealiam taškui metodu (Hwang ir Yoon, 1981). Pagal atstumą, optimali alternatyva yra arčiausiai idealaus sprendimo ir toliausiai blogiausio. Taip iš kelių alternatyvų išrenkama potencialiai geriausia alternatyva. Rezultatai priklauso nuo alternatyvas apibūdinančių kriterijų sistemos, kriterijų reikšmingumų ir kriterijus atitinkančių reikšmių dydžių. Kriterijų reikšmingumai nustatyti ekspertų. Metodo algoritmas pateiktas 14 pav.



14 pav. TOPSIS metodo algoritmas

Pagal pateiktą algoritmą, TOPSIS metodą sudaro šie žingsniai:

1. Sudaroma pradinė sprendinių matrica:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}; \tag{4}$$

2. Sudaroma normalizuota sprendimų matrica. Normalizuotos sprendimų matricos reikšmių skaičiavimo formulė:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^{m} x_{ij}^2}, \; i = 1, \dots, n, \; j = 1, \dots, m, \tag{5}$$

čia:

m – alternatyvų skaičius;

n – rodiklių skaičius.

3. Sudaroma svorinė normalizuota sprendimų matrica. Svorinės normalizuotos sprendimų matricos reikšmių skaičiavimo formulė:

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot q_i,\ i = 1, \ldots, n,\ j = 1, \ldots, m, \tag{6}$$

čia:

q_i – reikšmingumas;

m – alternatyvų skaičius;

n – kriterijų skaičius.

4. Nustatomas idealaus variantas. Idealaus varianto skaičiavimo formulė:

$$A^+ = \left\{ (\max_j v_{ij} \,\middle|\, i \in I), (\min_j v_{ij} \,\middle|\, i \in I'), j = 1, 2, 3, ..., m \right\} = \{v_1^+, v_2^+, ..., v_n^+\}, \tag{7}$$

čia:

I – maksimizuojamų rodiklių aibė;

I´ – minimizuojamų rodiklių aibė.

5. Nustatomas idealaus neigiamas variantas. Idealaus neigiamo varianto skaičiavimo formulė:

$$A^- = \left\{ (\min_j v_{ij} \,\middle|\, i \in I), (\max_j v_{ij} \,\middle|\, i \in I'), j = 1, 2, 3, ..., m \right\} = \{v_1^-, v_2^-, ..., v_n^-\}, \tag{8}$$

čia:

I – maksimizuojamų rodiklių aibė;

I´ – minimizuojamų rodiklių aibė.

6. Nustatomas atstumas nuo nagrinėjamos alternatyvos iki idealaus sprendinio. Atstumo nuo alternatyvos iki idealaus sprendinio skaičiavimo formulė:

$$S_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (v_{ij} - v_i^+)^2},\ j = 1, 2, 3, ..., m. \tag{9}$$

7. Nustatomas atstumas nuo nagrinėjamos alternatyvos iki idealaus neigiamo sprendinio. Atstumo nuo alternatyvos iki idealaus neigiamo sprendinio skaičiavimo formulė:

$$S_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (v_{ij} - v_i^-)^2},\ j = 1, 2, 3, ..., m. \tag{10}$$

8. Nustatomas santykinis atstumas iki idealaus sprendinio. Santykinio atstumo skaičiavimo formulė:

$$C_j^+ = \frac{S_j^-}{S_j^+ + S_j^-}, \tag{11}$$

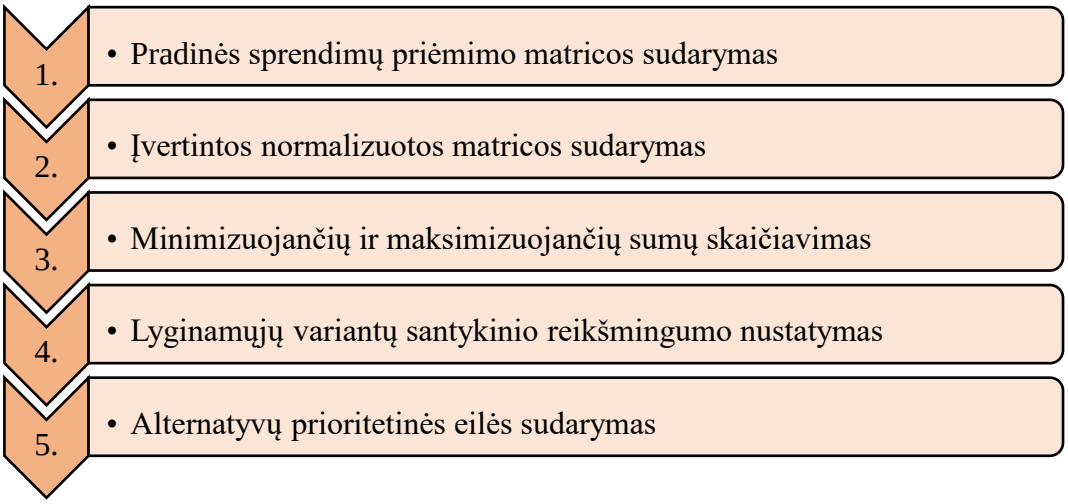
čia:

$1 \geq C_j^+ \geq 0$, j = 1, 2, 3, ..., m.

9. Sudaroma alternatyvų prioritetinė eilė.

2.6.2. COPRAS metodas

COPRAS (angl. COmplex PRoportional ASsessment) – 1994 m. Zavadsko, Kaklausko ir Šarkos sukurtas daugiakriterio kompleksinio proporcingo įvertinimo metodas, kuriuo alternatyvos sureitinguojamos pagal jų prioritetiškumą ir naudingumo laipsnį (Zavadskas et al., 1994). Kaip ir TOPSIS skaičiavimo metodu, rezultatai priklauso nuo alternatyvas apibūdinančių kriterijų sistemos, kriterijų reikšmingumų ir kriterijus atitinkančių reikšmių dydžių. Kriterijų reikšmingumai taip pat nustatyti ekspertų. Metodo algoritmas pateiktas 15 pav.



15 pav. COPRAS metodo algoritmas

Pagal pateiktą algoritmą, COPRAS metodą sudaro šie žingsniai:

1. Sudaroma pradinės sprendinių matrica:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}; \tag{12}$$

2. Sudaroma įvertinta normalizuota sprendimų matrica. Įvertintos normalizuotos sprendimų matricos reikšmių skaičiavimo formulė:

$$d_{ij} = \frac{x_{ij} \cdot q_i}{\sum_{j=1}^{m} x_{ij}}, \; i = 1, \ldots, n; \; j = 1, \ldots, m, \tag{13}$$

čia:

m – alternatyvų skaičius;

n – rodiklių skaičius;

q_i – *i* kriterijaus svarba.

2.1. Skaičiavimų kontrolė:

$$q_i = \sum_{j=1}^{m} d_{ij} \; ; \; i = 1, \ldots, n, \; j = 1, \ldots, m. \tag{14}$$

3. Nustatomos alternatyvą apibūdinančios minimizuojančios S_{-j} ir maksimizuojančios S_{+j} įvertintų normalizuotų rodiklių sumos. Jos apskaičiuojamos pagal formulę:

$$S_{-j} = \sum_{i=1}^{n} d_{-ij}, \tag{15}$$

$$S_{+j} = \sum_{i=1}^{n} d_{+ij} \; ; \; i = 1, \ldots, n, \; j = 1, \ldots, m. \tag{16}$$

S_{-j} ir S_{+j} dydžiai išreiškia dalyvių pasiektų tikslų lygį kiekvienai alternatyvai.

3.1. Skaičiavimų kontrolė:

$$S_{-} = \sum_{j=1}^{m} S_{-j} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} d_{-ij}, \tag{17}$$

$$S_{+} = \sum_{j=1}^{m} S_{+j} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} d_{+ij} \; ; \; i = 1, \ldots, n, \; j = 1, \ldots, m. \tag{18}$$

4. Nustatomas lyginamų alternatyvų santykinis reikšmingumas. Santykinio reikšmingumo skaičiavimo formulė:

$$Q_j = S_{+j} + \frac{S_{-min} \cdot \sum_{j=1}^{m} S_{-j}}{S_{-j} \cdot \sum_{j=1}^{m} \frac{S_{-min}}{S_{-j}}}. \tag{19}$$

5. Sudaroma alternatyvų prioritetinė eilė.

3. LENKIJOS IR LIETUVOS VALSTYBIŲ SIENA–JIESIA KONCEPCINIŲ ALTERNATYVŲ DAUGIAKRITERIS VERTINIMAS

3.1. Koncepcinių alternatyvų daugiakriteris vertinimas TOPSIS metodu

Iš nagrinėjamų kriterijų ir juos atitinkančių reikšmių yra sudaromos pradinės sprendinių matricos, kurios pateiktos 5 ir 6 lentelėse. Reikšmingumai q_i priskiriami iš 3 ir 4 lentelių.

5 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų pradinė sprendimų matrica

Kriterijai	**Mato vnt.**	**Min/ Max**	**Alt. 1**	**Alt. 2**	**Alt. 3A**	**Alt. 6A**	**q_i**
Traukinio kelionės trukmė	min.	Min	20,2	20,7	20,7	18,9	0,1594
Geležinkelio trasos bendras ilgis	km	Min	169,3	169,0	169,5	151,5	0,1442
Alternatyvos įgyvendinimo kaina	mln. Eur	Min	1 809,21	1 752,65	1 662,60	1 589,77	0,1491
Visuomenės poreikiams išperkamų žemės sklypų plotas	ha	Max	1 026,4	1 065,4	1 027,3	1 043,7	0,0352
Visuomenės poreikiams išperkamų žemės sklypų vertė	mln. Eur	Max	15,75	17,15	17,04	10,70	0,0758
Visuomenės poreikiams išperkamų gyvenamųjų bei visuomeninių pastatų kiekis	vnt.	Min	66	68	67	27	0,1073
Visuomenės poreikiams išperkamų gyvenamųjų bei visuomeninių pastatų vertė	mln. Eur	Min	2,95	4,22	4,24	1,47	0,0770
Saugiai gyvūnų migracijai skirtų gyvūnų praginų, žaliųjų tiltų vertė	mln. Eur	Min	107,66	99,00	99,00	51,98	0,0606
Vibracijos ir triukšmo taršos mažinimo priemonių vertė	mln. Eur	Min	12,71	14,07	14,08	9,32	0,0964
Visuomenės poreikiams išperkamų miškų plotai	ha	Min	116,9	152,7	169,0	122,5	0,0594
Visuomenės poreikiams išperkamų miškų vertė	mln. Eur	Min	0,59	0,74	0,73	1,47	0,0358

6 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų pradinė sprendimų matrica

Kriterijai	**Mato vnt.**	**Min/ Max**	**Alt. 1**	**Alt. 2**	**Alt. 3A**	**Alt. 6A**	**q_i**
Geležinkelio kelių pralaidumas	balai	Max	3	3	4	3	0,0996
Eksploataciniai kaštai	mln. Eur	Min	19,07	17,14	16,82	18,68	0,1015
Infrastruktūros valdymo paprastumas	balai	Max	3	4	4	2	0,0865
Eismo valdymo organizavimas	balai	Max	3	3	4	3	0,0830
Susikirtimų su esamais geležinkeliais kiekis	vnt.	Min	4	4	4	3	0,0601
Susikirtimų su esamais geležinkeliais vertė	mln. Eur	Min	128,64	98,57	96,12	139,03	0,0571
Automobilių kelių ir gatvių sankirtų su geležinkeliais kiekis	vnt.	Min	37	36	36	31	0,0442
Automobilių kelių ir gatvių sankirtų su geležinkeliais vertė	mln. Eur	Min	52,02	48,00	47,15	33,87	0,0582
Inžinerinių tinklų sankirtų su geležinkeliais kiekis	vnt.	Min	15	14	14	13	0,0215
Inžinerinių tinklų sankirtų su geležinkeliais vertė	mln. Eur	Min	5,26	5,11	4,96	5,14	0,0227
Susikirtimų su paviršinio vandens telkiniais kiekis	vnt.	Min	57	67	67	70	0,0330
Susikirtimų su paviršinio vandens telkiniais vertė	mln. Eur	Min	6,86	9,58	7,42	9,57	0,0292
Automobilių tunelių kiekis	vnt.	Min	0	4	4	1	0,0166
Automobilių tunelių vertė	mln. Eur	Min	-	5,60	5,78	6,15	0,0405
Įtaka kraštovaizdžiui	balai	Min	3	2	2	3	0,0440
Įtaka saugomoms teritorijoms ir vertybėms	balai	Min	1	2	2	1	0,0615
Įtaka gyvūnijai (faunai)	balai	Min	2	1	1	2	0,0713
Pasekmės nekilnojamojo kultūros paveldo objektams ir teritorijoms	balai	Min	2	2	2	1	0,0692

Pagal TOPSIS metodo algoritmą (14 pav.), toliau iš pradinės sprendimų matricos sudaroma normalizuota sprendimų matrica. Normalizavimo tikslas – iš dimensijas turinčių dydžių gauti bedimensius dydžius. Tai atliekama kiekvieną pradinės sprendinių matricos elementą normalizuojant vektoriniu būdu.

Naudojant 5 lentelės pirmo stulpelio ir pirmos eilutės reikšmę pagal (5) formulę apskaičiuojama 7 lentelės pirmo stulpelio ir pirmos eilutės reikšmė:

$$r_{11} = \frac{20,2}{\sqrt{20,2^2 + 20,7^2 + 20,7^2 + 18,9^2}} = 0,5015.$$

Taip apskaičiuojamos visų alternatyvų kriterijų rodiklių reikšmės 5 ir 6 lentelėse. Normalizuotos sprendimų matricos pateiktos 7 ir 8 lentelėse.

7 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų normalizuota sprendimų matrica

Kriterijus	q_i	**Alt. 1**	**Alt. 2**	**Alt. 3A**	**Alt. 6A**
Traukinio kelionės trukmė	0,1594	0,5015	0,5139	0,5139	0,4693
Geležinkelio trasos bendras ilgis	0,1442	0,5131	0,5121	0,5135	0,4592
Alternatyvos įgyvendinimo kaina	0,1491	0,5304	0,5138	0,4874	0,4660
Visuomenės poreikiams išperkamų žemės sklypų plotas	0,0352	0,4931	0,5118	0,4935	0,5014
Visuomenės poreikiams išperkamų žemės sklypų vertė	0,0758	0,5120	0,5574	0,5534	0,3479
Visuomenės poreikiams išperkamų gyvenamųjų bei visuomeninių pastatų kiekis	0,1073	0,5539	0,5707	0,5623	0,2266
Visuomenės poreikiams išperkamų gyvenamųjų bei visuomeninių pastatų vertė	0,0770	0,4323	0,6179	0,6205	0,2152
Saugiai gyvūnų migracijai skirtų gyvūnų praginų, žaliųjų tiltų vertė	0,0606	0,5848	0,5377	0,5377	0,2823
Vibracijos ir triukšmo taršos mažinimo priemonių vertė	0,0964	0,5007	0,5541	0,5546	0,3669
Visuomenės poreikiams išperkamų miškų plotai	0,0594	0,4119	0,5380	0,5955	0,4316
Visuomenės poreikiams išperkamų miškų vertė	0,0358	0,3103	0,3918	0,3862	0,7753

8 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų normalizuota sprendimų matrica

Kriterijus	q_i	**Alt. 1**	**Alt. 2**	**Alt. 3A**	**Alt. 6A**
Geležinkelio kelių pralaidumas	0,0996	0,4575	0,4575	0,6100	0,4575
Eksploataciniai kaštai	0,1015	0,5312	0,4773	0,4683	0,5203
Infrastruktūros valdymo paprastumas	0,0865	0,4472	0,5963	0,5963	0,2981
Eismo valdymo organizavimas	0,0830	0,4243	0,5657	0,5657	0,4243
Susikirtimų su esamais geležinkeliais kiekis	0,0601	0,5298	0,5298	0,5298	0,3974
Susikirtimų su esamais geležinkeliais vertė	0,0571	0,5493	0,4210	0,4105	0,5937
Automobilių kelių ir gatvių sankirtų su geležinkeliais kiekis	0,0442	0,5274	0,5131	0,5131	0,4419
Automobilių kelių ir gatvių sankirtų su geležinkeliais vertė	0,0582	0,5683	0,5244	0,5150	0,3700

8 lentelės pabaiga

Kriterijus	q_i	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3A	Alt. 6A
Inžinerinių tinklų sankirtų su geležinkeliais kiekis	0,0215	0,5350	0,4994	0,4994	0,4637
Inžinerinių tinklų sankirtų su geležinkeliais vertė	0,0227	0,5138	0,4992	0,4845	0,5021
Susikirtimų su paviršinio vandens telkiniais kiekis	0,0330	0,4355	0,5120	0,5120	0,5349
Susikirtimų su paviršinio vandens telkiniais vertė	0,0292	0,4060	0,5669	0,4393	0,5663
Automobilių tunelių kiekis	0,0166	0,0000	0,6963	0,6963	0,1741
Automobilių tunelių vertė	0,0405	0,0000	0,5532	0,5702	0,6073
Įtaka kraštovaizdžiu	0,0440	0,5883	0,3922	0,3922	0,5883
Įtaka saugomoms teritorijoms ir vertybėms	0,0615	0,3162	0,6325	0,6325	0,3162
Įtaka gyvūnijai (faunai)	0,0713	0,6325	0,3162	0,3162	0,6325
Pasekmės nekilnojamojo kultūros paveldo objektams ir teritorijoms	0,0692	0,5547	0,5547	0,5547	0,2774

Tolesnio etapo metu yra sudaromos svorinės normalizuotos matricos. Sudarant svorinę normalizuotą matricą, kiekvieną elementą iš normalizuotos sprendinių matricos dauginame iš to rodiklio reikšmingumo.

Naudojant 7 lentelės pirmo stulpelio ir pirmos eilutės reikšmę, pagal (6) formulę apskaičiuojama 9 lentelės pirmo stulpelio ir pirmos eilutės reikšmė:

$$v_{11} = 0{,}5015 \cdot 0{,}1594 = 0{,}0799.$$

Taip perskaičiuojamos visų alternatyvų reikšmės 7 ir 8 lentelėse. Svorinės normalizuotos matricos pateiktos 9 ir 10 lentelėse.

9 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų svorinė normalizuota sprendimų matrica

Kriterijus	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3A	Alt. 6A
Traukinio kelionės trukmė	0,0799	0,0819	0,0819	0,0748
Geležinkelio trasos bendras ilgis	0,0740	0,0739	0,0741	0,0662
Alternatyvos įgyvendinimo kaina	0,0791	0,0766	0,0727	0,0695
Visuomenės poreikiams išperkamų žemės sklypų plotas	0,0173	0,0180	0,0173	0,0176
Visuomenės poreikiams išperkamų žemės sklypų vertė	0,0388	0,0422	0,0419	0,0264
Visuomenės poreikiams išperkamų gyvenamųjų bei visuomeninių pastatų kiekis	0,0594	0,0612	0,0603	0,0243
Visuomenės poreikiams išperkamų gyvenamųjų bei visuomeninių pastatų vertė	0,0333	0,0476	0,0478	0,0166
Saugiai gyvūnų migracijai skirtų gyvūnų praginų, žaliųjų tiltų vertė	0,0354	0,0326	0,0326	0,0171

9 lentelės pabaiga

Kriterijus	**Alt. 1**	**Alt. 2**	**Alt. 3A**	**Alt. 6A**
Vibracijos ir triukšmo taršos mažinimo priemonių vertė	0,0483	0,0534	0,0534	0,0354
Visuomenės poreikiams išperkamų miškų plotai	0,0245	0,0320	0,0354	0,0256
Visuomenės poreikiams išperkamų miškų vertė	0,0111	0,0140	0,0138	0,0277

10 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų svorinė normalizuota sprendimų matrica

Kriterijus	**Alt. 1**	**Alt. 2**	**Alt. 3A**	**Alt. 6A**
Geležinkelio kelių pralaidumas	0,0456	0,0456	0,0608	0,0456
Eksploataciniai kaštai	0,0539	0,0485	0,0475	0,0528
Infrastruktūros valdymo paprastumas	0,0387	0,0516	0,0516	0,0258
Eismo valdymo organizavimas	0,0352	0,0470	0,0470	0,0352
Susikirtimų su esamais geležinkeliais kiekis	0,0319	0,0319	0,0319	0,0239
Susikirtimų su esamais geležinkeliais vertė	0,0314	0,0240	0,0234	0,0339
Automobilių kelių ir gatvių sankirtų su geležinkeliais kiekis	0,0233	0,0227	0,0227	0,0195
Automobilių kelių ir gatvių sankirtų su geležinkeliais vertė	0,0331	0,0305	0,0300	0,0215
Inžinerinių tinklų sankirtų su geležinkeliais kiekis	0,0115	0,0107	0,0107	0,0100
Inžinerinių tinklų sankirtų su geležinkeliais vertė	0,0117	0,0113	0,0110	0,0114
Susikirtimų su paviršinio vandens telkiniais kiekis	0,0144	0,0169	0,0169	0,0176
Susikirtimų su paviršinio vandens telkiniais vertė	0,0119	0,0166	0,0128	0,0166
Automobilių tunelių kiekis	0,0000	0,0116	0,0116	0,0029
Automobilių tunelių vertė	0,0000	0,0224	0,0231	0,0246
Įtaka kraštovaizdžiu	0,0259	0,0172	0,0172	0,0259
Įtaka saugomoms teritorijoms ir vertybėms	0,0195	0,0389	0,0389	0,0195
Įtaka gyvūnijai (faunai)	0,0451	0,0226	0,0226	0,0451
Pasekmės nekilnojamojo kultūros paveldo objektams ir teritorijoms	0,0384	0,0384	0,0384	0,0192

Kitas žingsnis – nustatyti idealaus teigiamo A^+ ir idealaus neigiamo A^- variantų sprendinius abiem kriterijų grupėms.

Naudojant 9 lentelės pirmos eilutės reikšmes pagal (7) formulę atrenkama idealiai teigiama (t. y. pagal tos eilutės optimizavimo kryptį mažiausia) reikšmė:

$$A_1^+ = \min(0{,}0799;\ 0{,}0819;\ 0{,}0819;\ 0{,}0748) = 0{,}0748.$$

Taip pagal (7) formulę atrenkami visų alternatyvų idealaus teigiamo varianto A^+ sprendiniai naudos gavėjų kriterijų grupei.

Naudojant 9 lentelės pirmos eilutės reikšmes pagal (8) formulę atrenkama idealiai neigiama (t. y. pagal tos eilutės optimizavimo kryptį didžiausia) reikšmė:

$$A_1^- = \max(0{,}0799;\ 0{,}0819;\ 0{,}0819;\ 0{,}0748) = 0{,}0819.$$

Taip pagal (8) formulę atrenkami visų alternatyvų idealaus neigiamo varianto A^-sprendiniai. Naudos gavėjų kriterijams atrinkti A^+ ir A^- sprendiniai pateikti 11 lentelėje.

Analogiškai skaičiavimai kartojami įgyvendinančių institucijų kriterijų grupei. Šiai grupei iš 10 lentelės atrenkami visų alternatyvų idealūs teigiami ir neigiami variantai. Idealiai teigiamų ir idealiai neigiamų sprendinių matricos pateiktos 11 ir 12 lentelėse.

11 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų idealiai teigiamų A^+ ir idealiai neigiamų A^- sprendiniai

Kriterijus	**Min/Max**	**A^+**	**A^-**
Traukinio kelionės trukmė	Min	0,0748	0,0819
Geležinkelio trasos bendras ilgis	Min	0,0662	0,0741
Alternatyvos įgyvendinimo kaina	Min	0,0695	0,0791
Visuomenės poreikiams išperkamų žemės sklypų plotas	Max	0,0180	0,0173
Visuomenės poreikiams išperkamų žemės sklypų vertė	Max	0,0422	0,0264
Visuomenės poreikiams išperkamų gyvenamųjų bei visuomeninių pastatų kiekis	Min	0,0243	0,0612
Visuomenės poreikiams išperkamų gyvenamųjų bei visuomeninių pastatų vertė	Min	0,0166	0,0478
Saugiai gyvūnų migracijai skirtų gyvūnų praginų, žaliųjų tiltų vertė	Min	0,0171	0,0354
Vibracijos ir triukšmo taršos mažinimo priemonių vertė	Min	0,0354	0,0534
Visuomenės poreikiams išperkamų miškų plotai	Min	0,0245	0,0354
Visuomenės poreikiams išperkamų miškų vertė	Min	0,0111	0,0277

12 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų idealiai teigiamų A^+ ir idealiai neigiamų A^- sprendiniai

Kriterijus	**Min/Max**	**A^+**	**A^-**
Geležinkelio kelių pralaidumas	Max	0,0608	0,0456
Eksploataciniai kaštai	Min	0,0475	0,0539
Infrastruktūros valdymo paprastumas	Max	0,0516	0,0258
Eismo valdymo organizavimas	Max	0,0470	0,0352
Susikirtimų su esamais geležinkeliais kiekis	Min	0,0239	0,0319
Susikirtimų su esamais geležinkeliais vertė	Min	0,0234	0,0339
Automobilių kelių ir gatvių sankirtų su geležinkeliais kiekis	Min	0,0195	0,0233
Automobilių kelių ir gatvių sankirtų su geležinkeliais vertė	Min	0,0215	0,0331

12 lentelės pabaiga

Kriterijus	**Min/Max**	**A^+**	**A^-**
Inžinerinių tinklų sankirtų su geležinkeliais kiekis	Min	0,0100	0,0115
Inžinerinių tinklų sankirtų su geležinkeliais vertė	Min	0,0110	0,0117
Susikirtimų su paviršinio vandens telkiniais kiekis	Min	0,0144	0,0176
Susikirtimų su paviršinio vandens telkiniais vertė	Min	0,0119	0,0166
Automobilių tunelių kiekis	Min	0,0000	0,0116
Automobilių tunelių vertė	Min	0,0000	0,0246
Įtaka kraštovaizdžiu	Min	0,0172	0,0259
Įtaka saugomoms teritorijoms ir vertybėms	Min	0,0195	0,0389
Įtaka gyvūnijai (faunai)	Min	0,0226	0,0451
Pasekmės nekilnojamojo kultūros paveldo objektams ir teritorijoms	Min	0,0192	0,0384

Toliau nustatomas atstumas nuo nagrinėjamos alternatyvos iki idealaus teigiamo sprendinio abiem kriterijų grupėms.

Pagal (9) formulę, naudojant 9 ir 11 lentelių duomenis, apskaičiuojamas pirmo stulpelio (t.y. 1 alternatyvos) atstumas nuo nagrinėjamos alternatyvos iki idealaus teigiamo sprendinio naudos gavėjų kriterijų grupei:

$$S_1^+ = \sqrt{(0{,}0799 - 0{,}0748)^2 + (0{,}0740 - 0{,}0662)^2 + (0{,}0791 - 0{,}0695)^2 + (0{,}0173 - 0{,}0180)^2 +}$$
$$\sqrt{+ (0{,}0388 - 0{,}0422)^2 + (0{,}0594 - 0{,}0243)^2 + (0{,}0333 - 0{,}0166)^2 + (0{,}0354 - 0{,}0171)^2 +}$$
$$\sqrt{+ (0{,}0483 - 0{,}0354)^2 + (0{,}0245 - 0{,}0245)^2 + (0{,}0111 - 0{,}0111)^2} = 0{,}0470;$$

Taip apskaičiuojami visų alternatyvų atstumai nuo nagrinėjamos alternatyvos iki idealaus teigiamo sprendinio.

Tolesniu žingsniu nustatomas atstumas nuo nagrinėjamos alternatyvos iki idealaus neigiamo sprendinio naudos gavėjų kriterijų grupei.

Pagal (10) formulę, naudojant 9 ir 11 lentelių duomenis, apskaičiuojamas pirmo stulpelio (t.y. 1 alternatyvos) atstumas nuo nagrinėjamos alternatyvos iki idealaus neigiamo sprendinio naudos gavėjų kriterijų grupei:

$$S_1^- = \sqrt{(0{,}0799 - 0{,}0819)^2 + (0{,}0740 - 0{,}0741)^2 + (0{,}0791 - 0{,}0791)^2 + (0{,}0173 - 0{,}0173)^2 +}$$
$$\sqrt{+ (0{,}0388 - 0{,}0264)^2 + (0{,}0594 - 0{,}0612)^2 + (0{,}0333 - 0{,}0478)^2 + (0{,}0354 - 0{,}0354)^2 +}$$
$$\sqrt{+ (0{,}0483 - 0{,}0354)^2 + (0{,}0245 - 0{,}0354)^2 + (0{,}0111 - 0{,}0277)^2} = 0{,}0282;$$

Taip apskaičiuojami visų alternatyvų atstumai nuo nagrinėjamos alternatyvos iki idealaus neigiamo sprendinio.

Paskutinis žingsnis – apskaičiuojamas santykinis atstumas iki idealaus sprendinio.

Pirmos alternatyvos santykinio atstumo iki idealaus sprendinio reikšmė nustatoma pagal (11) formulę:

$$C_1^+ = \frac{0{,}0282}{0{,}0470 + 0{,}0282} = 0{,}3750.$$

Taip apskaičiuojami naudos gavėjų kriterijų grupės visų alternatyvų santykiniai atstumai iki idealaus sprendinio. Gautos S_j^+, S_j^- ir C_j^+ reikšmės pateiktos 13 lentelėje.

13 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų S_j^+, S_j^- ir C_j^+ reikšmės bei alternatyvų prioritetai

	Alt. 1	**Alt. 2**	**Alt. 3A**	**Alt. 6A**
Euklido atstumas S^+	0,0470	0,0558	0,0555	0,0230
Euklido atstumas S^-	0,0282	0,0216	0,0220	0,0574
Santykinis atstumas C^+	0,3750	0,2791	0,2841	0,7138
Prioritetai	2	4	3	1

Analogiškai skaičiavimai kartojami įgyvendinančių institucijų kriterijų grupei. Šiai grupei pagal 10 ir 12 lenteles apskaičiuojami atstumai nuo nagrinėjamos alternatyvos iki idealaus sprendinio. Gautos S_j^+, S_j^- ir C_j^+ reikšmės pateiktos 14 lentelėje.

14 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų S_j^+, S_j^- ir C_j^+ reikšmės bei alternatyvų prioritetai

	Alt. 1	**Alt. 2**	**Alt. 3A**	**Alt. 6A**
Euklido atstumas S^+	0,0425	0,0424	0,0396	0,0490
Euklido atstumas S^-	0,0364	0,0391	0,0424	0,0322
Santykinis atstumas C^+	0,4611	0,4796	0,5171	0,3966
Prioritetai	3	2	1	4

3.2. Koncepcinių alternatyvų daugiakriteris vertinimas COPRAS metodu

Kadangi pirmasis COPRAS metodo žingsnis sutampa su pirmuoju TOPSIS žingsniu, toliau naudojamos nagrinėjamų kriterijų ir juos atitinkančių reikšmių pradinės sprendinių matricos, esančios 5 ir 6 lentelėse. Kaip ir TOPSIS atveju, reikšmingumai priskiriami iš 3 ir 4 lentelių.

Pagal COPRAS metodo algoritmą (15 pav.), toliau iš pradinės sprendimų matricos sudaroma įvertinta normalizuota sprendimų matrica. Normalizavimo tikslas – iš dimensijas turinčių dydžių gauti bedimensius dydžius. Kai žinomi bedimensiai įvertinti dydžiai, galima palyginti visus skirtingų matavimo vienetų rodiklius pagal (13) formulę.

Naudojant 5 lentelės pirmo stulpelio ir pirmos eilutės reikšmę pagal (13) formulę apskaičiuojama 15 lentelės pirmo stulpelio ir pirmos eilutės reikšmė:

$$d_{11} = \frac{20{,}2 \cdot 0{,}1594}{80{,}5} = 0{,}0400.$$

Taip apskaičiuojamos visų alternatyvų kriterijų rodiklių reikšmės 5 ir 6 lentelėse. Įvertintos normalizuotos sprendimų matricos pateiktos 15 ir 16 lentelėse.

Pagal (14) formulę, kiekvieno šiame žingsnyje gauto bedimensio rodiklio gautų įvertintų normalizuotų reikšmių d_{ij} suma turi būti lygi šio rodiklio reikšmingumui q_i:

$$q_1 = 0{,}0400 + 0{,}0410 + 0{,}0410 + 0{,}0374 = 0{,}1594.$$

Pagal (14) formulę patikrinus gautas reikšmes 15 ir 16 lentelėse, taip paskaičiuoti visų rodiklių reikšmingumai sutapo su reikšmingumais, nustatytais ekspertiniu metodu ir pateiktais 3 ir 4 lentelėse.

15 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų įvertinta normalizuota sprendimų matrica

Kriterijus	**Min/Max**	**Alt. 1**	**Alt. 2**	**Alt. 3A**	**Alt. 6A**
Traukinio kelionės trukmė	Min	0,0400	0,0410	0,0410	0,0374
Geležinkelio trasos bendras ilgis	Min	0,0370	0,0370	0,0371	0,0332
Alternatyvos įgyvendinimo kaina	Min	0,0396	0,0383	0,0364	0,0348
Visuomenės poreikiams išperkamų žemės sklypų plotas	Max	0,0087	0,0090	0,0087	0,0088
Visuomenės poreikiams išperkamų žemės sklypų vertė	Max	0,0197	0,0214	0,0213	0,0134
Visuomenės poreikiams išperkamų gyvenamųjų bei visuomeninių pastatų kiekis	Min	0,0311	0,0320	0,0315	0,0127
Visuomenės poreikiams išperkamų gyvenamųjų bei visuomeninių pastatų vertė	Min	0,0176	0,0252	0,0253	0,0088
Saugiai gyvūnų migracijai skirtų gyvūnų praginų, žaliųjų tiltų vertė	Min	0,0182	0,0168	0,0168	0,0088
Vibracijos ir triukšmo taršos mažinimo priemonių vertė	Min	0,0244	0,0270	0,0270	0,0179
Visuomenės poreikiams išperkamų miškų plotai	Min	0,0124	0,0162	0,0179	0,0130
Visuomenės poreikiams išperkamų miškų vertė	Min	0,0060	0,0075	0,0074	0,0149

16 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų įvertinta normalizuota sprendimų matrica

Kriterijus	**Min/Max**	**Alt. 1**	**Alt. 2**	**Alt. 3A**	**Alt. 6A**
Geležinkelio kelių pralaidumas	Max	0,0230	0,0230	0,0307	0,0230
Eksploataciniai kaštai	Min	0,0270	0,0243	0,0238	0,0264
Infrastruktūros valdymo paprastumas	Max	0,0200	0,0266	0,0266	0,0133
Eismo valdymo organizavimas	Max	0,0178	0,0237	0,0237	0,0178
Susikirtimų su esamais geležinkeliais kiekis	Min	0,0160	0,0160	0,0160	0,0120
Susikirtimų su esamais geležinkeliais vertė	Min	0,0159	0,0122	0,0119	0,0172
Automobilių kelių ir gatvių sankirtų su geležinkeliais kiekis	Min	0,0117	0,0114	0,0114	0,0098
Automobilių kelių ir gatvių sankirtų su geležinkeliais vertė	Min	0,0167	0,0154	0,0152	0,0109
Inžinerinių tinklų sankirtų su geležinkeliais kiekis	Min	0,0058	0,0054	0,0054	0,0050
Inžinerinių tinklų sankirtų su geležinkeliais vertė	Min	0,0058	0,0057	0,0055	0,0057
Susikirtimų su paviršinio vandens telkiniais kiekis	Min	0,0072	0,0085	0,0085	0,0088
Susikirtimų su paviršinio vandens telkiniais vertė	Min	0,0060	0,0084	0,0065	0,0084
Automobilių tunelių kiekis	Min	0,0000	0,0074	0,0074	0,0018
Automobilių tunelių vertė	Min	0,0000	0,0129	0,0133	0,0142
Įtaka kraštovaizdžiu	Min	0,0132	0,0088	0,0088	0,0132
Įtaka saugomoms teritorijoms ir vertybėms	Min	0,0103	0,0205	0,0205	0,0103
Įtaka gyvūnijai (faunai)	Min	0,0238	0,0119	0,0119	0,0238
Pasekmės nekilnojamojo kultūros paveldo objektams ir teritorijoms	Min	0,0198	0,0198	0,0198	0,0099

Kitu etapu yra nustatomos alternatyvą apibūdinančios minimizuojančios S_{-j} ir maksimizuojančios S_{+j} įvertintų normalizuotų rodiklių sumos. Šiais rodikliais išreiškiamas tam tikros alternatyvos pasiektų tikslų laipsnis, priklausomai nuo projekte dalyvaujančių suinteresuotų grupių. Mažesnis S_{-j} reiškia mažesnį projekte dalyvaujančių suinteresuotų grupių pasiekų tikslų lygį, o didesnis S_{+j} reiškia didesnį suinteresuotų grupių pasiekų tikslų lygį.

Naudojant 15 lentelės pirmo stulpelio (t.y. 1 alternatyvos) reikšmes, pagal (15) formulę apskaičiuojama 17 lentelės S_{-j} reikšmė 1 alternatyvai:

$$S_{-1} = 0{,}0400 + 0{,}0370 + 0{,}0396 + 0{,}0311 + 0{,}0176 + 0{,}0182 + 0{,}0244 + 0{,}0124 + 0{,}0060 = 0{,}2263.$$

Tokiu pačiu principu, naudojant 15 lentelės pirmo stulpelio (t.y. 1 alternatyvos) reikšmes, pagal (16) formulę apskaičiuojama 17 lentelės S_{+j} reikšmė 1 alternatyvai:

$$S_{+1} = 0{,}0087 + 0{,}0197 = 0{,}0283.$$

Analogiškai atliekami skaičiavimai visoms alternatyvoms 15 ir 16 lentelėse. Minimizuojančios ir maksimizuojančios sumos pateiktos 17 lentelėje.

Pagal (17) ir (18) formules, visų alternatyvų minimizuojančios S_{-j}, ir maksimizuojančios S_{+j} sumos turi būti atitinkamai lygios visoms minimizuojančių ir maksimizuojančių kriterijų reikšmingumų sumoms:

$$S_{-} = 0{,}2263 + 0{,}0410 + 0{,}2404 + 0{,}1814 = 0{,}8819 = \sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} d_{-ij};$$

$$S_{+} = 0{,}0283 + 0{,}0304 + 0{,}0299 + 0{,}0222 = 0{,}1109 = \sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} d_{+ij}.$$

Pagal (17) ir (18) formules, palyginus visų alternatyvų minimizuojančių S_{-j}, ir maksimizuojančių S_{+j} sumas su visoms minimizuojančių ir maksimizuojančių kriterijų reikšmingumų sumoms, jie buvo lygūs su pateiktais 17 lentelėje.

Taip pat skaičiavimai analogiškai kartojami įgyvendinančių institucijų kriterijų grupei pagal 16 lentelės duomenis. Minimizuojančios ir maksimizuojančios sumos pateiktos 18 lentelėje.

17 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų minimizuojančios ir maksimizuojančios sumos

	Alt. 1	**Alt. 2**	**Alt. 3A**	**Alt. 6A**	$S_{\pm} = \sum_{j=1}^{m} S_{\pm j}$
Min. normalizuotų įvertintų rodiklių suma S_{-j}	0,2263	0,2410	0,2404	0,1814	0,8891
Maks. normalizuotų įvertintų rodiklių suma S_{+j}	0,0283	0,0304	0,0299	0,0222	0,1109

18 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų minimizuojančios ir maksimizuojančios sumos

	Alt. 1	**Alt. 2**	**Alt. 3A**	**Alt. 6A**	$S_{\pm} = \sum_{j=1}^{m} S_{\pm j}$
Min. normalizuotų įvertintų rodiklių suma S_{-j}	0,1791	0,1885	0,1858	0,1774	0,7308
Maks. normalizuotų įvertintų rodiklių suma S_{+j}	0,0608	0,0734	0,0810	0,0541	0,2692

Pagal (19) formulę nustatomas visų lyginamų alternatyvų santykinis reikšmingumas:

$$Q_1 = 0{,}0283 + \frac{0{,}1814 \cdot 0{,}8891}{0{,}2263 \cdot \left(\frac{0{,}1814}{0{,}2263} + \frac{0{,}1814}{0{,}2410} + \frac{0{,}1814}{0{,}2404} + \frac{0{,}1814}{0{,}0222}\right)} = 0{,}2437.$$

Taip pat skaičiavimai atliekami visoms alternatyvoms, abiem grupėms. Pagal gautus santykinius reikšmingumus sudaroma alternatyvų prioritetinė eilė. Gauti rezultatai naudos gavėjų kriterijų grupei pateikti 19 lentelėje, o įgyvendinančių institucijų kriterijų grupei – 20 lentelėje.

19 lentelė. Naudos gavėjams priskirtų kriterijų variantų reikšmingumai bei alternatyvų prioritetai

	Alt. 1	**Alt. 2**	**Alt. 3A**	**Alt. 6A**
Varianto reikšmingumas Q_j	0,2437	0,2327	0,2327	0,2909
Prioritetai	2	4	3	1

20 lentelė. Įgyvendinančioms institucijoms priskirtų kriterijų variantų reikšmingumai bei alternatyvų prioritetai

	Alt. 1	**Alt. 2**	**Alt. 3A**	**Alt. 6A**
Varianto reikšmingumas Q_j	0,2470	0,2503	0,2606	0,2421
Prioritetai	3	2	1	4

3.3. Koncepcinių alternatyvų daugiakriterio vertinimo rezultatai

Atlikus atrinktų koncepcinių geležinkelio alternatyvų daugiakriterį vertinimą TOPSIS ir COPRAS metodais nustatyta, jog naudos gavėjų grupei optimali alternatyva yra 6A. Nesant galimybių nutiesti 6A alternatyvą, rekomenduojama 1 alternatyva. 3A ir 2 alternatyvos mažiausiai tenkina naudos gavėjų poreikius. Įgyvendinančiųjų institucijų grupei optimali alternatyva yra 3A. Nesant galimybių nutiesti 3A alternatyvą, rekomenduojamos 2 alternatyva. 1 ir 6A alternatyvos mažiausiai tenkina įgyvendinančiųjų institucijų poreikius iš visų nagrinėjamų alternatyvų (21 lentelė).

Pagal paviešintos strateginio pasekmių aplinkai vertinimo (SPAV) ataskaitos daugiakriterės analizės rezultatus, plėtoti ir įgyvendinti rekomenduojama daugiausiai balų surinkusią 3A alternatyvą, teigiant, jog ji yra pranašesnė „iš kliento, vežėjo ir infrastruktūros valdytojo perspektyvos“ (kliento perspektyvoje įvertinamas ir keleivių noras naudoti geležinkelių transportą). Taip pat paminėta, jog įskaitant visas infrastruktūros statybos ir naudojimo pasekmes, pagal daugiakriterę ir kaštų-naudos analizes, suplanuoti sprendiniai turės mažiausiai neigiamas bei didžiausiai teigiamas pasekmes socialinei, ekonominei ir gamtinei aplinkai, jei bus įgyvendintos 3A arba 6A alternatyvos. Pagal skaičiavimų rezultatus paskelbtoje daugiakriterėje analizėje, galima pastebėti, jog pirmauja 3A, o nuo jos smarkiai neatsilieka 2 alternatyva. 1 ir 6A alternatyvos pagal surinktus taškus yra labai arti, bet visgi 6A yra mažiausiai palanki (21 lentelė). Šiuose skaičiavimuose visiems kriterijams reikšmių svoriai buvo priskirti proporcingai, priklausomai nuo kuriai išskirtai grupei ir pogrupiui pagal „Rail Balticos“ tvarumo principus jie priklauso. Dėl šios priežasties, tam tikrų aspektų kriterijai (pvz. technologiniai ar ekonominiai) gali pakreipti alternatyvų prioritetų išdėstymą linkme, kuri galbūt yra mažiau priimtina visuomenės norams. Tai iš esmės yra paminėta išvadose, rekomenduojant ne tik 3A, bet ir 6A.

Lyginant šiame darbe išskirtų grupių (naudos gavėjų ir įgyvendinančių institucijų) rezultatus (21 lentelė) skaičiuojant TOPSIS bei COPRAS metodais su paviešintais skaičiavimais WSM/WPM metodu, galima pastebėti, jog prioritetai įgyvendinančių institucijų grupei sutampa su ataskaitos prioritetais (3A > 2 > 1 > 6A). Pagal rezultatus, išskirtai naudos gavėjų grupei yra aktualesnės alternatyvos, trasuojamos naujomis teritorijomis (6A > 1 > 3A > 2).

Pagal atliktus skaičiavimus galima spręsti, kad naudos gavėjų grupei labiau priimtinos alternatyvos, pertrasuojamos naujomis teritorijomis, t.y. ne pagal esamą Lenkijos ir Lietuvos valstybių siena–Jiesia geležinkelio trasą (6A ir 1). Reikia atkreipti dėmesį, kad ruože valstybių siena–Marijampolė, visos alternatyvos trasuojamos naujomis teritorijomis, tik tam tikrose atkarpose 3A ir 2 alternatyvos priartėja prie esamų geležinkelių ar sutampa su jais. Visgi, 6A ir 1 alternatyvos šiame ruože yra trasuojamos toliau nuo tankiau apgyvendintų vietovių (Sangrūdos, Kalvarijos ir kt.). Alternatyvų skirtumai išryškėja ruože Marijampolė–Jiesia – alternatyvos 1, 2 ir 3A trasuojamos šalia esamos geležinkelio infrastruktūros (1435 mm ir 1520 mm kelių), o 6A alternatyva trasuojam visiškai naujomis teritorijomis. Dėl tokio 1, 2, 3A alternatyvų trasavimo, neskaitant skirtumų tarp 1/3A ir 2 alternatyvų dėl 1435 mm RB1 kelio perklojimo, šios alternatyvos labiau įtakoja naudos gavėjų grupei priklausančių žmonių gyvenimus (žemės ir pastatų paėmimas visuomenės poreikiams, visuomenės sveikatos nepabloginančių sprendinių numatymas), todėl šiuo atveju priimtinesnė yra 6A alternatyva.

Nagrinėjant rezultatus pagal įgyvendinančioms institucijoms svarbius aspektus, galima pastebėti priešingą situaciją – jei nauji geležinkeliai trasuojami ne esamu koridoriumi, eksploatacija tampa sudėtingesnė, nes reikės eksploatuoti dvi atskiras infrastruktūras. Svarbios įtakos šios grupės poreikiams taip pat turi ilgesnės „Rail Balticos“ regioninės jungtys (Marijampolės pietinė jungtis 6A atveju būtų 8,2 km), jungtis į naująjį Kazlų Rūdos terminalą ir karinio mobilumo aspektai.

Vis dėlto, kadangi, pagal šiame darbe išskirtas grupes (naudos gavėjų ir įgyvendinančių institucijų) ir pagal viešinimo proceso metu projekto rengėjų ir piliečių išreikštas nuomones, projekto aplinkos dalyvių prioritetai skiriasi, renkantis galutinę alternatyvą reikia rasti kompromisą arba atlikti tolesnius skaičiavimus.

2022-05-12 Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, po diskusijų su savivaldybių atstovais ir visuomene, atsižvelgiant į daugumos gyventojų nuomonę, patvirtino trumpiausią ir labiausiai nuo urbanizuotų vietovių atitolusį variantą – 6A alternatyvą (LR SuMin, 2022).

21 lentelė. Rezultatų palyginimas

	1	**2**	**3A**	**6A**
TOPSIS santykinis atstumas C naudos gavėjams	0,3750	0,2791	0,2841	0,7138
TOPSIS prioritetai naudos gavėjams	2	4	3	1
TOPSIS santykinis atstumas C įgyvendinančioms institucijoms	0,4611	0,4796	0,5171	0,3966
TOPSIS prioritetai įgyvendinančioms institucijoms	3	2	1	4
COPRAS santykinis reikšmingumas Q_j naudos gavėjams	0,2437	0,2327	0,2327	0,2909
COPRAS prioritetai naudos gavėjams	2	4	3	1
COPRAS santykinis reikšm. Q_j įgyvendinančioms institucijoms	0,2470	0,2503	0,2606	0,2421
COPRAS prioritetai įgyvendinančioms institucijoms	3	2	1	4
WSM/WPM taškai paviešintoje daugiakriterėje analizėje	0,8280	0,8440	0,8980	0,8210
WSM/WPM prioritetai paviešintoje daugiakriterėje analizėje	3	2	1	4
LR susisiekimo ministerijos patvirtinta alternatyva	**6A**			

IŠVADOS

1. Siekiant, kad Europos Sąjunga išliktų konkurencinga ir patenkintų žmonių bei prekių judėjimo poreikius, kartu mažinant klimato kaitos poveikį, būtina iš esmės pertvarkyti transporto sektorių. Geležinkelių sektorius, pasižymintis mažesne tarša ir aukštu efektyvumu, yra svarbus žingsnis tvarios ateities link, todėl reikia skatinti šio transporto plėtrą. Bendras transeuropinis transporto tinklas yra itin svarbus užtikrinant visų ES valstybių, įskaitant jaunesnių narių (Lietuvos, Latvijos ir Estijos), integraciją į bendrą Europos geležinkelių erdvę.
2. Dėl istorinių priežasčių Baltijos šalys eksploatuoja 1520 mm vėžės geležinkelius, o vakarų Europa šiuo metu naudoja 1435 mm vėžę. Dėl pastarųjų dešimtmečių geopolitinių iššūkių, plečiantis ES geležinkelių tinklams, būtina integruoti Baltijos šalis į geležinkelio transporto tinklą. „Rail Balticos“ projekto tikslas yra tai pasiekti nutiesiant elektrifikuotą 1435 mm vėžės pločio dvikelį per tris Baltijos šalis. Tokia iniciatyva svarbi ekonominei integracijai ir regiono saugumui. Nors geležinkelių plėtra ES susiduria su įvairiomis kliūtimis, šios problemos yra sprendžiamos.
3. Geležinkelio linijų vystymas reikalauja daugiakriterio vertinimo metodų taikymo, nes tokie projektai apima daug skirtingų ir dažnai prieštaraujančių kriterijų. Tikslus ir struktūruotas daugiakriteris vertinimas padeda optimizuoti sprendimų priėmimo procesą, siekiant rasti racionalią alternatyvą. Šiame procese didelę įtaką turi atrinkti kriterijai ir kriterijų reikšmingumai. Vertinti alternatyvas naudojami TOPSIS ir COPRAS metodai, kurie leidžia objektyviai įvertinti ir parinkti optimalią alternatyvą.
4. Baigiamajame magistro darbe buvo nagrinėjama „Rail Balticos“ geležinkelio linijos Lenkijos ir Lietuvos valstybių siena–Jiesia modernizavimo koncepcija ir joje atrinktos keturios alternatyvos, iš kurių kitai projekto stadijai buvo atrinkta racionali alternatyva. Atrinkti geriausią geležinkelio linijos inžinerinės infrastruktūros vystymo koncepciją iš kelių variantų buvo parinkti kriterijai, kurie buvo suskirstyti į dvi grupes pagal įtaką aplinkos dalyviams. Pasitelkiant ekspertų nuomones, kriterijams priskiriamos reikšmingumo vertės.
5. Skaičiavimais pagal TOPSIS ir COPRAS sprendimų priėmimo metodus buvo atliktas koncepcinių geležinkelio alternatyvų daugiakriteris vertinimas. Skaičiavimais nustatyta, jog optimalios „Rail Balticos“ alternatyvos yra 3A ir 6A. Nors iš įgyvendinančiųjų institucijų grupės perspektyvos, jų poreikiams tinkamesnė 3A alternatyva dėl patogesnės eksploatacijos, naudos gavėjų grupei priimtinesnė 6A, nes ji yra trumpesnė ir trasuojama toliau nuo urbanizuotų vietovių. Pagal viešai prieinamą strateginio pasekmių aplinkai vertinimo (SPAV) ataskaitą, pagal daugiakriterį vertinimą, plėtoti ir įgyvendinti rekomenduojama 3A alternatyvą, o taip pat išskiriama, kad verta apsvarstyti ir 6A alternatyvą. Projekto aplinkos dalyvių

prioritetai skiriasi, todėl renkantis galutinę alternatyvą reikės rasti kompromisą arba atlikti tolesnius skaičiavimus.

6. Renkantis alternatyvą buvo derinami ekonominiai, socialiniai ir aplinkosauginiai aspektai, o į vertinimą buvo įtraukti ekspertai bei visuomenė. Po diskusijų su savivaldybių atstovais ir visuomene, atsižvelgiant į daugumos gyventojų nuomonę, Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija patvirtino 6A alternatyvą.

LITERATŪRA

Apie projektą – Rail baltica. (2023). https://rail-baltica.lt/apie-projekta/

Could trains save the planet? | Thales Group. (2020). https://www.thalesgroup.com/en/group/journalist/magazine/could-trains-save-planet

Ekspertai: geležinkeliai karo metu – nepakeičiami, bet Lietuvos pajėgumai riboti - LRT. (2022). https://www.lrt.lt/naujienos/eismas/7/1677306/ekspertai-gelezinkeliai-karo-metu-nepakeiciami-bet-lietuvos-pajegumai-riboti

Electrified rail network in Europe, by country | Statista. (2023). https://www.statista.com/statistics/451522/share-of-the-rail-network-which-is-electrified-in-europe/

EU: railway CO2 emissions 1990-2021 | Statista. (2023). https://www.statista.com/statistics/1239722/railway-emissions-eu/

EU-27: transport GHG emission shares by mode 2021 | Statista. (2023). https://www.statista.com/statistics/1237597/transport-greenhouse-gas-emissions-by-mode-eu/

Final energy consumption in Europe by mode of transport — European Environment Agency. (2019). https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-final-energy-consumption-by-mode/assessment-10

Gao, Y., Dong, X., Han, F., & Li, Z. (2022). An Optimization Model for a Desert Railway Route Scheme Based on Interval Number and TOPSIS. *Applied Sciences*, *12*(21). https://doi.org/10.3390/app122110728

Gholamizadeh, K., Zarei, E., & Yazdi, M. (2022). Railway Transport and Its Role in the Supply Chains: Overview, Concerns, and Future Direction. *The Palgrave Handbook of Supply Chain Management*, 1–28. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89822-9_95-1

Hamurcu, M., & Eren, T. (2019). An Application of Multicriteria Decision-making for the Evaluation of Alternative Monorail Routes. *Mathematics*, *7*(1), 16. https://doi.org/10.3390/math7010016

Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making* (Vol. 186). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9

Keshavarz-Ghorabaee, M. (2021). Assessment of distribution center locations using a multi-expert subjective–objective decision-making approach. *Scientific Reports*, *11*(1), 19461. https://doi.org/10.1038/s41598-021-98698-y

Keshavarz-Ghorabaee, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Antuchevičienė, J. (2022). MCDM approaches for evaluating urban and public transportation systems: a short review of recent studies. *Transport*, *37*(6), 411–425. https://doi.org/10.3846/transport.2022.18376

Krstić, M., Agnusdei, G. P., Miglietta, P. P., Tadić, S., & Roso, V. (2022). Applicability of Industry 4.0 Technologies in the Reverse Logistics: A Circular Economy Approach Based on COmprehensive Distance Based RAnking (COBRA) Method. *Sustainability*, *14*(9), 5632. https://doi.org/10.3390/su14095632

Le Quéré, C., Jackson, R. B., Jones, M. W., Smith, A. J. P., Abernethy, S., Andrew, R. M., De-Gol, A. J., Willis, D. R., Shan, Y., Canadell, J. G., Friedlingstein, P., Creutzig, F., & Peters, G. P. (2020). Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change*, *10*(7), 647–653. https://doi.org/10.1038/s41558-020-0797-x

Maestas, C. (2016). *Expert Surveys as a Measurement Tool* (L. R. Atkeson & R. M. Alvarez, Eds.; Vol. 1). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190213299.013.13

Malnača, K., Thrasyvoulou, P., Āboliņš, Ģ., Rumbina, R., & Manzo, S. (2023). Rail Baltica in Economic Focus. In *Rail Baltica in Economic Focus* (Vol. 1). https://www.railbaltica.org/wp-content/uploads/2023/06/Rail-Baltica-in-Economic-Focus_1-2023_active-1.pdf

Maskeliūnaitė, L. (2021). Railways in Lithuania: from Tsarist Russia to Rail Baltica. *Transport*, *36*(4), 364–375. https://doi.org/10.3846/transport.2021.16086

Mehta, V. (2019). *What are the advantages & disadvantages of railway transport? The advantages & disadvantages of railway transport*. http://www.rajputbrotherhood.com/knowledge-hub/business-studies/what-are-the-advantages-a-disadvantages-of-railway-transport.html

Military railways - Wikipedia. (2023). https://en.wikipedia.org/wiki/Military_railways

Neverauskienė, L. O., Novikova, M., & Kazlauskienė, E. (2021). Factors determining the development of intelligent transport systems. *Business, Management and Economics Engineering*, *19*(2), 229–243. https://doi.org/10.3846/bmee.2021.15368

OpenRailwayMap. (2024). [Esami geležinkelio keliai ruože Lenkijos ir Lietuvos valstybių siena–Kaunas]. https://www.openrailwaymap.org/

Patvirtinta trasos alternatyva, kuria ateityje bus tiesiamas „Rail Balticos“ geležinkelis nuo Kauno iki sienos su Lenkija - Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija. (2022). https://sumin.lrv.lt/lt/naujienos/patvirtinta-trasos-alternatyva-kuria-ateityje-bus-tiesiamas-rail-balticos-gelezinkelis-nuo-kauno-iki-sienos-su-lenkija/

Phillip, J., Zamani-Sabzi, H., Phillip King, J., Gard, C. C., & Abudu, S. (2016). Statistical and analytical comparison of multi-criteria decision-making techniques under fuzzy environment. *Operations Research Perspectives*, *3*, 92–117. https://doi.org/10.1016/j.orp.2016.11.001

„Rail Baltica“: perkamos paslaugos žemės išpirkimo projektams parengti | LTG Infra. (2022). https://ltginfra.lt/naujienos/2022-10-17-rail-baltica-perkamos-paslaugos-zemes-ispirkimo-projektams-parengti-2/

Rail freight transported: Estonia 2009-2022 | Statista. (2023). https://www.statista.com/statistics/435217/estonia-tonne-kilometres-of-freight-transported-by-rail/

Rail freight transported: Latvia 2008-2022 | Statista. (2023). https://www.statista.com/statistics/435260/latvia-tonne-kilometres-of-freight-transported-by-rail/

Rail freight transported: Lithuania 2008-2022 | Statista. (2023). https://www.statista.com/statistics/435264/lithuania-tonne-kilometres-of-freight-transported-by-rail/

Rail transport sector | Ministry of Economic Affairs and Communications. (2022). https://www.mkm.ee/en/objectives-activities/transport/rail-transport-sector

Railway transport | Ministry of Transport and Communications. (2023). https://sumin.lrv.lt/en/sector-activities/railway-transport-1

SJSC "Latvijas dzelzceļš" (Latvian railway). (2022). https://www.ldz.lv/sites/default/files/LDZ%20Network%20Statement%202023%20%28gr.10%29.pdf

Song, T., Pu, H., Schonfeld, P., Zhang, H., Li, W., Peng, X., Hu, J., & Liu, W. (2021). GIS-based multi-criteria railway design with spatial environmental considerations. *Applied Geography*, *131*, 102449. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102449

Stoilova, S., Munier, N., Kendra, M., & Skrúcaný, T. (2020). Multi-Criteria Evaluation of Railway Network Performance in Countries of the TEN-T Orient–East Med Corridor. *Sustainability*, *12*(4), 1482. https://doi.org/10.3390/su12041482

Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2023). Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts. *Encyclopedia*, *3*(1), 77–87. https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006

The results and efficiency of railway infrastructure financing within the EU - Publications Office of the EU. (2015). https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2fd8f4ac-7d3e-11e5-b8b7-01aa75ed71a1/language-en

Tollefson, J. (2021). COVID curbed carbon emissions in 2020 - but not by much. *Nature*, *589*(7842), 343. https://doi.org/10.1038/D41586-021-00090-3

Triantaphyllou, E., Shu, B., Nieto Sanchez, S., & Ray, T. (1998). *Multi-Criteria Decision Making: An Operations Research Approach*. https://bit.csc.lsu.edu/trianta/EditedBook_CHAPTERS/EEEE1.pdf

Vinogradova, I. (2016). MCDM metodų rezultatų apjungimas pagal jų nustatytą svarbumą. *Lietuvos Matematikos Rinkinys*, *57(B)*, 77–82.

Vulevic, A. (2016). Accessibility concepts and indicators in transportation strategic planning issues: theoretical framework and literature review. *Logistics & Sustainable Transport*, *7*(1), 58–67. https://doi.org/10.1515/jlst-2016-0006

Why boosting Europe's creaky train network is vital to prepare for war. (2024). https://www.telegraph.co.uk/world-news/2024/04/06/railways-border-delays-impede-nato-russia-prepare-war/

Widianta, M. M. D., Rizaldi, T., Setyohadi, D. P. S., & Riskiawan, H. Y. (2018). Comparison of Multi-Criteria Decision Support Methods (AHP, TOPSIS, SAW & PROMENTHEE) for Employee Placement. *Journal of Physics: Conference Series*, *953*(1), 012116. https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012116

Zavadskas, E., Kaklauskas, A., & Šarka, V. (1994). The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and Economic Development of Economy*, *1*, 131–139.

Zionts, S. (1979). MCDM—If Not a Roman Numeral, Then What? *Interfaces*, *9*(4), 94–101. https://doi.org/10.1287/inte.9.4.94