

**KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS**

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Jūrų inžinerijos katedra

Martynas Šilgalis

**JŪRINIŲ VĖJO JĖGAINIŲ PAMATŲ TIPŲ ANALIZĖ IR  
VERTINIMAS DAUGIATIKSLIAIS VERTINIMO  
METODAIS**

Uosto statinių studijų programos

magistro baigiamasis darbas

Darbo vadovas

lekt. dr. Vyantas Bagočius

Klaipėda, 2017

**KLAIPĖDA UNIVERSITY**

Faculty of Marine Technologies and Natural Sciences

Department of Marine Engineering

Martynas Šilgalis

**ANALYSIS AND ASSESSMENT OF OFFSHORE WIND POWER  
PLANT FOUNDATION TYPES USING MULTIPURPOSE  
ASSESSMENT METHODS**

Port structures study program

Master Thesis

Academic supervisor

dr. Vygantas Bagočius

Klaipėda, 2017

# KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Jūrų inžinerijos katedra

**TVIRTINU** \_\_\_\_\_  
Studijų programos vadovė  
Lekt. dr. J. Rutė

## JŪRINIŲ VĖJO JĖGAINIŲ PAMATŲ TIPŲ ANALIZĖ IR VERTINIMAS DAUGIATIKSLIAIS VERTINIMO METODAIS

Magistro baigiamasis darbas

<b>Autorius</b>	<b>TMNUS – 15 gr. magistrantas</b>	_____
	<b>M. Šilgalis</b>	<i>(parašas, data)</i>
<b>Vadovas</b>	<b>lekt. dr. V. Bagočius</b>	_____
		<i>(parašas, data)</i>
<b>Recenzentas</b>	<b>prof. dr. M. Samofalov</b>	_____
		<i>(parašas, data)</i>
<b>Recenzentas</b>	<b>lekt. dr. A. Štuopys</b>	_____
		<i>(parašas, data)</i>
<b>CD pateiktas</b>	<b>lekt. dr. J. Rutė</b>	_____
		<i>(parašas, data)</i>

Klaipėda, 2017

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS  
JŪROS TECHNOLOGIJŲ IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS  
JŪRŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Uosto statinių studijų programa,  
Valstybinis kodas 612H20004  
Antra pakopa:  
Statybos inžinerijos magistro kvalifikacija

TVIRTINU:  
Studijų programos vadovė  
lekt. dr. Jevgenija Rutė  
.....  
(parašas)  
2015 m. .... mėn. .... d

MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO  
UŽDUOTIS

Studentas Martynas Šilgalis  
(vardas, pavardė)

Baigiamojo magistro darbo tema

**JŪRINIŲ VĖJO JĖGAINIŲ PAMATŲ TIPŲ ANALIZĖ IR VERTINIMAS DAUGIATIKSLIAIS  
VERTINIMO METODAIS**

Darbe išnagrinėti, ištirti ir aprašyti šias dalis:

1. Įvadas;
2. Jūrinių vėjo jėgainių pamatų tipų analizė;
3. Daugiatikslių metodų analizė;
4. Pamatų alternatyvos, vertinimo rodikliai;
5. Rodiklių reikšmingumas;
6. Sukurti vertinimo modelį kuris parenka racionaliausią alternatyvą;
7. Rezultatų aptarimas;
8. Išvados;
9. Literatūros sąrašas;
10. Rekomendacijos.

Darbą parengti ir pateikti pagal KU Senato 2010 m. balandžio mėn. 09 d. nutarimu Nr. 11 – 56 patvirtintu „Klaipėdos universiteto studentų savarankiškų rašto ir meno darbų bendrųjų reikalavimų aprašo“.

Užduoties gavimo data: 2015 rugsėjo mėn. 29 d.  
Darbo baigimo terminas: 2017 gegužės mėn. 26 d.  
Studentas: Martynas Šilgalis .....  
(vardas, pavardė) (parašas)  
Darbo vadovas: lekt. dr. Vygantas Bagočius .....  
(vardas, pavardė) (parašas)

Baigiamąjį darbą pateikti dviem popieriniais egzemplioriais (recenzentai, po recenzavimo grąžinama gynimo komisijai) ir kompiuterinė „*V\_Pavarde temos\_pirmi\_penki\_zodziai.pdf*“ laikmena. Kompiuterinė laikmena pateikiama dviem egzemplioriais: baigiamojo darbo vadovui ir studijų programos vadovei.

# MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO LYDRAŠTIS

.....  
(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

.....  
(magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

**Patvirtinu, kad magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas magistro baigiamasis darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.**

.....  
(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

**Sutinku, kad magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.**

.....  
(magistro darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

**Magistro baigiamąjį darbą ginti**

.....  
(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

.....  
(data )

.....  
(magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje

(data)

.....  
(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

**Magistro baigiamąjį darbą ginti**

.....  
(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

.....  
(data )

.....  
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

**Recenzentu(-ais) skiriu**

.....  
(įrašyti recenzento(ų) vardą, pavardę)

.....  
(data )

.....  
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

## Lentelių sąrašas

Lent. Nr.	Lentelės pavadinimas	Psl.
1.	Potencialių jūrinių vėjo jėgainių teritorijų rodikliai	19
2.	Gravitacinių pamatų SSGG analizė	21
3.	Monopolinių pamatų SSGG analizė	23
4.	Kesoninių pamatų SSGG analizė	24
5.	Karkasinių pamatų SSGG analizė	25
6.	Plūduriuojančių pamatų tipų palyginimas	27
7.	Pusiau plūduriuojančių pamatų SSGG analizė	28
8.	Strypo tipo plūduriuojančių pamatų SSGG analizė	30
9.	Įtemptos atramos tipo plūduriuojančių pamatų SSGG analizė	31
10.	Daugiatikslių metodų klasifikacija	32
11.	5 balų vertinimo sistema	35
12.	Anketos pildymo pavyzdys	36
13.	T. Saaty koeficientų lentelė	37
14.	Variantų lyginamųjų rodiklių aprašymas	39
15.	Rodiklių reikšmingumas	49
16.	Pamatų palyginimo duomenys	51

## Paveikslėlių sąrašas

Pav. Nr.	Paveikslėlio pavadinimas	Psl.
1.	Vėjo jėginių pajėgumai Europoje	13
2.	Stiebinis vėjo malūnas Lenkijoje ir kepurinis vėjo malūnas Ispanijoje	14
3.	2 menčių vėjo malūno iliustracija ir 3 menčių vėjo malūnų parkas esantis Japonijoje	15
4.	Vertikalios ašies ir horizontatlios ašies vėjo jėgainės	16
5.	Jūroje esančių vėjo jėginių pajėgumas 2000 – 2011 metais	16
6.	Potencialios jūrinių vėjo jėginių teritorijos	18
7.	Pamatų tipai: gravitaciniai, monopoliniai, kesoniniai, trijų polių kesoniniai, karkasiniai ir plūduriuojantys	19
8.	Pamatų tipų konstravimo dažnis	20
9.	Gravitacinio tipo pamatai, panaudoti Šiaurės jūroje pastatyti vėjo jėginei	20
10.	Gravitaciniams pamatams montuoti naudojama įranga	21
11.	2007 metų pabaigoje buvo pastatytas 25 vėjo jėginių parkas monopoliniais pamatais Liverpulyje, Velse	23
12.	Kesoninių pamatų tipai	24
13.	Keturių polių karkasiniai pamatai naudoti Škotijoje ir Belgijoje	25
14.	Plūduriuojančių pamatų tipai	27
15.	Pusiau plūduriuojančio tipo pamatų struktūra	28
16.	<i>Hywind</i> koncepcija	29
17.	Įtemptos atramos tipo plūduriuojančių pamatų dizaino galimybės	30
18.	Subjektyvių reikšmingumų skaičiavimo metodų klasifikacija	34
19.	Tvaraus vystymo veiksmų santykis	39
20.	Optimizacijos modelio principinė schema	47
21.	Jūrinių vėjo jėginių pamatų rangai apskaičiuoti skirtingais daugiataksliais metodais	66

# TURINYS

SANTRAUKA .....	9
SUMMARY .....	10
SANTRUMPOS .....	11
ĮVADAS .....	12
I. LITERATŪROS APŽVALGA .....	14
1.1. Vėjo jėgainė ir jos istorija .....	14
1.2. Jūrinės vėjo jėgainės .....	16
1.3. Jūros vėjo jėgainės Lietuvoje .....	18
1.4. Jūrinių vėjo jėgainių pamatų tipai .....	19
1.4.1. Gravitaciniai pamatai .....	20
1.4.2. Monopoliniai (poliniai) pamatai .....	22
1.4.3. Kesoninio tipo pamatai .....	23
1.4.4. Karkasinio tipo pamatai .....	24
1.4.5. Plūduriuojančio tipo pamatai .....	26
1.5. Kompleksinio vertinimo metodai .....	31
1.5.1. Daugiakriterinis sprendimo priėmimo metodai ir jų klasifikacija .....	31
1.5.2. Rodiklių reikšmingumo nustatymas .....	33
II. JŪRINĖS VĖJO JĖGAINĖS PAMATŲ TIPO PARINKIMAS .....	38
2.1. Daugiatiksliis sprendimo priėmimas .....	38
2.2. Jūrinės vėjo jėgainės pamatų tipo alternatyvos .....	38
2.3. Vertinimo rodikliai .....	38
2.4. Magistrinio darbo uždaviniams spręsti naudojami daugiatislio vertinimo metodai .....	41
2.4.1. SAW metodas .....	41
2.4.2. TOPSIS metodas .....	42
2.4.3. COPRAS metodas .....	43
2.4.4. WASPAS metodas .....	44
2.4.5. MOORA metodas .....	45
2.4.6. Vėjo jėgainių pamatų jūroje daugiatisliis vertinimas .....	46
III. REZULTATAI .....	66
IŠVADOS .....	68
REKOMENDACIJOS .....	69
LITERATŪROS ŠALTINIAI .....	70
PRIEDAI .....	77

Klaipėdos universitetas

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Jūrų inžinerijos katedra

Uosto statinių studijų programos baigiamasis magistro darbas

## **JŪRINIŲ VĖJO JĖGAINIŲ PAMATŲ TIPŲ ANALIZĖ IR VERTINIMAS DAUGIATIKSLIAIS VERTINIMO METODAIS**

Autorius: M. Šilgalis

Vadovas: lekt. dr. V. Bagočius

Kalba: lietuvių

### **SANTRAUKA**

Sukurtas daugiatis vertinimo modelis, kurio pagalba yra atliekamas vėjo jėgainių pamatų tipų jūroje daugiatis vertinimas ir atliekamas racionaliausio varianto parinkimas.

Šiame darbe teorinėje dalyje atlikta literatūros apžvalga apie jūrinių vėjo jėgainių pamatų tipus: fiksuoto tipo (gravitacinius, monopolinius, kesoninius, karkasinius) ir plūduriuojančius (strypo tipo, įtemptos atramos tipo ir pusiau plūduriuojančius) pamatus. Aptarti pamatų išskirtinimai, pagrindiniai šių tipų privalumai ir trūkumai taikant SSGG analizę.

Tiriamojame dalyje nustatyti pagrindiniai jūrinių vėjo jėgainių pamatų vertinimo kriterijai, kuriais remiantis buvo sukurta ir siekiant nustatyti kriterijų reikšmingumus pateikti ekspertams vertinti pagal T. Saaty vertinimo skalę. Gauti duomenys apdoroti Excel programa ir panaudoti tolesniuose skaičiavimuose. Kriterijų reikšmingumui nustatyti naudojamas AHP metodas, o racionaliam pamatų tipui nustatyti taikomi COPRAS, MOORA, SAW, TOPSIS ir WASPAS daugiatis bei daugiakriteriniai vertinimo metodai. Gautų rezultatų apibendrinimui panaudotas Copeland metodas.

Baigiamąjį darbą sudaro: 77 puslapių, 21 paveikslėlių ir 16 lentelių.

Raktažodžiai: vėjo jėgainė, pamatų tipai, optimizavimas.

Klaipeda University

Faculty of Marine Technologies and Natural Sciences

Department of Marine Engineering

Final thesis for Master's degree in Port Structures Engineering programme

# **ANALYSIS AND ASSESSMENT OF OFFSHORE WIND POWER PLANT FOUNDATION TYPES USING MULTIPURPOSE ASSESSMENT METHODS**

Author: M. Šilgalis

Supervisor: lect. dr. V. Bagočius

Language: Lithuanian

## **SUMMARY**

Multipurpose assessment method has been created. It helps to carry out multipurpose assessment of offshore wind power plant foundation types and the selection of the most rational option.

Theoretical part of the work provides the review of the literature on the types of offshore wind power plant foundations: fixed-type (gravity - based, monopile, caisson, jacket) and floating (spar, tension – leg platform and semi-submersible) foundations. Uniqueness of foundations as well as the main advantages and disadvantages of these types have been discussed applying SWOT analysis.

The survey part provides the establishment of the main assessment criteria for offshore wind power plant foundations, on the basis of which as well as with the help of experts and the usage of T. Saaty scale their magnitudes were found. The received data were processed using Excel programme and used in further calculations. AHP method was used to determine criteria magnitude, and COPRAS, MOORA, SAW, TOPSIS and WASPAS multipurpose and multi-criteria assessment methods were used to determine rational type of foundations. Copeland method was used to generalize the received results.

Final thesis consists of: 77 pages, 21 pictures and 16 tables.

Key words: wind power plant, foundation types, optimization.

## SANTRUMPOS

AHP – (*angl. The Analytic Hierarchy Process*) analitinių hierarchijų procesas;

COPRAS – (*angl. Method of Multiple Criteria Complex Proportional Assessment*) – daugiatis kompleksinio proporcingo įvertinimo metodas;

IEZ – išskirtinė ekonominė zona;

MADM – (*angl. Multiple Attribute Decision Making method*) - daugiatis sprendimo priėmimo metodas;

MCDM – (*angl. Multiple Criteria Decision Making method*) - daugiakriterinis sprendimų priėmimo metodas;

MODM – (*angl. Multi-Objective Decision Making*) - daugiatis tolydusis sprendimo priėmimas;

MOORA – (*angl. Multi-Objective Optimization by Ratio analysis*) - daugiatis optimizavimas, grindžiamas santykinių dydžių analize;

SAW – (*angl. Simple Additive Weighting*) - paprastas adityvus svorių metodas;

SSGG – (*angl. SWOT – Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*) – analizės metodas, kurio metu nustatomos stiprybės/pranašumai, silpnybės/trūkumai, galimybės ir grėsmės;

TOPSIS – (*angl. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) – artumo idealiajam taškui metodas;

WASPAS – (*angl. Weighted Aggregated Sum Product Assessment*) - svorinės agreguotos sumos metodas.

## IVADAS

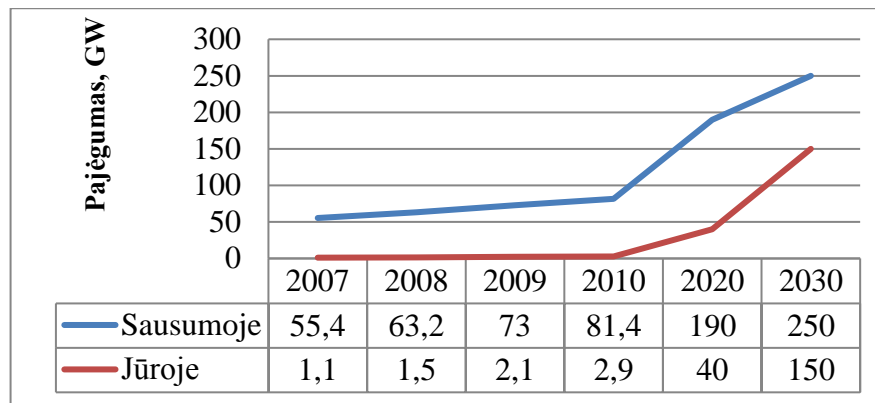
Išsivysčiusiame pasaulyje neproporcingai daug energijos generuojama iš iškastinio kuro. Iškastinio kuro atsargos yra baigtinės ir kasdien vis labiau senka, o energijos suvartojimo priaugis sudaro 2 proc. per metus ir iki 2020 metų energijos visame pasaulyje, lyginant su 9-ojo dešimtmečio pradžia, bus suvartojama dvigubai daugiau. Esamų organinių atsargų užteks tik keliems dešimtmečiams. Dar viena organinio kuro problema – didelis aplinkos teršimas ir klimato kaita. Siekiant mažinti klimato atšilimą, būtina mažinti išskiriamų CO<sub>2</sub> dujų kiekį (Abbasi et al., 2012; Clark Ii et al., 2015; Dinica, 2006; Dominković et al., 2016; England et al., 2014; Fais et al., 2016; Knopf et al., 2015; Moonen et al., 2012; Nehrenheim, 2013). Dėl šių priežasčių būtina mažinti iškastinio kuro vartojimą ir jį keisti alternatyviais, atsinaujinančiais energijos šaltiniais (Kytra, 2006). Vienas iš šių šaltinių yra vėjo energija, kuriai skiriama vis daugiau dėmesio ir lėšų (Mann et al., 2013; Tabassum et al., 2014; Zhao et al., 2014).

Remiantis Europos Vėjo Energijos Asociacijos duomenimis, 2000 – 2013 metų laikotarpiu vėjo jėgainių pagaminama energija pakilo nuo 22,4 proc. iki 72,0 proc. tarp visų naujų energiją gaminančių įrenginių (González et al., 2016).

Pagal Atsinaujančių išteklių energijos direktyvos 2009/28/EB iškeltą tikslą, tikėtina instaliuota galia iki 2020 metų Europos Sąjungoje siektų 209,6 GW (165,6 GW sausumoje ir 43,9 GW atviroje jūroje). Šie skaičiai sudarytų 43,1 proc. visų atsinaujančių elektros energijos šaltinių įdiegtų iki 2020 m. (34,0 proc. sausumoje ir 9,1 proc. jūroje gaminamos elektros energijos) (González et al., 2016). Tuo tarpu Danija planuoja iki 2050 m. naudoti tik atsinaujinančią energiją (Clark Ii et al., 2015).

Didžioji dalis vėjo jėgainių jau pastatyta ar planuojama statyti sausumoje, tačiau didelį potencialą turintys žemės plotai jau užimti, o likę yra sunkiai prieinami, brangus transportavimas ar sudėtingas surinkimas tokiose vietose. Taipogi sausumoje esančios jėgainės daro įtaką paukščių ir kitų gyvūnų rūšių ekologinei aplinkai, o jėgainių keliamas trukšmas neigiamai veikia gyventojus (Kaldellis et al., 2016).

Nuo 2010 metų Europoje sparčiai pradėjo augti jūrinių vėjo jėgainių skaičius ir iki 2030 metų planuojama įdiegti net 150 GW pajėgumo jūrinių vėjo jėgainių, kurios pagamintų 37,5 proc. visos vėjo energijos. Bendras sausumos ir jūrinių vėjo jėgainių pajėgumo planas pavaizduotas 1 pav. Galiausiai tikimasi, kad 2050 m. jūrinių vėjo jėgainių galia sieks 460 GW, pagamins 1813 TWh ir aprūpins 50 proc. Europos elektros energija.



1 pav. Vėjo jėginių pajėgumai Europoje (EWEA, 2012)

2014 metais jūros vėjo pajėgumas Europoje sudarė 8045 MW (Ruddy et al., 2016). Baigiantis 2014 metams, vidutinis vandens gylis, kuriame buvo pastatyta vėjo jėgainė, buvo 22,4 m, o nuotolis nuo kranto 32,9 km (Leble et al., 2016). Europos Vėjo Energetikos Asociacija tikisi, kad jūroje įrengtų vėjo jėginių galia Europos Sąjungoje išaugs nuo 4 GW iki 40 GW iki 2020 metų, kas reikalauja maždaug 6000 6 MW vėjo turbinų (Stuyts et al., 2013).

Vėjo jėginių statyba jūrose šiuo metu tik įsibėgėja, todėl per ateinančius dešimtmečius jų statyboms bus skirta itin daug lėšų. Atliekant šį mokslinį darbą buvo siekiama rasti optimalų jūrų vėjo jėgainės pamatų parinkimo modelį, kurio naudojimas būtų tikslingas ir atneštų naudą suinteresuotiems asmenims. Modeliui sukurti buvo naudojami daugiatiksliai vertinimo metodai – SAW, TOPSIS, COPRAS, WASPAS ir MOORA. Gautų rezultatų apibendrinimui naudojamas Copeland metodas.

*Darbo objektas* – jūrinių vėjo jėginių pamatų alternatyvų vertinimas.

*Darbo aktualumas* – šiuo metu yra numatytos teritorijos jūrinėms vėjo jėgainėms statyti ties Lietuvos pakrante. Skirtingi vėjo jėginių pamatų tipai skiriasi pritaikomumu ir investicijomis, todėl siekiama parinkti optimaliausią alternatyvą, kuri atitiktų keliamus reikalavimus.

*Darbo tikslas* - sukurti vėjo jėginių pamatų (statybos jūroje) parinkimo modelį ir atlikti jų daugiatikslį vertinimą.

*Darbo uždaviniai:*

1. Apžvelgti mokslinėje literatūroje vėjų jėginių jūroje statybos tendencijas ir prognozes.
2. Literatūroje apžvelgti jūros pamatų tipus, ypatumus, techninius būdus.
3. Atlikti daugiatikslų metodų analizę.
4. Parengti rodiklių sistemas ir nustatyti vertinamų rodiklių reikšmingumą.
5. Taikant parengtą rodiklių sistemą ir vertinimo modelį, atlikti vėjo jėginių pamatų jūroje daugiatikslį vertinimą ir racionalų įvertinimą.
6. Pagrįsti padaryto darbo išvadas ir pateikti rekomendacijas.

# I. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1. Vėjo jėgainė ir jos istorija

Vėjo malūnus galima laikyti technikos paminklais. Jų būta įvairios paskirties (grūdų malimo, popieriaus, vėlyklos, aliejaus spaudyklos ir pan.), tipų ir konstrukcijų. Vėjo malūnai buvo naudojami jau ankstyvoje žmonijos istorijoje. Kur ir kada tiksliai pradėti statyti vėjo malūnai nėra aišku, tačiau istoriniai šaltiniai teigia, kad Viduržemio jūros baseine ir Kinijoje vėjo energija jau buvo naudojama daugiau kaip prieš 4000 metų (Kytra, 2006).

Yra duomenų, kad Persijoje vėjo malūnai pumpuodavo vandenį ir maldavo grūdus jau 900 metų prieš Kristų. Laikui bėgant vėjo malūnai išplito ir į aplinkines vietas Artimuosiuose Rytuose, kur vėjo malūnai buvo plačiai naudojami maisto gamybai, o 883 – iaisiais mūsų eros metais vėjo energijos technologija išplito į Europą (Abbasi et al., 2016; Clark li et al., 2015; Shephard, 1995). XVII amžiuje Olandijoje buvo jau 10000 vėjo malūnų. Lietuvoje vėjo malūnai atsirado maždaug XIV amžiuje dėka Baltijos jūros, per kurią vyko prekyba. Dėl šios priežasties daugiausia malūnų ir yra išsidėstę Žemaitijoje. XX a. pradžioje, kartografinės medžiagos duomenimis, Lietuvoje suskaičiuota 1000 malūnų ir net 400 iš jų – Klaipėdos krašte.

Vėjo malūnų konstrukcija skirtinga – stacionarūs, pastatyti ant pamatų, mobilūs, kurie esant tinkamam vėjui buvo išstumiami į lauką ir mažos galios vėjo malūnai, statomi ant ūkinio pastato stogo. Vėjo malūnai taip pat skirstomi pagal galimybę atsukti sparnus į vėjo pusę. Taip išskiriamos 3 grupės: negręžijami, pasukami kartu su visu liemeniu ir malūnai, kurie turi sukiojamą kepurę (2 pav.).



2 pav. Stiebinis vėjo malūnas Lenkijoje ir kepurinis vėjo malūnas Ispanijoje (Igliński et al., 2016; Rojas-Sola et al., 2016)

Kepuriniai vėjo malūnai Lietuvoje ėmė plisti nuo XVIII amžiaus, o XIX amžiuje vėjo malūnai jau buvo paplitę visoje Lietuvoje. Daugiausia vėjo malūnų buvo vidurio Lietuvoje – Panevėžio, Vilkaviškio, Šiaulių ir Naumiesčio apskrityse. Anuometinių vėjo malūnų paskirtis buvo perduoti mechaninę energiją į girkas ar kitus malūno mechanizmus. Tačiau po Antrojo pasaulinio karo atsiradus pigiai elektros energijai, vėjo malūnai buvo primiršti (Kytra, 2006; Katinas ir kt., 1995).

XX – ojo amžiaus pradžioje Prancūzijoje buvo išrastas pirmasis modernus vėjo turbinos varomas elektros generatorius, vėliau išplitęs visame pasaulyje, o po 1990 – ūjų metų Nyderlanduose, Danijoje ir Vokietijoje sparčiai pradėjo augti vėjo jėgainių galingumai – nuo 50 kW, link 100 kW, 200 kW, 500 kW ir galiausiai pasiekė 1,5 MW (Clark Ii et al., 2015).

Šiuolaikinės vėjo turbinos skiriasi nuo ankstesnių vėjo malūnų. Pagrindinis skirtumas toks – dabartinės vėjo jėgainės paverčia kinetinę energiją mechanine energija ir tada mechaninė energija perduodama į elektros generatorių, kuris gamina elektros energiją (Clark Ii et al., 2015; Katinas ir kt., 1995). Pagrindiniai vėjo jėgainės komponentai yra viena, dvi (3 pav.) arba, dažniausiai, trys mentės, rotorius, bokštas, perėjimas ir pamatai (Jose et al., 2016).



3 pav. 2 menčių vėjo malūno iliustracija ir 3 menčių vėjo malūnų parkas esantis Japonijoje (Lee et al., 2017; Van Solingen et al., 2016)

Pagal vėjaračio ašies orientaciją erdvėje vėjo jėgainės skirstomos į du tipus: horizontalios ir vertikalios ašies (4 pav.) (Katinas ir kt., 1995). Jūros vėjo turbinų struktūra išsiskiria iš kitų jūrinių struktūrų, pavyzdžiui, naftos ir dujų platformų - vėjo jėgainių bokštas yra plonas, todėl viršutinėje dalyje ir ties bokšto pagrindu jis susiduria su stipriomis jėgomis. Tai kelia iššūkius jėgainių pamatų

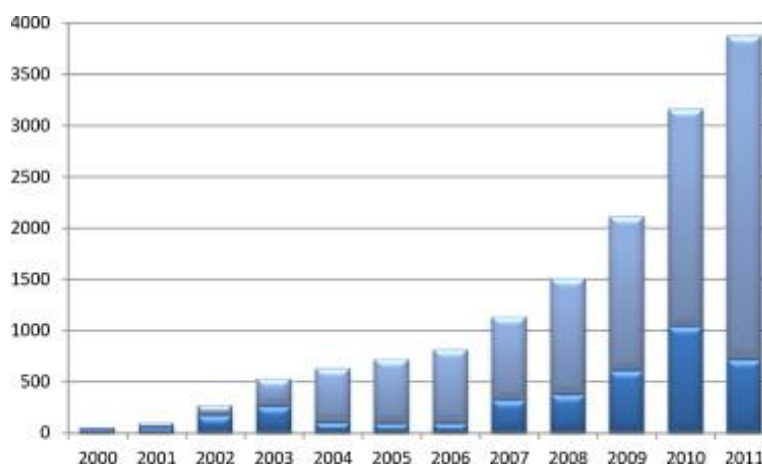
projektavimui ir statybai (Jung et al., 2015). Vėjo turbinos rotoriaus skersmuo yra iki 100 m, todėl esant 25 m/s vėjo greičiui rotorių veikia 470 t/s oro masė. Vėjo turbinos bokštas privalo atlaikyti oro spaudimą esant 50 m/s vėjo greičiui, o pamatas papildomai dar turi atlaikyti ir visos turbinos svorį, todėl pamatai gaminami iš plienų armuoto betono (Kytra, 2006).



4 pav. Vertikalios ašies (kairėje) ir horizontalios ašies (dešinėje) vėjo jėgainės (Kaiser et al., 2012; Zanforlin et al., 2016)

## 1.2. Jūrinės vėjo jėgainės

Pirmą kartą vėjo jėgainė jūroje buvo pastatyta 1990 metais, o dar 2010 – aisiais metais jūroje buvo įdiegta tik 2000 MW siekiančios vėjo jėgainės (Esteban et al., 2011). Pasaulinės vėjo energijos jūroje evoliucija per 2000 – 2011 metų laikotarpį pavaizduota 5 pav. Tamsiai mėlyna spalva pavaizduota instaliuota galia per atitinkamus metus, o kiekvieno stulpelio aukštis parodo kumuliacinį jūros vėjo energijos įdiegimą visame pasaulyje (Madariaga et al., 2012).



5 pav. Jūroje esančių vėjo jėgainių pajėgumas MW 2000 – 2011 metais (Madariaga et al., 2012)

Lietuvoje jūros teritorijoje kol kas statyti vėjo jėgaines valstybės leidimų dar neišduota, tačiau Europoje, ypač Danijoje, Švedijoje, Jungtinėje Karalystėje ir Nyderlanduose sparčiai vystosi jūrinių vėjo jėgainių statyba. Šiaurinėje Baltijos jūros dalyje vėjo jėgainių eksploatavimas ir techninė priežiūra yra sudėtinga dėl šalto klimato ir apledėjimo. Lyginant jūroje esančias vėjo jėgaines su sausumoje pastatytomis, galima išskirti šiuos privalumus:

- erdvūs statybos plotai;
- stipresnis ir stabilesnis vėjas, dėl šios priežasties pagaminama nuo 20 proc. iki 40 proc. (kai kur minima net 200 – 300 proc.) daugiau energijos;
- geresnis elektros tinklų sujungimas;
- vienas iš pagrindinių jūrinių vėjo jėgainių privalumų yra tas, kad nėra gyventojų skundų dėl keliamo triukšmo, šešėlio ar netenkinamo vaizdo. Kuo toliau nuo kranto statomos jėgainės, tuo mažiau nepasitenkinimo iš žmonių (Adedipe et al., 2016; Esteban et al., 2011; Green et al., 2011; Hong et al., 2015; Kaldellis et al., 2016; Lombardi et al., 2013; Pérez-Collazo et al., 2015; Perveen et al., 2014; Project et al., 2009; Zountouridou et al., 2015).

Jūros vėjo turbinų pamatai, priklausomai nuo vandens gylio, klasifikuojamos į tris pagrindines rūšis:

- sekliame vandenyje esantys pamatai. Tai 5 – 30 m vandens gylyje montuojami gravitaciniai, monopoliniai ir kesoniniai pamatai.
- pereinamojo gylio pamatai. Tai 30 – 60 m vandens gylyje montuojami karkasiniai pamatai.
- giliose vandenyse esantys pamatai. Tai dažniausiai gilesniuose nei 60 m vandens gylyje montuojami plaukiojantys pamatai – strypo, pusiau plūduriuojantys ir įtemptos kojos pamatai.

Kuo didesnis atstumas nuo kranto, tuo didesnis vėjo greitis, todėl pagaminama daugiau energijos, tačiau kuo toliau nuo kranto, tuo didesnis vandens gylis, o tai didina statybos, eksploatacijos ir techninės priežiūros kaštus, todėl pagrindinis jūroje esančių vėjo jėgainių trūkumas – didesni kaštai ir montavimo sudėtingumas. Pamatai sudaro 7 – 10 proc. antžeminių vėjo jėgainių visos kainos, o jūroje esančių jėgainių – 15 – 30 proc. ir daugiau. Tai reiškia, kad jei gamybos ir montavimo išlaidos būtų sumažintos, tikėtina, kad žymiai sumažėtų ir bendra vėjo jėgainės kaina. Didesnius kaštus įtakoja kabelių tiesimas, pamatų statymui naudojami specialūs laivai ir sraigtasparniai, įranga ir pačios turbinos, kurios yra brangesnės nei statomos sausumoje.

Reikalinga papildoma apsauga nuo korozijos ir priežiūros išlaidos - jūrinių vėjo jėgainių pamatus veikia jūros vanduo. Ypač pamatų koroziją įtakoja temperatūros pokyčiai, pH sumažėjimas, deguonies kiekio mažėjimas ir druskingumas.

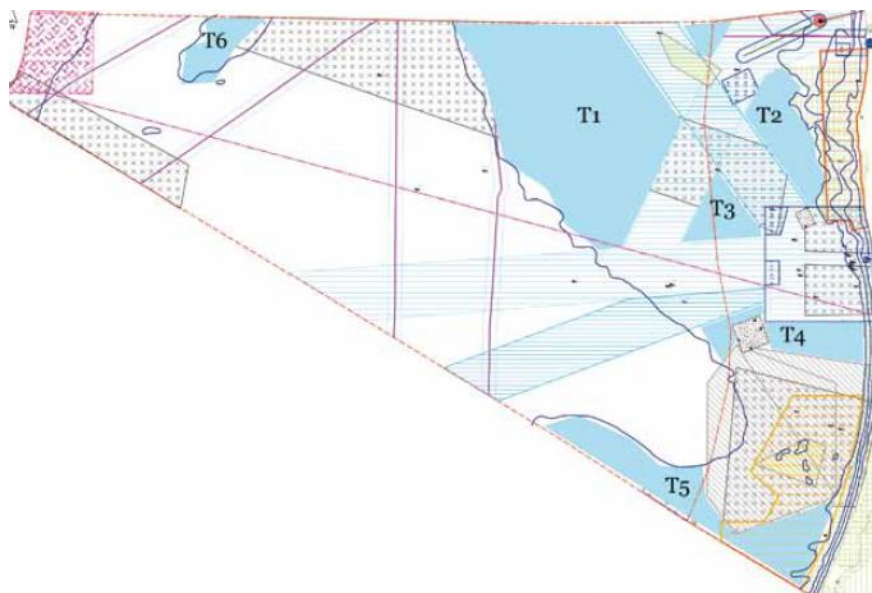
Dar vienas jūroje esančių vėjo jėgainių trūkumas - triukšmas, elektromagnetiniai laukai ir galimas tepalų išsiliejimas, kuris itin neigiamai veikia jūros ekosistemą. Taip pat vėjo jėgainės jūroje gali trikdyti jūros ar migruojančius paukščius, galimi jų susidūrimai su statomomis ar jau

eksploatuojamomis vėjo jėgainėmis (Adedipe et al., 2016; Colmenar-Santos et al., 2016; Dierschke et al., 2016; Kaldellis et al., 2016; R. Simanavičienė, 2016).

### 1.3. Jūros vėjo jėgainės Lietuvoje

2006 – 2008 metais Lietuvos vėjo energetikų asociacija, Strateginės savivaldos institutas ir Klaipėdos universitetas tyrė Baltijos jūros potencialą ir parengė INTERREG IIIa projektą „POWER – Jūros vėjo energetikos vystymo perspektyvos Lenkijos, Lietuvos ir Rusijos Kaliningrado srities jūrinėse teritorijose“. Tyrimo rezultatai parodė, kad Lietuvos IEZ ir teritoriniuose vandenyse 20 – 40 m gylyje galima įrengti vėjo jėgainių parkus, kurių bendras pajėgumas galėtų siekti 1GW. Tai sąlyginai nėra didelis kiekis energijos lyginat pasauliniu mastu, bet nemažas indėlis prie Lietuvos energetinės nepriklausomybės. Tačiau atskirų norminių dokumentų, reglamentuojančių vėjo elektrinių, kabelių projektavimo, statybos ir eksploatacijos darbus, nėra parengta. Yra tik iki 20 m gylio priekrantės juostoje statinių ir įrenginių statybą reglamentuojantys Pajūrio juostos, Statybos ir Saugomų teritorijų įstatymai. Norint statyti gilesniame nei 20 m gylyje reikalingas Aplinkos ministerijos sutikimas, tačiau ši ministerija dar nėra nustačiusi tokio sutikimo suteikimo tvarkos. Dėl šių priežasčių jūrinių vėjo jėgainių statymo projektas vis dar nėra patvirtintas.

Atsižvelgiant į vėjo greitį, vandens gylį, dugno tipą, perdavimo tinklus ir ekonominės veiklos apribojimus, buvo išskirtos šešios teritorijos, kurios pažymėtos 6 pav.



6 pav. Potencialios jūrinių vėjo jėgainių teritorijos

Išskirtų teritorijų plotas, atstumas nuo kranto, vandens gylis ir vėjo greitis nurodyti 1 lentelėje. Pirmą teritoriją (T1) išsidėsčiusi 25 – 59 km nuo kranto ir užima 677 km<sup>2</sup>. Šioje teritorijoje jūros gylis siekia iki 50 m, o vėjas išvysto iki 9,5 m/s greitį. Antra teritorija (T2)

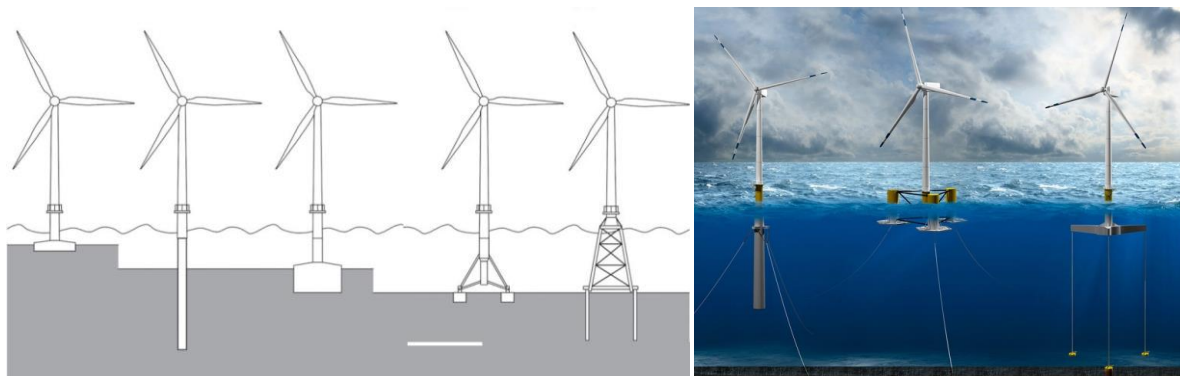
išsidėsčiusi 5 – 15 km nuo jūros kranto, užima 113 km<sup>2</sup>. Ši teritorijoje yra viena sekiausių iš numatytų vietovių, o vėjo greitis siekia iki 9,3 m/s. Trečia teritorija (T3) išsidėsčiusi 15 – 26 km nuo jūros kranto ir yra viena mažiausių – užimamas plotas 64 km<sup>2</sup>. Šioje numatytoje teritorijoje jūros gylis siekia iki 40 m, o vėjo greitis iki 9,3 m/s. Ketvirta teritorija (T4) užima 70 km<sup>2</sup> ir yra arčiausiai kranto, vėjo greitis neviršija 9 m/s. Jūros gylis siekia iki 40 m. Penkta teritorija (T5) nutolusi nuo kranto 2,3 – 45 km ir yra pati didžiausia iš numatytų teritorijų ir siekia net 225 km<sup>2</sup>. Jūros gylis penktoje teritorijoje svyruoja nuo 20 iki 50 m, o vėjo greitis siekia iki 9,3 m/s. Paskutinė teritorija (T6) yra mažiausia iš numatytųjų, giliausia ir toliausiai nuo kranto, todėl vėjo greitis didžiausias ir viršija 9,5 m/s (Blažauskas ir kt., 2013).

1 lentelė. Potencialių jūrinių vėjo jėgainių teritorijų rodikliai

	Numatytos teritorijos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
<b>Plotas, km<sup>2</sup></b>	677	113	64	70	225	62
<b>Atstumas nuo kranto, km</b>	25 – 59	5 – 15	15 – 26	2,5 – 25	2,3 – 45	83 – 97
<b>Jūros gylis, m</b>	20 – 50	20 – 30	30 – 40	20 – 40	20 – 50	50
<b>Vidutinis metinis vėjo greitis, m/s</b>	9 – 9,5	8,5 – 9,3	8,7 – 9,3	8,7 – 9	8,5 – 9,3	> 9,5

#### 1.4. Jūrinių vėjo jėgainių pamatų tipai

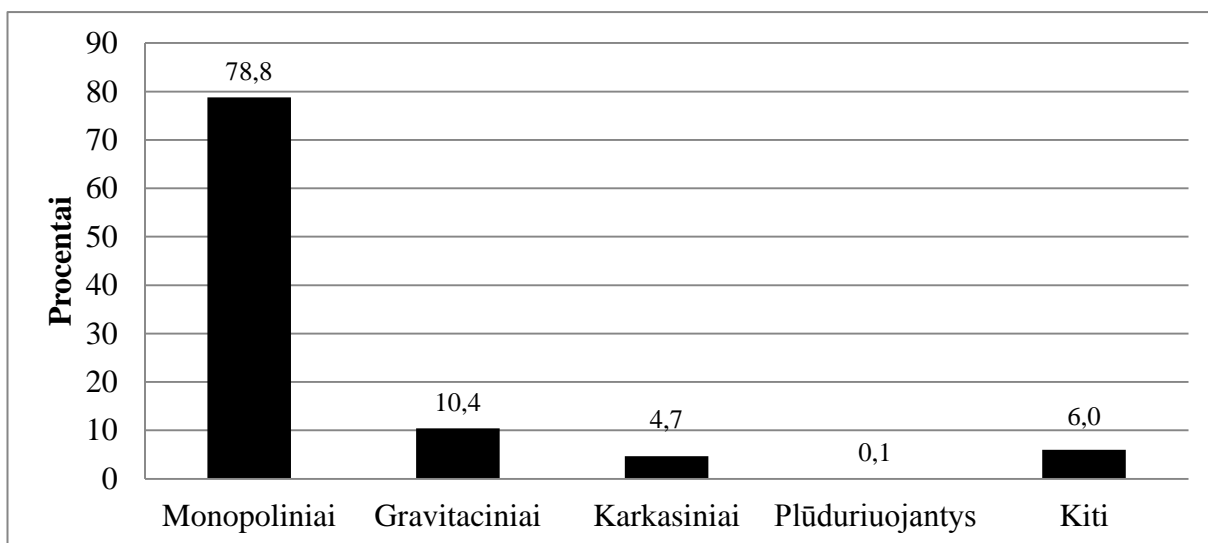
Pamatų įrengimo technologija atsižvelgia į aplinkines esamas sąlygas – maksimalų vėjo greitį, vandens gylį, bangų aukštį, srovės stiprumą ir t.t. Pamatų modeliavimas priklauso nuo grunto savybių, reljefo tipo bei perduodamų apkrovų į gruntą. Išskiriami šie jūros vėjo jėgainių pamatų tipai (7 pav.): fiksuoti (gravitaciniai, monopoliniai, kesoniniai, karkasiniai) ir plūduriuojantys (Kaiser et al., 2012; Koh et al., 2016; NGI, 2013).



7 pav. Pamatų tipai nuo kairės link dešinės: gravitaciniai, monopoliniai, kesoniniai, trijų polių kesoniniai, karkasiniai ir plūduriuojantys (strypo, pusiau plūduriuojantys ir įtemptos atramos)

(Kallehave et al., 2015; Blažauskas ir kt., 2013)

Dažniausiai statomi stacionarūs pamatai, tokie kaip monopoliniai ar gravitacinio tipo (8 pav.). Iki 2014 metų pabaigos Europoje iš viso buvo įrengta 2920 pamatų, iš kurių net 78,8 proc. buvo monopoliniai, 10,4 proc. visų pamatų sudarė gravitacinio tipo ir tik 0,1 proc. sudarė plūduriuojantys pamatai (Kaldellis et al., 2016).



8 pav. Pamatų tipų konstravimo dažnis (Kaldellis et al., 2016)

Pamažu vėjo energetikos pramonė skverbiasi ir į gilesnius vandenius, kur vėjas yra stipresnis ir pagaminama atitinkamai daugiau elektros energijos. Didėjant gyliui, statybos savikaina taip pat didėja. Sąnaudų didėjimas labiausiai susijęs su pamatų kaštais. Tačiau elektros energijos pagaminimo dydis kompensuoja tai (Liu et al., 2016).

### 1.4.1. Gravitaciniai pamatai

Gravitaciniai pamatai yra seniausiai naudojami vėjo jėgainių pamatų tipas. Jie pagaminti iš gelžbetonio, neretai užpildyti smėliu, atsveria vėjo turbiną, atlaiko vėjo ir bangų poveikį, todėl neleidžia vėjo jėgainei apsiversti (9 pav.).



9 pav. Gravitacinio tipo pamatai, kurie buvo naudojami Šiaurės jūroje pastatytai vėjo jėgainei (Esteban et al., 2015)

Pirmą kartą gravitacinio tipo pamatai pastatyti 1973 metais Šiaurės jūroje (Singh et al., 2010). 2012 metų duomenimis, gravitaciniai pamatai sudarė 16 proc. esamų pamatų. Gravitacinių pamatų pagrindinis pranašumas – kaina. Taip pat gravitaciniai pamatai tinkami vietose, kur sunku sumontuoti polius ar vietose, kur didelė ledo susidarymo tikimybė (Malhotra, 2010). Jie gaminami iš pigesnių medžiagų, tačiau jų gamybai reikalingos specialios gamybos patalpos, o gabenimas į tikslingą vietą ir montavimas yra sudėtingas ir reikalaujantis didesnių lėšų dėl didelio jų dydžio ir svorio. Transportavimui reikalingi specialūs laivai, kurie gali dirbti su dideliais kroviniais (10 pav.) (He et al., 2016; Kaiser et al., 2012; Project et al., 2009; Vølund, 2005). Gravitaciniams pamatams didelę įtaką daro jūros dugnas, todėl prieš montuojant gravitacinius pamatus, jūros dugnas turi būti paruoštas – iškastas ir išlygintas. Šio tipo pamatai montuojami sekliame vandenyje, kai jūros dugnas nuo 0 iki 25 m. Gravitacinių pamatų SSGG analizė pateikta 2 lentelėje (Higgins et al., 2014; Koh et al., 2016; Project et al., 2009).



10 pav. Gravitaciniams pamatams montuoti naudojama įranga  
(Esteban et al., 2015; Kaiser et al., 2012)

2 lentelė. Gravitacinių pamatų SSGG analizė

Stiprybės	Silpnybės
<p>Priimtina kaina;                      Betono konstrukcija patvari jūrinėje aplinkoje;                      Maži priežiūros kaštai;                      Betono kaina mažesnė nei plieno;                      Greitesnė gamyba;                      Įrengiant nekliamas didelis triukšmas;                      Mažai įtakojama aplinka;                      Lengvai demontuojami;                      Didelė statybos patirtis.</p>	<p>Transportavimo ir montavimo sudėtingumas;                      Tinkami tik sekliuose vandenyse;                      Aukštos investicijos pradiniam etape;                      Priklausomai nuo grunto savybių yra skirtingi dugno paruošimo metodai;                      Nepalankus oras riboja montavimo darbus;                      Statant gilesniuose vandenyse ženkliai didėja kaštai.</p>

<b>Galimybės</b>	<b>Grėsmės</b>
<p>Ilgesnis eksploatavimo laikas;</p> <p>Uostuose užtenkamai vietos gamybai;</p> <p>Galimybė taikyti esant įvairiam dirvožemiui.</p>	<p>Blogomis oro sąlygomis sudėtinga priežiūra;</p> <p>Uosto apribojimais – ribota keliamoji jėga;</p> <p>Žinių stoka priimant tam tikrus sprendimus (pvz., grunto paruošimo metodo parinkimas).</p>

### **1.4.2. Monopoliniai (poliniai) pamatai**

Plienu armuoti gelžbetoniniai vieno poliaus pamatai yra plačiai naudojami statant jūros vėjo jėgaines ir jų parkus. Tai yra dažniausiai pasirenkamas pamatų tipas sekliuose – iki 30 metrų gylio – vandenyse (Higgins et al., 2014). 2016 metų duomenimis daugiau nei 75 proc. visų jūrinių vėjo jėgainių pamatų sudaro būtent monopolinio tipo pamatai (Carswell et al., 2016). Dažniausiai jie gaminami iš plieno, bet gali būti ir iš betono. Šio tipo pamatus sudaro 3,5 – 6 metrų skersmens vamzdis, kurio svoris siekia apie 650 tonų. Tinkamiausias gruntas – smėlėtas. Vamzdžio sienelės storis svyruoja nuo 40 iki 150 mm, o 20 – 40 metrų šio polio (apie 40 – 50 proc.), priklausomai nuo jūros grunto tipo, įkalta arba įgręžta į jūros dugną (11 pav.). Iš esmės tai yra vėjo jėgainės bokšto pratęsimas ir įkalimas į gruntą. Pamatų įkalimas yra efektyvesnis ir pigesnis nei gręžimas. Monopolinių pamatų storis ir įkalimo į dugną gylis priklauso nuo dirvožemio savybių, aplinkos sąlygų, planuojamos apkrovos ir dizaino (Adedipe et al., 2016; Horgan, 2013; Kaiser et al., 2012; Randolph, 2005). Pagrindinis monopolinių pamatų privalumas - nereikia dugno paruošimo, tačiau kai dugną sudaro stambūs rieduliai, juos reikia išsprogdinti (Depina et al., 2015; Garcia, 2012; Hammar et al., 2010; He et al., 2016; Koh et al., 2016; Project et al., 2009). Sekliuose vandenyse tai ekonomiškai geriausias variantas (Damgaard et al., 2014).

Monopoliniai pamatai statomi jūros plotuose, kur yra stabilus vėjas ir kuo mažesnė turbulencija. Kuo gilesnis vanduo, tuo sudėtingesni ir brangesni pamatai. Dažniausiai naudojami, kai vandens gylis 5 – 25 metrai. Monopoliniai pamatai pasižymi lankstumu, todėl didėjant vandens gyliui, reikalingos didesnės investicijos monopolinių pamatų medžiagoms - reikalingos didesnio skersmens ir storio konstrukcijos tam kad išlaikytų didesnę apkrovą (Adedipe et al., 2016; Higgins et al., 2014). Statant vėjo jėgaines siekiama kuo stipresnio vėjo norint padidinti produkciją, tačiau kuo stipresnis vėjas, tuo didesnė bangų ir vėjo apkrova tenka jėgainės pamatams. Monopoliniai pamatai dažniausiai būna masyvūs, ypač kai gaminami iš betono, ir reikalauja specialių transportavimo sąlygų. Gamykloje polis gaminamas dalimis ir instaliavimo vietoje suvirinamas (Project et al., 2009; Singh et al., 2010). Monopolinių pamatų SSGG analizė pateikta 3 lentelėje.



11 pav. 2007 metų pabaigoje buvo pastatytas 25 vėjo jėginių parkas monopoliniais pamatais Liverpulyje, Velse (Carswell et al., 2016)

3 lentelė. Monopolinių pamatų SSGG analizė

<b>Stiprybės</b>	<b>Silpnybės</b>
<p>Ekonomiškumas sekliame vandenyje;  Nereikia dugno paruošimo;  Didelė statybos patirtis;  Paprastas dizainas;  Greita ir nesudėtinga gamybos technologija;  Betoniniai pamatai tarnauja ilgiau.</p>	<p>Statomi sekliuose vandenyse;  Betoniniai pamatai sunkesni, dėl to reikalinga spec. įranga;  Statant gilesniuose vandenyse ženkliai didėja kaštai;  Didelio skersmens monopolinius pamatus sunku montuoti ir demontuoti.</p>
<b>Galimybės</b>	<b>Grėsmės</b>
<p>Galimybė taikyti esant įvairiam dirvožemiui.</p>	<p>Blogomis oro sąlygomis sudėtinga priežiūra;  Jautrumas turbulencijai.</p>

### 1.4.3. Kesoninio tipo pamatai

Iki 2002 m. didžiąją dalį vėjo turbinų pamatų sudarė gravitaciniai ir monopoliniai, tačiau didėjant energijos poreikiui, būtina keltis giliau į jūrą, kas kelia iššūkį parenkant tinkamus pamatus. Siekiant pagaminti pamatus kurie būtų lengvi, greitai, lengvai pagaminami ir montuojami. Tokio tipo kesoniniai pamatai atitinka šiuos reikalavimus (Stuyts et al., 2013). Pirmą kartą sumontuoti 1995 metais (Bye et al., 1995). Šie pamatai sudaryti iš plieninių apverstų kibirų, kurie leidžia išnaudoti plieno atsparumą ir aukštą betono gniuždomąją galią, kai siurblių pagalba vanduo

išsiurbiamas iš pamatų, sukuriama vakuumas ir jie įsitvirtina į dugną. Dažniausiai naudojamas monopodinis pamatų tipas, tačiau gali būti ir tripodinis ir net tetrapodinis (12 pav.). Esminis skirtumas tarp šių pamatų tas, kad vietoje vieno prisisiurbiančio kibiro yra trys arba keturi ir jie yra mažesni nei monopodinio tipo. Naudojami, kai jūros gylis nuo 5 iki 55 metrų. Pagrindiniai šio tipo pamatų privalumai – paprasta struktūra, nereikia paruošti dugno ir lengvesnis bei greitesnis montavimas ir demontavimas. Bendra kesoninių pamatų SSGG analizė pateikta 4 lentelėje (Gavin et al., 2012; Houlsby et al., 2005; Kurian et al., 2010; Lian et al., 2016; Project et al., 2009).



12 pav. Kesoninių pamatų tipai (iš kairės į dešinę: monopodinis, tripodinis ir tetrapodinis) (Houlsby et al., 2005)

4 lentelė. Kesoninių pamatų SSGG analizė

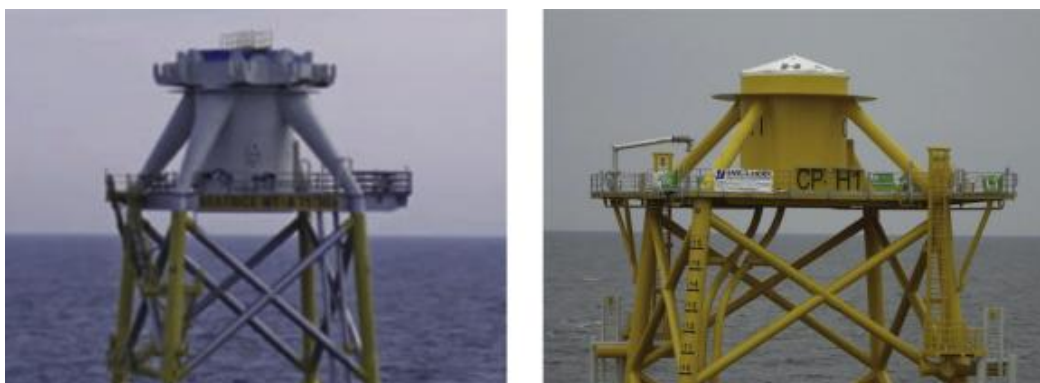
<b>Stiprybės</b>	<b>Silpnybės</b>
Paprastesnė statyba; Greitai montuojami; Patvarumas; Atsparumas šoninėms jėgoms; Nereikalingi specializuoti laivai; Priimtina kaina.	Ribotas montavimo medžiagų asortimentas; Tripodiniai ir tetrapodiniai kesoniniai pamatai yra gerokai brangesni už monopodinius.
<b>Galimybės</b>	<b>Grėsmės</b>
Nereikalingas specialus dugno paruošimas.	Netinkami esant uolietiams pagrindams.

#### 1.4.4. Karkasinio tipo pamatai

Karkasiniai pamatai naudojami kaip alternatyva vėjo jėgainėms. Dažniausiai naudojami dujų ir naftos industrijoje, tačiau planuojama, kad iki 2020 metų karkasiniai pamatai sudarys iki 40 proc. visų jūroje naudojamų vėjo jėgainių pamatų.

Karkasiniai pamatai nereikalauja dugno paruošimo, naudojami esant netvirtam dirvožemiui, absorbuoja apkrovos jėgas ir išlaiko vėjo jėgainę. Karkasiniai pamatai yra tvirti, tačiau itin sunkūs ir dėl to jiems transportuoti reikalinga brangi įranga (Kaiser et al., 2012; Kurian et al., 2009; Project et al., 2009).

Gali būti trijų ir keturių polių. Trijų polių pamatus sudaro 3 poliai – kojos, keturių polių – 4 kojos (13 pav.). Poliai surenkami sausumoje ir baržomis plukdomi į montuojamą vietą. Pagrindiniai karkasinių pamatų privalumai – nereikia dugno paruošimo, galima naudoti giliuose vandenyse nuo 25 iki 50m gylio ir pasižymi tvirta konstrukcija, todėl atlaiko dideles vėjo apkrovas. Jų svoris dvigubai mažesnis nei monopolinių pamatų, todėl mažesnės išlaidos transportavimui ir montavimui. Naudojant karkasinius pamatus giliuose vandenyse, jų gamybai sunaudojama 50 proc. mažiau plieno nei monopolinių pamatų gamybai (Adedipe et al., 2016; Higgins et al., 2014). Nenaudojami sekliuose vandenyse dėl didesnių kaštų nei kitų pamatų tipų. Platūs poliai riboja prieinamumą prie vėjo jėgainės (Project et al., 2009). Karkasinių pamatų SSGG analizė pateikta 5 lentelėje.



13 pav. Keturių polių karkasiniai pamatai naudoti Škotijoje (kairėje, 2007 m.) ir Belgijoje (dešinėje, 2012 m.) (Lee et al., 2016)

5 lentelė. Karkasinių pamatų SSGG analizė

<b>Stiprybės</b>	<b>Silpnybės</b>
Tvirta struktūra; Stabilumas; Atsparumas bangoms; Nereikia dugno paruošimo; Tinka giliuose vandenyse.	Masyvūs pamatai; Dideli kaštai; Ekonomiškai nepriimtini sekliuose vandenyse.
<b>Galimybės</b>	<b>Grėsmės</b>
Maža konkurencija; Nepriklausomybė nuo vietos.	Reikalinga spec. įranga transportavimui.

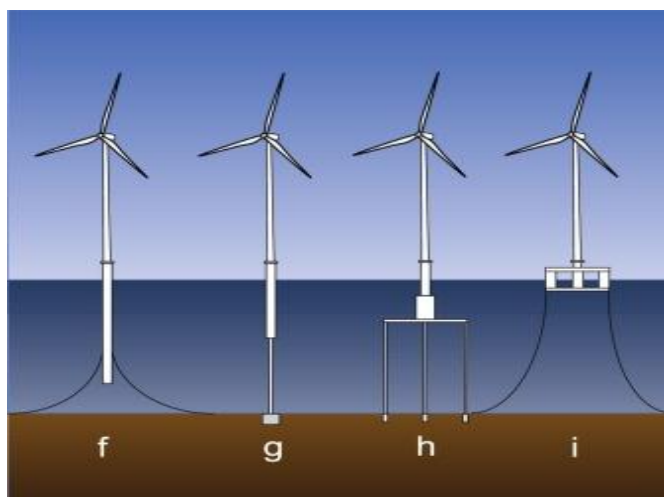
### 1.4.5. Plūduriuojančio tipo pamatai

Vystant vėjo energetiką jūroje, vis labiau siekiama statyti vėjo jėgaines kuo toliau nuo kranto. Didesni vėjo energijos išteklių yra 5 – 50 km nuo kranto, kur vandens gylis dažniausiai didesnis nei 20 m. Tyrimai rodo, kad stacionarūs pamatai, pavyzdžiui, monopoliniai, gravitaciniai, karkasiniai, ekonominiu atžvilgiu nepriimtini montuoti gilesniame nei 30 m vandens gylyje, todėl buvo pradėti kurti plūduriuojantys pamatai (Zhang et al., 2013). Jau 1972 metais Heronemus pasiūlė plūduriuojančių pamatų koncepciją, tačiau tik 1990 metais pradėta rimčiau vertinti plūduriuojančių pamatų panaudojimą giliose (50 – 300 m) vandenyse. Šie pamatai gali būti montuojami gilesniuose vandenyse (daugiau nei 50 m) ir tinka esant nepalankiam dugnui (Higgins et al., 2014). Taip pat plūduriuojančių turbinų pamatai lengviau transportuojami ir perkonstruojami (Abhinav et al., 2015; Koh et al., 2016; Liu et al., 2016). Vienas iš plūduriuojančių vėjo jėgainės pamatų iššūkių – vėjo sukeltas latentinis judesys, kuris labai padidina apkrovą dėl didelių inercijos ir gravitacijos jėgų (Si et al., 2014). Plūduriuojančių pamatų privalumai lyginant su fiksuotais pamatais:

- Mažiau išlaidų lyginant su fiksuoto tipo pamatais;
- Lankstesnės statybų ir montavimo sąlygos;
- Lengvai eksploatuojami ir pašalinami;
- Platus techninių sprendimų ir pamatų dizaino pasirinkimas;
- Galima statyti įvairiuose regionuose, įskaitant Rytų Aziją (Kinijos, Japonijos, Korėjos), JAV (šiaurės ir vakarų, šiaurės rytų pakrantės ir Aliaska), Viduržemio jūrą (Prancūzija, Ispanija, Italija) ir Norvegiją (Gueydon, 2016; Liu et al., 2016).

Plūduriuojantys pamatai pagal tvirtinimo elementus gali būti kelių rūšių ir grafiškai iliustruoti 14 pav.:

1. f – strypo tipo (angl. *Spar*) plūduriuojantis pamatas, sudarytas iš ilgo plieninio cilindro, kuris tvirtinamas švartavimosi lynais ir inkarais;
2. g ir h – įtemptos atramos tipo (angl. *Tension-Leg Platform*) - plaukiojanti platforma iš dalies panardinama ir pritvirtinama plonu strypu ar keliais strypais;
3. i – pusiau pliaukiojantys pamatai (angl. *Semi-Submersible*) - pusiau povandeninė trikampė ar stačiakampė struktūra, kuri pritvirtinama lynais (Koh et al., 2016).



14 pav. Plūduriuojančių pamatų tipai (Koh et al., 2016)

Plūduriuojantys pamatai, lyginant su fiksuoto tipo vėjo jėgainių pamatais, montuojami gilesniuose vandenyse. Plūduriuojančių pamatų tipų tarpusavio palyginimas pateiktas 6 lentelėje. Strypo tipo pamatai yra atsparesni bangavimui ir montuojami gilesniame vandenyje nei įtemptos atramos ar pusiau plūduriuojantys. Tačiau įtemptos atramos tipo pamatams reikia mažiau priežiūros, jų stabilumas didesnis, nors savasis svoris yra mažiausias iš visų plūduriuojančių pamatų tipų. Pusiau plūduriuojančio tipo pamatai pagal gamybos ir montavimo sudėtingumą yra pranašesni už kitus plūduriuojančių pamatų tipus.

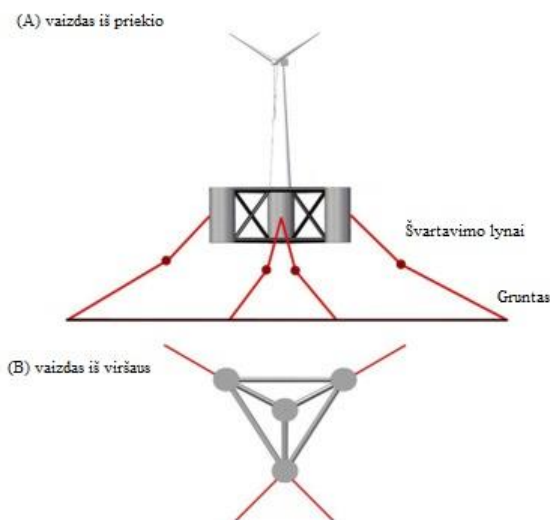
6 lentelė. Plūduriuojančių pamatų tipų palyginimas (Bradley, 2015; Liu et al., 2016)

	Strypo tipo (f)	Įtemptos atramos (g, h)	Pusiau plūduriuojantys (i)
Svoris	11500	1100	2500
Stabilumas	++++	+++++	++
Mažiausias vandens gylis	80	>50	50
Priežiūra	0	+	-
Atsparumas bangavimui	+	0	-
Gamyba ir montavimas	-	-	+
Švartavimas	-	+	-

### Pusiau plūduriuojančio tipo pamatai

Pusiau plūduriuojantys vėjo jėgainių pamatus sudaro trys cilindrų formos stulpai, kurie tarpusavyje yra sujungti ir pritvirtinti prie dugno šešiais lynais (Lopez-Pavon et al., 2015). Šių pamatų struktūra pavaizduota 15 pav. Pusiau plūduriuojančio tipo pamatai montuojami ne gilesniame nei 50 m vandens gylyje. Tai tarpinis variantas tarp monopolinio ir strypo tipo pamatų. Pagrindiniai šių pamatų trūkumai – vėjo sukulto bangavimo, ledų, jūros srovių, audrų ir potvynių įtaka stabilumui. Lyginant su kitais dviem plūduriuojančių pamatų tipais, pusiau plūduriuojančio pamato privalumai:

- Išlaidos, susijusios su švartavimosi sistemomis, yra santykinai mažesnės nei kitų tipų plūduriuojančių pamatų.
- Pamatų statyba, surinkimas, įrengimas ir eksploatacija gali vykti prieplaukoje. Užbaigti pamatai su įdiegta vėjo turbina gali būti velkami į reikiamą vietą.
- Bangų pasipriešinimas panašus į strypo tipo pasipriešinimą, bet mažesnis nei įtemptos atramos (Bradley, 2015).



15 pav. Pusiau plūduriuojančio tipo pamatų struktūra

Lyginant su visais jūrinių vėjų jėgainių pamatų tipais, pagrindiniai pusiau plūduriuojančių pamatų tipo privalumai yra santykinai maža priklausomybė nuo vietovės ir mobilumas. Pusiau plūduriuojantys pamatai lengvai tempami ir montuojami, tačiau yra ganėtinai brangūs dėl didelės struktūros. Šias išlaidas sumažėtų masinės gamybos metu, tačiau tai reikštų didesnę tarptautinę konkurenciją. Pusiau plūduriuojančių pamatų pagrindinės silpnybės – jautrumas bangavimui ir didesnė korozijos tikimybė. Išsamesnė SSGG analizė pateikta 7 lentelėje.

7 lentelė. Pusiau plūduriuojančių pamatų SSGG analizė

Stiprybės	Silpnybės
Surinkimas sausumoje;	Jautrumas bangoms;
Paprastas montavimas;	Aukštos gamybos sąnaudos;
Paprastas demontavimas;	Kompleksinė struktūra;
Priežiūra gali vykti sausumoje;	Ledų įtaka ir korozijos pavojus.
Maža grimzlė;	
Didelis turbinos svoris mažai įtakoja pamatus;	
Nepriklauso nuo grunto sąvybių;	

Stabilumas; Nepriklauso nuo vandens gylio.	
<b>Galimybės</b>	<b>Grėsmės</b>
Didelė pasaulinė rinka; Nepriklausomybė nuo vietos; Skirtingos taikymo galimybės.	Tarptautinė konkurencija; Mažai patirties gaminant ir eksploatuojant šiuos pamatus.

### **Strypo tipo plūduriuojantys pamatai**

Strypo tipo plūduriuojančius pamatus sudaro vertikalus cilindras su balastu apačioje ir pritvirtintas prie dugno švartavimo lynais. Cilindras sudarytas iš plieno ir/arba betono, pripildytas vandens ir žvyro tam, kad išlaikytų cilindrą vertikaloje padėtyje. Šio tipo pamatus galima montuoti tik giliame vandenyje dėl didelės grimzlės - mažiausias vandens gylis 60 m, nors gali prireikti ir 80 – 120 m.

Norvegijoje esančios kompanijos *Siemens* ir *Statoil* „Hywind“ 2009 metais parengė pirmąjį pasaulyje tokio plataus masto projektą pasaulyje ir sumontavo plaukiojančią strypo tipo pamatus turinčią 2,3 MW galingumo vėjo turbiną (16 pav.) Šiaurės jūroje 10 km nuo pietvakarinės Norvegijos pakrantės. „Hywind“ technologija skirta montuoti 120 – 700 m vandens gylyje. Pamatu struktūra sudaryta iš plieno vamzdžio, kuris užpildytas balastu – akmenimis ir vandeniu. „Hywind“ vėjo jėgainė sumontuota 100 m vandens gylyje ir jos stabilumą palaiko 3 švartavimosi lynai (Jamalkia et al., 2016; Muliawan et al., 2013).



16 pav. *Hywind* koncepcija (Muliawan et al., 2013)

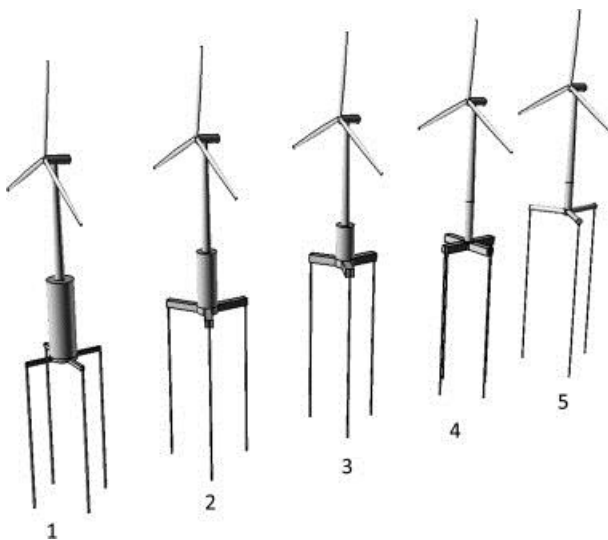
Lyginant su visais jūrinių vėjų jėgainių pamatų tipais, strypo tipo pamatų pagrindinis privalumas paprasta ir stabili struktūra, kurią būtų galima standartizuoti ir gaminti masinę produkciją. Pagrindinės šių pamatų silpnybės – nėra galimybės konstrukcijos surinkti sausumoje ir priklausomybė nuo vandens gylio. Išsamesnė SSGG analizė pateikta 8 lentelėje.

8 lentelė. Strypo tipo plūduriuojančių pamatų SSGG analizė

Stiprybės	Silpnybės
Paprasta struktūra; Stabili struktūra; Nepriklauso nuo grunto savybių.	Didelė grimzlė; Negalimas surinkimas sausumoje; Netinka sekliuose vandenyse.
Galimybės	Grėsmės
Sąveika su vėjo jėgainės bokšto gamyba.	Tinkami tik tam tikroms vietovėms; Labai priklauso nuo vietovės sąlygų; Reikalingi specialūs laivai.

### Įtemptos atramos tipo plūduriuojantys pamatai

Įtemptos atramos pamatai susideda iš horizontalių ir vertikalų komponentų. Horizontali viršutinė konstrukcija yra pritvirtinta prie dugno įtemptais, dažniausiai keturiais, vertikaliais švartavimo lynais (17 pav.).



17 pav. Įtemptos atramos tipo plūduriuojančių pamatų dizaino galimybės (Bachynski et al., 2012)

Švartavimo lynai dažniausiai pažeidžiami dėl svyravimų įtampos. Paprastai montuojami 70 – 200 m vandens gylyje. Tokiame vandens gylyje šio tipo pamatų pasirinkimas vienas iš

ekonomiškiausių variantų. Šio tipo pamatai gali būti montuojami žemiau vandens linijos, todėl mažiau reaktyvūs jūros bangavimui nei kiti plūduriuojantys pamatai ir yra stabilesni. Jie taip pat pasižymi lengvu demontavimu, perkėlimu į kitą eksploatacijos vietą, yra lengvai prižiūrimi. Be to jie yra saugesni seismiškai aktyvioje zonoje lyginant su fiksuoto tipo pamatais (Bachynski et al., 2012; Chandrasekaran et al., 2001; Tabeshpour et al., 2006). Įtemptos atramos tipo plūduriuojančių pamatų SSGG analizė pateikta 9 lentelėje.

9 lentelė. Įtemptos atramos tipo plūduriuojančių pamatų SSGG analizė.

Stiprybės	Silpnybės
<p>Mažos gamybos sąnaudos; Stabili konstrukcija; Atsparumas bangoms; Nesudėtingas švartavimas.</p>	<p>Kompleksinis tvirtinimas; Mažai testavimo duomenų; Priklauso nuo grunto savybių; Surinkimas jūroje; Jautrumas svoriui; Netinka sekliuose vandenyse.</p>
Galimybės	Grėsmės
<p>Mažos masinės gamybos sąnaudos; Maža konkurencija.</p>	<p>Nebrandi technologija; Montavimui reikalingi specialiai technika; Priklauso nuo vietovės sąlygų; Potvynių įtaka.</p>

## 1.5. Kompleksinio vertinimo metodai

### 1.5.1. Daugiakriterinis sprendimo priėmimo metodai ir jų klasifikacija

Daugiakriterinis sprendimas (angl. *Multi-criteria decision making* – MCDM) – viena iš sprendimų šakų. MCDM naudojamas norint surasti racionalų sprendinį, kuris labiausiai tenkintų suinteresuotus amenis (Zimmermann, 2001). Daugiakriteriniai sprendimų priėmimo metodai naudojami optimalaus sprendimo radimui ir skirstomi į šias grupes – daugiaobjekčius (angl. *Multiple Objective Decision Making* - MODM) ir daugiatikslius (angl. *Multiple Atrbute Decision Making* – MADM). Daugiakriteriniai sprendimo priėmimo metodai naudoja vektorinę optimizaciją, kuri pagrįsta sprendimo proceso modeliu.

Daugiatiksliai metodai naudingi, kai reikia išrinkti racionalią alternatyvą iš konkretaus alternatyvų sąrašo ir nagrinėja problemas, kurių sprendimų aibė yra diskreti, t.y. sudaro aibė galimų alternatyvų. Alternatyvos  $A = (A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m)$  – tai galimi skirtingi sprendimai, apibūdinami

tam tikrais rodikliais (Brauers et al., 2006). Skirtingi rodikliai ( $X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n$ ) apibūdina skirtingus požūrius į alternatyvas, todėl jie gali ir prieštarauti vieni kitiems. Rodikliai gali būti kiekybiniai (svoris – tonomis, gylis – kilometrais ir pan.) ir kokybiniai, todėl norint palyginti alternatyvas, juos būtina normalizuoti. Taip nustatomi rodiklių reikšmingumai, kurie rodo, kiek vieni rodikliai yra svarbesni už kitus (Brauers et al., 2006). Atsižvelgiant į turimą informaciją apie rodiklius, kuri gaunama iš sprendimą priimančio asmens, daugiakriteriniai metodai gali būti klasifikuojami į keturias metodų klases (10 lentelė): metodai pagrįsti daugiakriterine naudingumo teorija, analitinės hierarchijos ir neapibrėžtų aibių metodai, lyginamosios preferencijos metodai ir verbalinės analizės sprendimų metodai (Chen et al., 1992; Triantaphyllou, 2000; Zavadskas et al., 2004).

10 lentelė. Daugiakriterinių metodų klasifikacija

Metodų klasė	Informacija apie rodiklius	Metodai
Metodai pagrįsti daugiakriterine naudingumo teorija	Kiekybiniai matavimai	SAW, TOPSIS, TOPSIS-G, MOORA, MultiMOORA, VIKOR, COPRAS, COPRAS-G, ARAS
Analitinės hierarchijos ir neapibrėžtų aibių metodai	Kokybiniams matavimai pervedti į skaitines reikšmes	AHP, Fuzzy, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy AHP
Lyginamosios preferencijos metodai	Kiekybiniai ir kokybiniai matavimai	ELECTRE, PROMETHEE, TACTIC, UTA, MELCHIOR, MAUT
Verbalinės analizės sprendimų metodai	Kokybiniai matavimai, kurie nepereinama į kiekybinį pavidalą	ZAPROS, PARK, ORKLASS, CLARA, DIFLASS, CIKL

Pasaulyje sukurta nemažai daugiakriterinių sprendimo metodų, bet kol kas nėra nustatyta, kuris labiausiai tinka spręsti vienokio ar kitokio tipo uždavinius. Egzistuoja įvairiausių daugiakriterinių metodų, turinčių savo privalumų ir trūkumų, pradedant nuo paprasčiausių metodų tokių kaip VS – vietų suma, GV – geometrinis vidurkis, SAW, baigiant sudėtingesniais, turinčiais nuodugnesnę vidinę logiką kaip, TOPSIS ir COPRAS (Sergejeva, 2011). Praktiškai, nė vieno metodo negalima pritaikyti iš karto. Kiekvienas metodas turi savo privalumą bei specifiką. Skirtingi metodai naudoja skirtingą normalizavimą, duomenų transformavimą (Bureika et al., 2012).

Lietuvoje daugiataksičius sprendimų metodus pradėjo vystyti E. K. Zavadskas. Kartu su bendraautoriais yra išleidęs nemažai knygų, kuriose aptariami esami daugiataksliai sprendimo metodai, taip pat atrasti nauji ar patobulinti esami (Zavadskas, 2004). Dažniausiai MCDM metodų rodikliams priskiriamos reikšmės, kurios parodo, kiek vienas rodiklis svarbesnis už kitą ir taip nustatomas santykinis reikšmingumas. Uždaviniams išspręsti sudaroma rodiklių, charakterizuojančių lyginamų objektų, statistinių duomenų arba ekspertų vertinimo matrica (Bureika et al., 2012; Zimmermann, 2001). MCDM sudaro trys pagrindiniai žingsniai:

1. Rodiklių ir alternatyvų nustatymas;
2. Rodiklių reikšmingumo nustatymas;
3. Rodiklių skaitinių reikšmių apdorojimas ir alternatyvų rangų nustatymas (nuo geriausios ir mažiausiai priimtinos) (Podvezko et al., 2013).

Šiame darbe buvo naudojami kiekybiniais matavimais pagrįsti sprendimo priėmimo metodai:

- MOORA (angl. *Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis*) – daugiatakslio optimizavimo santykinų dydžių analizės pagrindu metodas;
- COPRAS (angl. *COmplex PROportional ASsessment*) – kompleksinio proporcingumo vertinimo metodas;
- TOPSIS (angl. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) – artumo idealiam taškui metodas;
- SAW (angl. *Simple Additive Weighting*) – paprastas adityvus svorių metodas;
- WASPAS (angl. *Weighted Aggregated Sum Product ASsessment*) - svorinės agreguotos sumos metodas (MacCrimmon, 1968; Zavadskas ir kt., 1996; Hwang et al., 1981).

### 1.5.2. Rodiklių reikšmingumo nustatymas

Viena iš svarbiausių šių MCDM dalis – kriterijų reikšmingumo (svorio) nustatymas, kuris nurodo tam tikro rodiklio svarbą nagrinėjamam uždaviniui. Atskirų kriterijų įtaka tiriamajam objektui nevienoda, todėl ir būtinas reikšmingumo nustatymas. Reikšmingumas skirstomas į: objektyvų ir subjektyvų. Svarbiausiam kriterijui nustatomas didžiausias svoris, o suskaičiuoti svoriai normuojami pagal formulę (Podvezko et al., 2013):

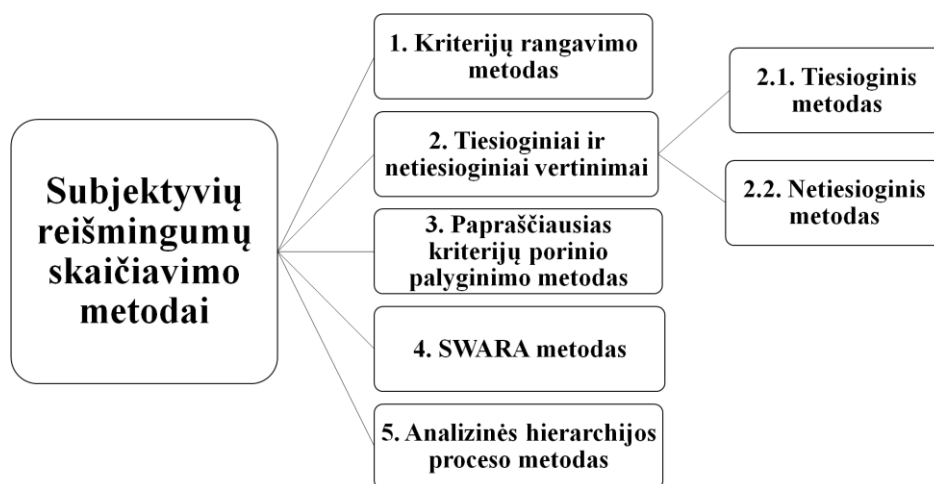
$$\sum_{i=1}^m \omega_i = 1. \quad (1)$$

## Objektyvus rodiklių reikšmingumas ir jo nustatymas

Objektyvus rodiklių reikšmingumas pagrįstas rodiklių reikšmėmis, todėl šio reikšmingumo neįtakoja ekspertų nuomonė apie tam tikrų rodiklių svarbą (Zavadskas et al., 2004). Objektyviam reikšmingumui nustatyti dažniausiai taikomas entropijos metodas. Objektyvaus rodiklių reikšmingumo reikšmėms nustatyti naudojama sprendimų matrica, kurios stulpeliai rodo rodiklius, o eilutės – alternatyvas. Pagrindinis entropijos metodo minusas – galima taikyti tik tada, kai visus sprendimų matricos rodiklius reikia maksimizuoti (Podvezko et al., 2014; Ustinovichius et al., 2007).

## Subjektyvus rodiklių reikšmingumas ir jo nustatymas

Subjektyvių kriterijų svorių nustatymo pagrindą sudaro specialistų ekspertų nuomonė, todėl vertinimai dažnai nesutampa. Kuo daugiau ekspertų, tuo tikslesni skaičiavimai. Vertinimas priklauso nuo: eksperto kvalifikacijos, darbo specifikos, suinteresuotumo, patirties ir kt. Galima vertinti ekspertų nuomonę, jei statistiškai nuomonės yra suderintos. Vertinimo suderinamumui nustatyti taikoma Kendallo konkordancijos koeficientas (Andruškevičius, 2016; Fouladgar et al., 2012). Subjektyvius reikšmingumus galima apskaičiuoti taikant įvairius metodus. Jų klasifikacija pateikta 18 pav. (Podvezko et al., 2014).



18 pav. Subjektyvių reikšmingumų skaičiavimo metodų klasifikacija

### Kriterijų rangavimo metodas

Pačiam svarbiausiam kriterijui suteikiamas aukščiausias rangas, lygus vienetui, antram pagal svarbumą – rangas du ir t.t. Paskutiniam kriterijui pagal svarbumą rangas m, kurio numeris atitinka lyginamų kriterijų skaičių. Metodo privalumas - lengvai taikomas, tačiau nėra tikslus (Podvezko et al., 2014).

## Tiesioginiai ir netiesioginiai vertinimai

Tiesioginio vertinimo metu kiekvieno eksperto visų vertinimų svorių suma turi būti lygi vienetui arba 100 proc. Netiesioginio vertinimo metu taikoma pasirinkta vertinimo balų sistema, o ekspertų vertinimų suma nėra ribojama (Podvezko et al., 2014).

## Paprasčiausias kriterijų porinio palyginimo metodas

Vertinami kriterijai poromis ir lyginami tarpusavyje, kuris yra svarbesnis. Palyginimo rezultatas yra kvadratinė matrica. Privalumas: automatiškai nustatomi svorių rangai. Trūkumas: metodui reikalingas didelis ekspertų skaičius (Podvezko et al., 2014).

## SWARA metodas

SWARA metodas naudojamas rodiklių reikšmingumui nustatyti – tai laipsniškas porinio rodiklių santykinės svarbos lyginimo metodas. Jo pagrindą sudaro ekspertų kriterijų reikšmingumo vertinimas  $c_i$  procentais. Kriterijai preliminariai ranguojami ir surašomi eilės tvarka pagal svarbumą. Tada skaičiuojami šalia esančių vertinimų skirtumai vieneto dalimis (Podvezko et al., 2014).

## AHP metodas

AHP metodas remiasi ekspertine porinio palyginimo skale. Šis metodas vienas iš dažniausiai taikomų metodų pasaulyje, kurį pasiūlė T.Saaty. Porinį palyginimą atlieka ekspertai, kurie turi ilgametę patirtį vertinamojoje srityje. Ekspertai lygina tarpusavyje visus vertinamus rodiklius, naudodamiesi porinio palyginimo skalės duomenimis pagal 5 balų sistemą (1-3-5-7-9). Penkių balų sistema pateikta 11 lentelėje (Ramanathan, 2001; Saaty, 1977, 1980).

11 lentelė. 5 balų vertinimo sistema (Saaty, 1977)

Įvertinimas	Apibrėžimas	Paiškinimas
1	Lygus	Abu kriterijai vienodai svarbūs
3	Vidutinio stiprumo	Vieno kriterijaus svarbumas mažai skiriasi už kitą
5	Stiprus	Vienas kriterijus yra vidutiniškai svarbesnis už kitą
7	Labai stiprus	Vienas kriterijus daug svarbesnis už kitą
9	Aukščiausias laipsnis	Vienas kriterijus vienareikšmiškai svarbesnis už kitą
2, 4, 6, 8 – tarpiniai įvertinimai, esant kompromisui		

Sudaryta anketa pildoma šiuo principu: eilutėje esantis rodiklis lyginamas su stulpelyje esančiais rodikliais. Jei abu rodikliai vienodai lygūs – rašomas vienetas. Jeigu eilutėje esantis rodiklis yra svarbesnis nei stulpelyje esantis rodiklis, rašomas svarbumą nusakantis sveikas skaičius, o stulpelyje esančio rodiklio langelyje įrašomas atvirkštinis skaičius. Žemiau pateiktas anketos pildymo pavyzdys (12 lentelė), kuriame matyti, jog antras ir trečias rodikliai yra vienodai svarbūs, pirmas rodiklis yra nepalyginti svarbesnis už trečią, o antro rodiklio svarba mažai kuo skiriasi nuo pirmo.

12 lentelė. Anketos pildymo pavyzdys

	<b>1 rodiklis</b>	<b>2 rodiklis</b>	<b>3 rodiklis</b>
<b>1 rodiklis</b>	1	1/3	9
<b>2 rodiklis</b>	3	1	1
<b>3 rodiklis</b>	1/9	1	1

Lyginimo rezultatu tampa kvadratinė matrica, kuri naudojama subjektyvaus rodiklių reikšmingumui nustatyti. Privalumai: lankstumas, patogumas sprendimo priėmėjams, suderinamumą tikrinimas, galima vertinti alternatyvas tiek kokybinių, tiek kiekybinių rodiklių atžvilgiu (Ramanathan, 2001; Saaty, 1977, 1980).

Taikant AHP metodą naudojamos santykinės reikšmės, todėl metodas tinka ir bedimensiniams ir dimensiniams rodikliams vertinti. Vertintojų rezultatų lentelės tampa kvadratinėmis matricomis:

$$P = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Matricos X elementai – tai rodiklių reikšmingumo santykiai:

$$x_{ij} = \frac{q_i}{q_j}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Pagal T. Saaty šio metodo reikšmingumai yra lyginimo matricos X tikrinio vektoriaus, atitinkančio didžiausią reikšmę  $\lambda_{max}$ , normalizuotos komponentės:

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot \frac{q'_i}{q_j}, \quad (4)$$

čia  $\lambda_{max}$  – didžiausia ekspertų matricos X tikrinė reikšmė.

Rodiklių reikšmingumai, kurie buvo gauti AHP metodu, gali būti laikomi pakankamai patikimais, jei ekspertų nuomonių dėl rodiklių rangavimo suderinamumas pakankamas. Norint

patikrinti matricos neprieštaringumą ir nustatyti suderinamumo koeficientą  $C.R.$  naudojamas suderinamumo  $C.I.$  ir atsitiktinumumo  $R.I.$  indeksai.

Matrica dauginama iš vektoriaus, suformuotas kiekvienas reikšmingumas  $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)^T$  ir gaunama matrica:

$$B_q = \begin{bmatrix} \frac{q_1}{q_1} & \frac{q_1}{q_2} & \dots & \frac{q_1}{q_j} & \dots & \frac{q_1}{q_n} \\ \frac{q_2}{q_1} & \frac{q_2}{q_2} & \dots & \frac{q_2}{q_j} & \dots & \frac{q_2}{q_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{q_i}{q_1} & \frac{q_i}{q_2} & \dots & \frac{q_i}{q_j} & \dots & \frac{q_i}{q_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{q_n}{q_1} & \frac{q_n}{q_2} & \dots & \frac{q_n}{q_j} & \dots & \frac{q_n}{q_n} \\ \frac{q_1}{q_1} & \frac{q_2}{q_2} & \dots & \frac{q_j}{q_j} & \dots & \frac{q_n}{q_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} q_1 \\ \dots \\ q_j \\ \dots \\ q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q'_1 \\ \dots \\ q'_j \\ \dots \\ q'_n \end{bmatrix}. \quad (5)$$

$C.I.$  ir  $C.R.$  reikšmės randamos pagal šias formules:

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad (6)$$

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (7)$$

$R.I.$  reikšmės parenkamos pagal matricos komponentų skaičių iš T. Saaty koeficientų lentelės (13 lentelė).

13 lentelė. T. Saaty koeficientų lentelė

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	≥15
R.I.	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Jei apskaičiuotas  $C.R. < 0,1$ , tada matrica yra suderinta.

## II. JŪRINĖS VĖJO JĖGAINĖS PAMATŲ TIPO PARINKIMAS

### 2.1. Daugiatikslis sprendimo priėmimas

Pagrindinės uždavinio sprendimą sudarančios dalys:

1. Alternatyvų parinkimas;
2. Rodiklių, pagal kuriuos vertinamos alternatyvos, nustatymas;
3. Alternatyvų rangavimas.

### 2.2. Jūrinės vėjo jėgainės pamatų tipo alternatyvos

Pagal pasirinktą jūros vietovę skiriasi jūros dugno tipas, vandens gylis, vėjo greitis, todėl skiriasi ir pasirinkti pamatų tipai. Skirtingi jūrinių vėjo jėgainių pamatų tipai tarpusavyje skiriasi montavimo sudėtingumu, atsparumu aplinkos sąlygoms, įtaka aplinkai, kaina ir pan. Lietuvos IEZ ir teritoriniuose vandenyse galima naudoti penkis jūrinių vėjo jėgainių pamatų tipus, kurie jau buvo aptarti 1.4 skyriuje:

1. Gravitaciniai pamatai;
2. Monopoliniai pamatai;
3. Kesoniniai pamatai
4. Karkasiniai pamatai;
5. Plūduriuojantys pamatai.

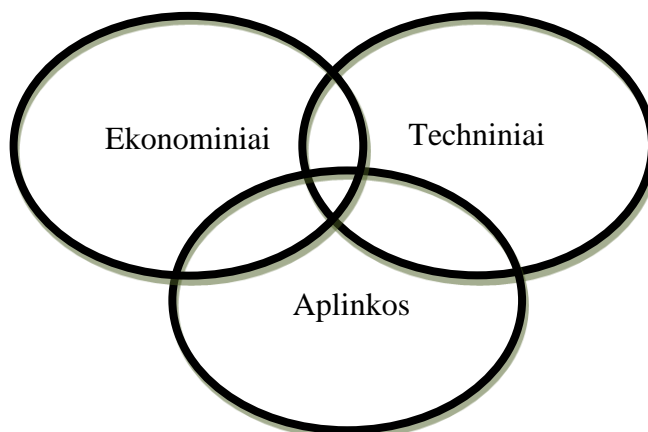
### 2.3. Vertinimo rodikliai

Jūrinės vėjo jėgainės tipo parinkimui taikant optimizavimo metodus, iš pradžių pasirenkami rodikliai ir nustatomi jų reikšmingumai, kurie parodo tam tikro rodiklio svarbą. Kaip jau buvo minėta anksčiau, rodiklių nustatymo būdai gali būti objektyvūs ir subjektyvūs. Šiam tiriamajam darbui atlikti buvo pasirinktas subjektyvus rodiklių reikšmingumų nustatymo metodas – AHP.

Atliekant jūrinių vėjo jėgainių pamatų multikriterinę analizę vertinimo metodika suformuota remiantis tvaraus vystymo principais (19 pav.) – ekonominių, techninių ir aplinkos veiksnių balansu. Norint kuo tiksliau išspręsti išsikeltą uždavinį – parinkti optimaliausią alternatyvą – reikia į ją pažvelgti iš įvairių pusių, todėl rodiklius galima sugrupuoti į 3 rūšių veiksnis:

- a. ekonominius (investicijos, tarnavimo laikas, išlaikymas ir priežiūra);
- b. aplinkos (estetinis įvertinimas, ekologiškumas ir įtaka florai/faunai);

- c. techninius (užimamos teritorijos plotas, statybos trukmė, vandens gylis, atstumas nuo kranto, savasis svoris, jūros dugno tipas, montavimo ir demontavimo sudėtingumas, stabilumas, novatoriškumas, gamyba, transportavimas, patvarumas ir pamatų paplovimas).



19 pav. Tvaraus vystymo veiksnių santykis

Parenkant optimaliausią alternatyvą pasirinktai vietai, buvo atrinkta 19 vertinimo rodiklių, kurie detaliau aprašyti 14 lentelėje. Vienas rodiklis išreikštas skaitine reikšme, o kiti vertinami balais (5 balų sistema).

Pagal nustatytus rodiklius buvo sudaryta T. Saaty porinio palyginimo skalė ir atlikta apklausa (2016.11.07 -2017.01.09). Kontingentas – Klaipėdos universiteto dėstytojai ir Skuode esančių įmonių UAB „Kuršasta” ir UAB „Skobartas” bei VĮ Klaipėdos regiono kelių projektų vadovai ir statybos inžinieriai. Kiekvienas vertintojas tarpusavyje lygino pateiktus rodiklius ir vertino, kuris iš dviejų lyginamų rodiklių yra svarbesnis.

14 lentelė. Variantų lyginamųjų rodiklių aprašymas

Nr.	Rodiklis	Apibūdinimas
1.	Investicijos	Mažiausia ir didžiausia projekto įgyvendinama suma. <i>Vertinimo skalė: 1 – mažiausios investicijos, 5 – didžiausios investicijos</i>
2.	Statybos trukmė	Trumpiausias ir ilgiausias projekto įgyvendinimo laikas. <i>Vertinimo skalė: 1 – trumpiausiai trunkantis įgyvendinimo laikas, 5 – ilgiausiai trunkantis įgyvendinimo laikas.</i>
3.	Užimamos teritorijos plotas	Vėjo jėgainės pamatų užimamas teritorijos plotas. <i>Vertinimo skalė: 1 – daugiausiai vietos užimantys, 5 – mažiausiai vietos užimantys.</i>
4.	Tarnavimo laikas	Labai svarbu, kiek laiko tarnaus vėjo jėgainės pamatai, juolab, kad investicijos yra itin didelės ir reikia apskaičiuoti atsiperkamumą. <i>Vertinimo skalė: 1 – trumpiausiai tarnaujantys pamatai, 5 – ilgiausiai tarnaujantys pamatai</i>
5.	Vandens gylis,	Pamatų tipo galimas naudojimas priklausomai nuo vandens gylio.

	metrais	
6.	Atstumas nuo kranto	Pamatų tipo naudojimas priklausomai nuo atstumo nuo kranto. <i>Vertinimo skalė: 1 – mažiausias atstumas, 5 – didžiausias atstumas nuo kranto.</i>
7.	Išlaikymas ir priežiūra	Kaštai remonto darbams <i>Vertinimo skalė: 1 – mažiausi kaštai, 5 – didžiausi kaštai.</i>
8.	Estetinis įvertinimas	Vėjo jėgainės pamatų estetiškas priimtumas. <i>Vertinimo skalė: 1 – kertasi su landšaftu, 5 – gražiai susilieja vaizde</i>
9.	Savasis svoris	Pamato konstrukcijos svoris, taip pat susijęs su jo montavimu ir gamyba. <i>Vertinimo skalė: 1 – mažas, 5 – labai didelis.</i>
10.	Jūros dugno tipas	Konstrukcijos pritaikomumas prie esamo grunto montavimo vietoje. <i>Vertinimo skalė: 1 – jūros dugno tipas nepriimtinas pamatams, 5 – dugno tipas puikiai tinkantis pamatams</i>
11.	Montavimo sudėtingumas	Dėl skirtingų konstrukcijų, gabaritų bei skirtingo montavimo pobūdžio skiriasi montavimo sudėtingumas (pagrindiniai veiksniai – laikas ir kaina). <i>Vertinimo skalė: 1 – pamatai lengvai montuojami, 5 – pamatų montavimas labai sudėtingas</i>
12.	Demontavimas	Konstrukcijos demontavimas, kai pamato konstrukcija tampa nebereikalinga arba reikia keisti vėjo jėgainių dislokavimo vietą. <i>Vertinimo skalė: 1 – pamatų demontavimas neįmanomas ar sunkiai vykdomas, 5 – lengvas demontavimas</i>
13.	Stabilumas	Konstrukcijos atsparumas veikiančioms jėgoms, sukeliančioms įlinkį ir poslinkį. <i>Vertinimo skalė: 1 – menkas pamatų stabilumas, 5 – aukšto lygio pamatų stabilumas</i>
14.	Novatoriškumas	Pamatų tipo inovatyvumas ir išskirtinumas. <i>Vertinimo skalė: 1 – neišsiskiria naujovėmis, 5 – inovatyvūs ir išskirtiniai pamatai</i>
15.	Gamyba	Gamybos sudėtingumas, priklausomai nuo pamatų konstrukcijos ir dydžio. <i>Vertinimo skalė: 1 – gamyba lengva, 5 – gamyba sudėtinga</i>
16.	Pamatų paplovimas	Galimas grunto išplovimas po pamatais. <i>Vertinimo skalė: 1 – nėra ar minimalus pamatų paplovimas, 5 – didelis pamatų paplovimas</i>
17.	Patvarumas	Atsparumas nusidėvėjimui ar rūdijimui dėl aplinkos veiksnių ar krovos darbų. <i>Vertinimo skalė: 1 – žemo lygio pamatų patvarumas, 5 – aukšto lygio pamatų patvarumas</i>
18.	Ekologiškumas ir įtaka florai/faunai	Svarbu atsižvelgti į jūros dugno ekosistemos drumstimą sukeliančius veiksnius ir šešėlių, kurių gali užtraukti pastatyta konstrukcija, bei poveikį florai ir faunai. <i>Vertinimo skalė: 1 – neįtakoja ar įtakoja minimaliai, 5 – stipriai įtakoja</i>
19.	Transportavimas	Pamatų gabenimas iš gamybos vietos į montavimo vietą. <i>Vertinimo skalė: 1 – pamatai lengvai transportuojami, 5 – sudėtingas pamatų transportavimas</i>

## 2.4. Magistrinio darbo uždaviniams spręsti naudojami daugiatislio vertinimo metodai

### 2.4.1. SAW metodas

SAW (angl. *Simple Additive Weight*) – MacCrimmon sukurtas paprastas suminio svorio metodas. Šis metodas naudoja tik maksimizuojamuosius teigiamus rodiklius (MacCrimmon, 1968; Sergejeva, 2011). SAW yra vienas iš paprastesnių ir plačiausiai taikomų metodų.

SAW etapai:

1. Normalizuojama sprendimų matrica;
2. Normalizuotos matricos to paties varianto kiekvienas narys dauginamas iš jo reikšmingumo ir sudedamas su kitais alternatyvos nariais.

Pradiniai duomenys yra sprendimo matrica ir efektyvumo rodiklių reikšmingumo reikšmės ( $q_1^*, q_2^*, \dots, q_n^*$ ), tenkinančios sąlygą:

$$\sum_{j=1}^n q_j^* = 1. \quad (8)$$

Visi sprendimo matricos  $P$  nariai, kuriuos reikės maksimizuoti, normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}}, i = 1; j = 1. \quad (9)$$

Visi sprendimo matricos  $P$  nariai, kuriuos reikės minimizuoti, normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_j^{min}}{x_{ij}}, i = 1; j = 1. \quad (10)$$

Nustatant varianto racionalumą, atitinkami normalizuotos matricos nariai dauginami iš efektyvumo rodiklių reikšmingumo ir gautos rezultatai susumuojami. Racionalaus varianto sandaugų suma bus maksimali:

$$A = \sum_{i=1}^n q_i^* \bar{x}_{ij}, i = 1; j = 1. \quad (11)$$

## 2.4.2. TOPSIS metodas

TOPSIS (angl. *The technique for order preference by similarity to ideal solution*) – Yoon ir Hwang sukurtas variantų racionalumo idealiojo taško artumo nustatymo daugiatislio vertinimo metodas. Optimali alternatyva yra mažiausiai nutolusi nuo idealaus sprendinio ir labiausiai nutolusi nuo blogiausio sprendinio. Metodą sudaro 6 etapai:

1. Sudaroma sprendimų matrica;
2. Sudaroma normalizuota matrica;
3. Sudaroma normalizuota pasverta matrica;
4. Nustatoma geriausia ir blogiausia alternatyva;
5. Nustatomas atstumas tarp lyginamosios  $i$ -tosios ir blogiausios bei geriausios alternatyvos;
6. Nustatomas racionalumo indeksas.

Metodas taikomas įvairiems uždaviniais ir esant dideliame rodiklių skaičiui.

1. Norint taikyti šį metodą, reikia atlikti pirmą etapą ir sudaryti sprendimų matricą  $P$ , kurioje eilutės žymi nagrinėjamas alternatyvas ( $m$  – alternatyvų skaičius), stulpeliai – efektyvumo rodiklius ( $n$  – efektyvumo rodiklių skaičius), pagal kuriuos vertinamos alternatyvos:

$$P = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}. \quad (12)$$

2. Tada sprendimų matrica  $P$  normalizuojama atliekant vektorinę normalizaciją:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, j = \overline{1, n}, \quad (13)$$

čia  $x_{ij}$  – osios alternatyvos,  $j$  – ojo efektyvumo rodiklio reikšmė.

3. Gauta normalizuota matrica  $\bar{P}$ , kurios visos efektyvumo reikšmės bedimensiai dydžiai:

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}. \quad (14)$$

4. Dauginant normalizuotos sprendimų matricos elementus  $x_{ij}(i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n})$  iš atitinkamų rodiklių reikšmingumą, gaunama svertinė normalizuota sprendimų matrica  $V = (v_{ij})(i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n})$ .

5. Tada sudaromas geriausios alternatyvos modelis  $A^+$ , kurios elementai nustatomi pagal formulę:

$$A^+ = \left\{ \left( \max_i v_{ij} | j \in J \right), \left( \min_i v_{ij} | j \in J' \right) | i = \overline{1, m} \right\}, \quad (15)$$

čia  $J$  – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė;  $J'$  – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė.

6. Po to sudaromas blogiausios alternatyvos modelis, kurios elementai nustatomi pagal formulę:

$$A^- = \left\{ \left( \min_i v_{ij} | j \in J \right), \left( \max_i v_{ij} | j \in J' \right) | i = \overline{1, m} \right\}. \quad (16)$$

$n$  – matėje Euklidinėje erdvėje skaičiuojami atstumai  $L_i^+$  ir  $L_i^-$  ( $i = \overline{1, m}$ ), nuo  $i$ -tosios alternatyvos  $A_i$  ( $i = \overline{1, m}$ ) atitinkamai iki geriausios  $A^+$  bei blogiausios  $A^-$ . Galiausiai galutinis metodo žingsnis – nustatomas kiekvienos  $i$ -osios alternatyvos santykinis atstumas iki blogiausios alternatyvos  $A^-$ :

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad i = \overline{1, m} \quad (17)$$

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = \overline{1, m} \quad (18)$$

7. Nustatomas sąlyginis lyginamųjų variantų artumas iki idealaus:

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, \quad i = \overline{1, m}, \text{ kai } K_i \in [0, 1]. \quad (19)$$

Racionalus variantas tas, kurio  $K_i$  reikšmė yra didžiausia (Simanavičienė, 2016; Hwang et al., 1981).

### 2.4.3. COPRAS metodas

COPRAS (angl. *COmplex PROportional ASsessment*) – kompleksinio proporcingumo vertinimo ir daugiataksių sprendimų priėmimo metodų kompleksas. Metodo principas – lyginamųjų alternatyvų santykinis reikšmingumas  $Q_i$  nustatomas pagal juos apibūdinančias teigiamas ( $S_{+i}$ ) ir neigiamas ( $S_{-i}$ ) savybes. Kuo  $Q_i$  reikšmė didesnė, tuo alternatyva priimtinesnė. COPRAS metodo etapai:

1. Sudaroma sprendimų matrica:

$$P = [x_{ij}]_{[m \times n]}, \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}, \quad (20)$$

čia eilutės – nagrinėjamos alternatyvos ( $m$  - alternatyvų skaičius), stulpeliai – efektyvumo rodikliai ( $n$  - efektyvumo rodiklių skaičius). Apskaičiuojamos efektyvumo rodiklių reikšmingumai.

2. Sudaryta matrica normalizuojama:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}), \quad (21)$$

čia  $x_{ij}$  –  $i$ -osios alternatyvos  $j$ -ojo rodiklio reikšmė.

3. Gauta normalizuota sprendimų matrica:

$$\bar{P} = [\bar{x}_{ij}]_{[m \times n]}, (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}). \quad (22)$$

4. Normalizuotos sprendimų matricos elementai dauginami iš atitinkamų rodiklių ir gaunama svartinė normalizuota sprendimų matrica:

$$\bar{x}_{ij} = x_{ij} \cdot q_i, (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}). \quad (23)$$

5. Apskaičiuojamos  $i$ -tosios alternatyvos, maksimizuojamų ir minimizuojamų rodiklių sumos, atitinkamai  $S_{+i}$  ir  $S_{-i}$ :

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^k \bar{x}_{ij}, (i = \overline{1, m}), \quad (24)$$

$$S_{-i} = \sum_{j=1+k}^n \bar{x}_{ij}, (i = \overline{1, m}), \quad (25)$$

čia  $k$  – maksimizuojamų rodiklių skaičius;  $n - k$  – minimizuojamų rodiklių skaičius.

6. Nustatomas alternatyvų santykinis reikšmingumas ( $Q_i$ ):

$$Q_i = S_{+i} + \frac{S_{-min} \cdot \sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{S_{-min}}{S_{-i}}}, \quad (26)$$

čia  $S_{-min} = \min_i S_{-i}, (i = \overline{1, m})$ .

7. Sudaroma alternatyvų prioritentinė eilutė. Kuo didesnis  $Q_i$ , tuo alternatyvos racionalumas didesnis (Ustinovichius, 2007; Zavadskas ir kt. 1996).

#### 2.4.4. WASPAS metodas

WASPAS – svorinės agreguotos sumos metodas (angl. *Weighted Aggregated Sum Product Assessment*). WASPAS metodas sukurtas iš dviejų metodų - WSM (svartinės sumos modelis) ir WPM (svartinės daugybos modelis) (Triantaphyllou et al., 1997). WASPAS metodo etapai:

1. Sudaroma sprendimų matrica:

$$P = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (27)$$

čia eilutės žymi nagrinėjamas alternatyvas ( $m$  – alternatyvų skaičius), stulpeliai – efektyvumo rodiklius ( $n$  – efektyvumo rodiklių skaičius).

2. Matricos normalizavimas pagal formules:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad - \text{naudingam kriterijui,} \quad (28)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad - \text{nenaudingam kriterijui normalizuoti.} \quad (29)$$

3. Skaičiuojant optimalumo kriterijus yra naudojamos dvi formulės – pirmoji grįstą WSM metodu, o antroji WPM metodu:

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j \quad \text{ir} \quad Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j}, \quad (30)$$

čia  $w_j$  yra  $j$  – ojo kriterijo svoris, kuris gali būti nustatomas AHP arba entropijos metodu.

4. Bendras optimalumo kriterijus apskaičiuojamas taip:

$$Q_i = 0,5Q_i^{(1)} + 0,5Q_i^{(2)} = 0,5 \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j + 0,5 \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j}. \quad (31)$$

5. Nustatomas prioritetų eiliškumas pagal  $Q$  reikšmes (Chakraborty et al., 2015; Zavadskas et al., 2012).

#### 2.4.5. MOORA metodas

MOORA (*angl. Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis*) – daugiatakslio optimizavimo santykinų dydžių analizės pagrindu metodas. Metodas naudojamas, kai turima matrica su skirtingomis alternatyvų reikšmėmis. MOORA metodą sudaro dvi dalys: santykių skaičiavimas ir atskaitos taško metodo taikymas. Santykių sistema leidžia normalizuoti duomenis ir suvienodinti skirtingas rodiklių matavimo sistemas ir dėl to nereikalingas išorinis normalizavimo mechanizmas (Baležentis et al., 2010; Brauers et al., 2008). Visą metodą galima suskirstyti į 6 žingsnius:

1 žingsnis: nustatyti tikslą ir vertinimas savybes.

2 žingsnis: sudaryti sprendimų matricą  $P$ , kurioje eilutės žymi nagrinėjamas alternatyvas ( $m$  – alternatyvų skaičius), stulpeliai – efektyvumo rodiklius ( $n$  – efektyvumo rodiklių skaičius), pagal kuriuos vertinamos alternatyvos:

$$P = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}. \quad (32)$$

3 žingsnis: santykių sistema apibrėžia duomenų normalizavimą kiekvieno rodiklio konkrečią reikšmę lyginant su visomis to rodiklio reikšmėmis:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \quad (33)$$

čia  $\bar{x}_{ij}$  - normalizuotas, neturintis matavimo vieneto, skaičius, priklausantis intervalui  $[0,1]$  ir apibrėžia normalizuotą  $i$  – osios alternatyvos,  $j$  – ojo efektyvumo rodiklio reikšmę.

4 žingsnis: tada rodikliai sudedami, jei siekiama maksimali reikšmė arba atimami, jei siekiama minimali reikšmė, ir gaunamas indeksas:

$$\bar{y}_i = \sum_{j=1}^g \bar{x}_{ij} - \sum_{j=g+1}^m \bar{x}_{ij}, \quad (34)$$

čia  $g$  – siekiamų maksimizuoti rodiklių skaičius.

5 žingsnis: siekiant padidinti sprendimo priėmimo tikslumą papildomai dauginama iš atitinkamo reikšmingumo koeficiento ( $w_j$ ), kuris gali būti gaunamas AHP arba entropijos metodu:

$$y_i = \sum_{j=1}^g w_j \bar{x}_{ij} - \sum_{j=g+1}^n w_j \bar{x}_{ij}, \quad (j = 1, 2, \dots, n). \quad (35)$$

6 žingsnis:  $y_i$  vertė gali būti teigiama arba neigiama, priklausomai nuo to ar siekiama maksimizuoti ar minimizuoti. Geriausia alternatyva – didžiausios vertės, blogiausia alternatyva – mažiausios vertės (Gadakh, 2011).

#### 2.4.6. Vėjo jėgainių pamatų jūroje daugiatis vertinimas

Norint visapusiškai išspręsti uždavinį, reikia jį žvelgti kompleksiskai – įvertinti ekonominius, techninius ir aplinkos veiksnius, kurie aprašomi rodikliais. Kuo daugiau rodiklių, tuo tikslesni rezultatai. Norint efektyviai išspręsti uždavinį, pirmiausiai reikia tiksliai suformuluoti uždavinio tikslą, tada surinkti informaciją apie rodiklius, apdoroti ją ir galiausiai taikyti moksliskai pagrįstus metodus, kurie apskaičiuoja racionaliausią alternatyvą.

1 etapas. Pagrindinio tikslo nusistatymas – sukurti vėjo jėgainių pamatų parinkimo modelį ir atlikti jų daugiatis vertinimą.

2 etapas. Analizuojamos galimos alternatyvos ir nustatomi rodikliai. Šio darbo metu analizuojamos jūrinių vėjo jėgainių pamatai – gravitaciniai, monopoliniai, kesoniniai, karkasiniai ir plūduriuojantys. Jiems analizuoti parinkta 19 rodiklių, kurie turėjo padėti kuo tiksliau ir efektyviau siekti būsimų rezultatų.

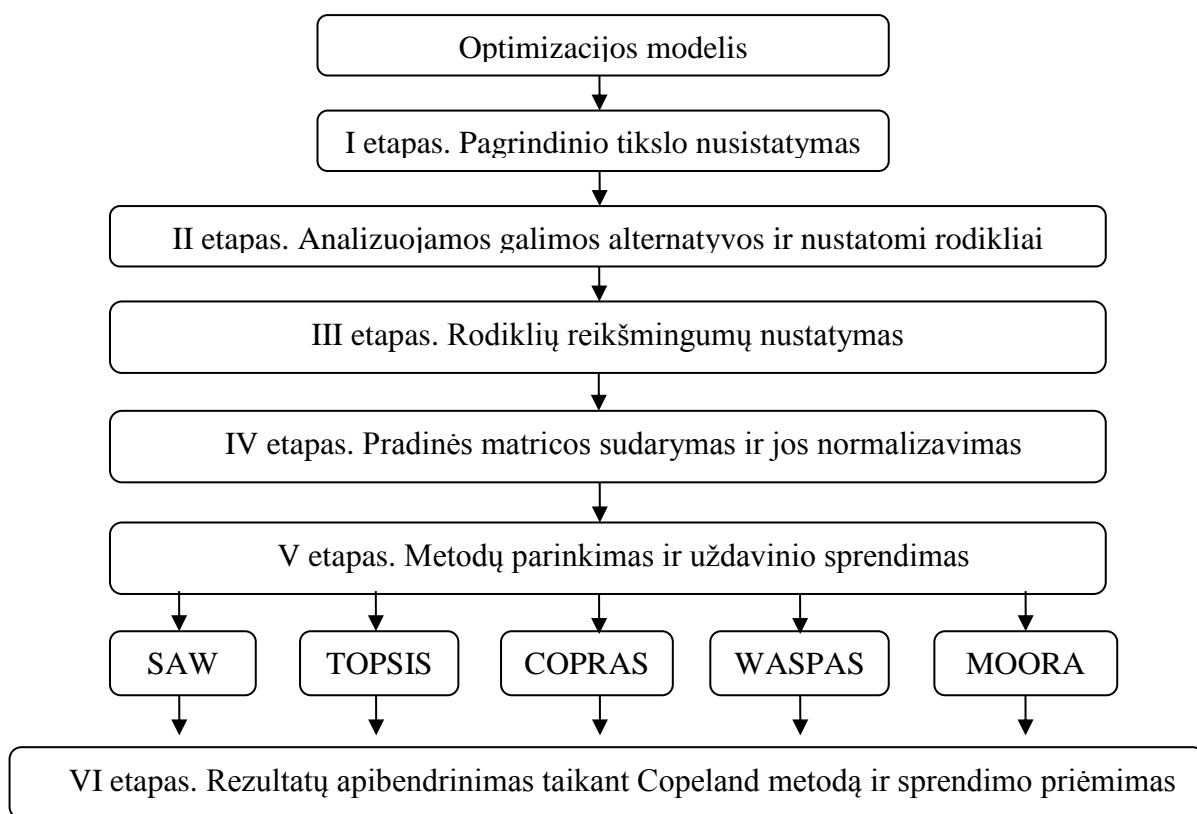
3 etapas. Rodiklių reikšmingumų nustatymas. Buvo sudaryta anketa ir išdalinta dešimčiai ekspertų rodiklių reikšmingumui nustatyti. Rodiklių svoriui nustatyti pasirinktas AHP metodas, o duomenų patikimumui užtikrinti apskaičiuotas konkordacijos koeficientas.

4 etapas. Pradinės matricos sudarymas ir jos normalizavimas. Iš gautų duomenų sudaroma pirminė matrica.

5 etapas. Metodų parinkimas ir uždavinio sprendimas. Buvo parinkti 5 daugiatisliai vertinimo metodai – SAW, TOPSIS, COPRAS, WASPAS ir MOORA. Pritaikius metodus sudaroma alternatyvų prioritėtinė eilutė. Geriausia alternatyva, kurios gauta reikšmė didžiausia, jos rangas vienetasis, o blogiausia alternatyva – penketasis.

6 etapas. Rezultatų apibendrinimas ir sprendimo priėmimas. Sprendžiant skirtingais daugiatisliais vertinimo metodais, reikia atlikti gautų rezultatų tikrinimą taikant Copeland metodą.

Tad taikant rodiklių sistemą ir parengtą vertinimo modelį, buvo atliktas daugiatislis 5 alternatyvų (gravitacinių, monopolinių, kesoninių, karkasinių ir plūduriojančių pamatų) vertinimas remiantis 5 vertinimo metodais. Optimizacijos modelio principinė schema pavaizduota 20 pav.



20 pav. Optimizacijos modelio principinė schema

Atliekant šį mokslinį darbą buvo apskaičiuoti vieno eksperto pateikti porinio palyginimo rezultatai. Gavus rodiklių reikšmingumus buvo tikrinama ar eksperto nuomonė yra suderinama. Pagal prieš tai pateiktas formules (2-7) nustatomas suderinamumo laipsnis.

$$X_q = \begin{bmatrix}
1 & 9 & 7 & \frac{1}{5} & 9 & 8 & 6 & 6 & 6 & 9 & 1 & 9 & 8 & 9 & 9 & 9 & 9 & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\
\frac{1}{9} & 1 & \frac{1}{7} & \frac{1}{9} & 9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 9 & \frac{1}{9} & 1 & \frac{1}{9} & 1 & 1 & \frac{1}{7} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\
\frac{1}{7} & 7 & 1 & 8 & 2 & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{5} & 8 & \frac{1}{9} & 5 & \frac{1}{7} & 1 & 1 & \frac{1}{6} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\
5 & 9 & \frac{1}{8} & 1 & 1 & 1 & 1 & 9 & 1 & 9 & 1 & 9 & 7 & 9 & 9 & 5 & 1 & 2 & 3 \\
\frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{2} & 1 & 1 & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\
\frac{1}{8} & 1 & 1 & 1 & 9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & \frac{1}{8} & 1 & \frac{1}{7} & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{9} & \frac{1}{8} & \frac{1}{7} \\
\frac{1}{6} & 1 & 1 & 1 & 9 & 1 & 1 & 7 & \frac{1}{6} & 6 & \frac{1}{8} & 5 & \frac{1}{9} & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{8} & \frac{1}{9} & \frac{1}{8} \\
\frac{1}{6} & 1 & 1 & \frac{1}{9} & 9 & 1 & \frac{1}{7} & 1 & 7 & 8 & \frac{1}{9} & 1 & \frac{1}{8} & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{8} \\
\frac{1}{6} & 1 & 5 & 1 & 9 & 1 & 6 & \frac{1}{7} & 1 & 1 & \frac{1}{9} & 5 & 1 & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{7} & \frac{1}{8} & \frac{1}{7} \\
\frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{8} & \frac{1}{9} & 9 & \frac{1}{2} & \frac{1}{6} & \frac{1}{8} & 1 & 1 & 4 & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\
1 & 9 & 9 & 1 & 9 & 8 & 8 & \frac{1}{9} & 9 & \frac{1}{4} & 1 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 \\
\frac{1}{9} & 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{9} & 9 & 1 & \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{5} & 9 & \frac{1}{9} & 1 & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} \\
\frac{1}{8} & 9 & 7 & \frac{1}{7} & 9 & 7 & 9 & 8 & 1 & 9 & \frac{1}{9} & 8 & 1 & 5 & 1 & \frac{1}{4} & \frac{1}{7} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\
\frac{1}{9} & 1 & 1 & \frac{1}{9} & 9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 9 & \frac{1}{9} & 8 & \frac{1}{5} & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{9} & \frac{1}{8} & \frac{1}{9} \\
\frac{1}{9} & 1 & 1 & \frac{1}{9} & 9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 9 & \frac{1}{9} & 8 & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{8} & \frac{1}{6} \\
\frac{1}{9} & 7 & 6 & \frac{1}{5} & 9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 9 & \frac{1}{9} & 8 & 4 & 1 & 9 & 1 & \frac{1}{7} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\
9 & 9 & 9 & 1 & 9 & 9 & 8 & 9 & 7 & 9 & \frac{1}{9} & 8 & 7 & 9 & 9 & 7 & 1 & 1 & 7 \\
9 & 9 & 9 & \frac{1}{2} & 9 & 8 & 9 & 9 & 8 & 9 & \frac{1}{9} & 8 & 9 & 8 & 8 & 9 & 1 & 1 & 6 \\
9 & 9 & 9 & \frac{1}{3} & 9 & 7 & 8 & 8 & 7 & 9 & \frac{1}{9} & 8 & 9 & 9 & 6 & 9 & \frac{1}{7} & \frac{1}{6} & 1
\end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,109 \\ 0,015 \\ 0,022 \\ 0,084 \\ 0,005 \\ 0,020 \\ 0,023 \\ 0,019 \\ 0,025 \\ 0,008 \\ 0,134 \\ 0,010 \\ 0,041 \\ 0,021 \\ 0,021 \\ 0,035 \\ 0,153 \\ 0,150 \\ 0,106 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,741 \\ 0,362 \\ 1,116 \\ 2,914 \\ 0,198 \\ 0,441 \\ 0,606 \\ 0,543 \\ 0,703 \\ 0,714 \\ 6,108 \\ 0,294 \\ 1,267 \\ 0,489 \\ 0,497 \\ 1,020 \\ 4,266 \\ 4,257 \\ 3,350 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{19} \left( \frac{0,714}{0,008} \right) = 4,860$$

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{4,860 - 19}{18} = -0,786$$

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} = \frac{-0,786}{1,59} = -0,494$$

Rastas suderinamumo koeficientas  $C.R. < 0,1$ , kuris parodo, kad matrica yra suderinta. Tokiu pat būdu tikrinami ir kitų ekspertų porinio palyginimo suderinamumai. Ekspertų vertinimo lentelės pateiktos prieduose. Kai patikrinami visų ekspertų nuomonių suderinamumai, nustatomas bendras rodiklių reikšmingumas. Gauti rezultatai svarbos mažėjimo tvarka pateikti 15 lentelėje. Taigi, kaip matosi lentelėje, patvarumo rodiklis yra pats svarbiausias, o estetinis įvertinimas yra mažiausiai reikšmingas rodiklis. Bendra rodiklių suma yra lygi vienetui ir tai rodo, kad rodikliai apskaičiuoti teisingai. Nustačius rodiklių reikšmingumus, buvo nutarta, kokius rodiklius reikia minimizuoti, o kuriuos - maksimizuoti. Maksimizuojamame intervale didesnė reikšmė yra geresnė, o mažesnė – blogesnė. Minimizuojamame intervale mažesnė reikšmė yra geresnė, o didesnė – blogesnė.

15 lentelė. Rodiklių reikšmingumas

Rodiklio pavadinimas	Reikšmingumas	MIN/MAX
Patvarumas	0,1524	MAX
Stabilumas	0,1417	MAX
Pamatų paplovimas	0,1297	MIN
Tarnavimo laikas	0,0835	MAX
Išlaikymas ir priežiūra	0,0658	MIN
Investicijos	0,0590	MIN
Ekologiškumas ir įtaka florai/faunai	0,0519	MIN
Atstumas nuo kranto	0,0415	MIN
Gamyba	0,0370	MIN
Jūros dugno tipas	0,0352	MAX
Montavimo sudėtingumas	0,0315	MIN
Statybos trukmė	0,0303	MIN
Vandens gylis	0,0274	MAX
Savasis svoris	0,0269	MIN
Transportavimas	0,0255	MIN
Demontavimas	0,0209	MAX
Novatoriškumas	0,0167	MAX
Užimamos teritorijos plotas	0,0156	MIN
Estetinis įvertinimas	0,0075	MAX
	$\sum_{i=m}^n x_j = 1$	

Atlikus įvairių mokslinių darbų analizę ir remiantis Singh *et al.* (2010) pateiktais duomenimis buvo įvertinti 5 pamatų tipai, tinkami Baltijos jūrai ties Lietuvos pakrante ir sudaroma bendra skaičiavimų priėmimo matrica (16 lentelė), pagal kurią atliekami tolimesni skaičiavimai.

Vertinami penki jūrinių vėjo jėgainių pamatų tipai:  $A_1$  – gravitaciniai,  $A_2$  – monopoliniai,  $A_3$  – kesoniniai,  $A_4$  – karkasiniai ir  $A_5$  – plūduriuojantys.

Rodikliai, kuriais remiantis vertinami pamatų tipai:

–  $x_1$  – investicijos. Šiuo rodikliu siekiama įvertinti galimus statybų kaštus. Skaičiavimai remiasi preliminariu projektu, reikalingų statybinių medžiagų rūšimis ir jų kiekiais.

–  $x_2$  – statybos trukmė. Šiuo rodikliu siekiama įvertinti statybos trukmę, galimai trumpiausią ir ilgiausią statybos trukmę, kuri stipriai įtakoja statybos kaštus.

–  $x_3$  – užimamos teritorijos plotas. Vėjo jėgainės užimamas teritorijos plotas.

–  $x_4$  – tarnavimo laikas. Labai svarbu, kiek laiko tarnaus vėjo jėgainės pamatai, juolab, kad investicijos yra itin didelės ir reikia apskaičiuoti atsiperkamumą.

–  $x_5$  – estetinis įvertinimas. Vėjo jėgainės pamatų estetinis priimtumas.

–  $x_6$  – vandens gylis. Galimybė pamatus montuoti skirtingame gylyje.

–  $x_7$  – atstumas nuo kranto. Pamatų tipo naudojimas priklausomai nuo atstumo nuo kranto.

–  $x_8$  – jūros dugno tipas. Šiuo rodikliu siekiama įvertinti pamatų konstrukcijos pritaikomumą prie montavimo vietoje esančio grunto.

–  $x_9$  – montavimo sudėtingumas. Kadangi pamatai yra skirtingų dydžių, konstrukcijų ir montuojami skirtingais būdais, skiriasi ir montavimo sudėtingumas.

–  $x_{10}$  – demontavimas. Šiuo rodikliu siekiama įvertinti pamatų tipo konstrukcijos demontavimo sudėtingumą, kai reikia keisti montavimo vietą ar pamatai esamoje vietoje nebereikalingi.

–  $x_{11}$  – stabilumas. Pamatų konstrukcijos atsparumas jėgoms, kurios sukelia įlinkį ir poslinkį.

–  $x_{12}$  – novatoriškumas. Šis rodiklis nusako pamatų išskirtinumą ir inovatyvumą.

–  $x_{13}$  – gamyba. Šiuo rodikliu siekiama įvertinti pamatų gamybos sudėtingumą, priklausomą nuo jų konstrukcijos ir dydžio.

–  $x_{14}$  – transportavimas. Pamatų gabenimas iš gamybos į montavimo vietą.

–  $x_{15}$  – savasis svoris. Skirtingi pamatų tipai pasižymi skirtingu svoriu, kuris stipriai susijęs su gamybos ir montavimo sudėtingumu.

–  $x_{16}$  – pamatų paplovimas. Galimas grunto paplovimas po pamatais.

–  $x_{17}$  – patvarumas. Pamatų tipo atsparumas rūdijimui ar nusidėvėjimui dėl aplinkos poveikio.

–  $x_{18}$  – ekologiškas ir įtaka florai/faunai. Šiuo rodikliu siekiama įvertinti pamatų poveikį ekosistemai ir šėšėlį, kuris gali įtakoti jūros florą ir fauną.

–  $x_{19}$  – išlaikymas ir priežiūra. Šis rodiklis sudaro dvi dalys – kaštai ir prastovos dėl remonto darbų. Greitas prieinamumas prie reikalingos įrangos mažina prastovų trukmę, bet didina išlaikymo kaštus.

16 lentelė. Pamatų palyginimo duomenys

Duomenų matrica										
	Kriterijai	Vienetai	Svoris	Alternatyvos					MAX Reikšmė	
				$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$		
$x_1$	Investicijos	balai	0,059	4	2	2	4	5	MIN	2
$x_2$	Statybos trukmė	balai	0,030	4	3	2	3	1	MIN	1
$x_3$	Užimamos teritorijos plotas	balai	0,016	1	1	1	1	1	MIN	1
$x_4$	Tarnavimo laikas	balai	0,083	4	3	2	2	3	MAX	4
$x_5$	Estetinis įvertinimas	balai	0,007	2	3	2	3	4	MAX	4
$x_6$	Vandens gylis	metrai	0,027	25	30	55	50	150	MAX	150
$x_7$	Atstumas nuo kranto	balai	0,041	1	1	1	1	1	MIN	1
$x_8$	Jūros dugno tipas	balai	0,035	1	3	3	4	5	MAX	5
$x_9$	Montavimo sudėtingumas	balai	0,031	4	3	3	3	2	MIN	2
$x_{10}$	Demontavimas	balai	0,021	2	3	4	3	4	MAX	4
$x_{11}$	Stabilumas	balai	0,142	5	4	4	5	4	MAX	5
$x_{12}$	Novatoriškumas	balai	0,017	2	3	4	3	5	MAX	5
$x_{13}$	Gamyba	balai	0,037	4	2	2	2	2	MIN	2
$x_{14}$	Transportavimas	balai	0,026	4	3	3	3	2	MIN	2
$x_{15}$	Savasis svoris	balai	0,027	5	3	3	2	3	MIN	2
$x_{16}$	Pamatų paplovimas	balai	0,130	5	3	3	2	1	MIN	1
$x_{17}$	Patvarumas	balai	0,152	5	4	4	5	3	MAX	5
$x_{18}$	Ekologiškas ir įtaka florai/faunai	balai	0,052	4	2	2	1	4	MIN	1
$x_{19}$	Išlaikymas ir priežiūra	balai	0,066	3	4	3	3	5	MIN	3

$x_3$  ir  $x_7$  analizuojant mokslinėje literatūroje jūrų vėjo jėginių pamatų tipus yra vieni iš kriterijų rodiklių, tačiau nustatant racionaliausią pamatų tipą, šie du rodikliai neturi įtakos (arba įtaka minimali), todėl duomenų matricoje šie rodikliai yra priimami vienodi t.y. lygūs vienetui.

## SAW metodas

Skaičiavimai atliekami naudojant (8-11) formules.

1. Sudaroma pradinė matrica.

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	$x_{19}$
$A_1$	4	4	1	4	2	25	1	1	4	2	5	2	4	4	5	5	5	4	3
$A_2$	2	3	1	3	3	30	1	3	3	3	4	3	2	3	3	3	4	2	4
$A_3$	2	2	1	2	2	55	1	3	3	4	4	4	2	3	3	3	4	2	3
$A_4$	4	3	1	2	3	50	1	4	3	3	5	3	2	3	2	2	5	1	3
$A_5$	5	1	1	3	4	150	1	5	2	4	4	5	2	2	3	1	3	4	5
$q$	0,059	0,030	0,016	0,083	0,007	0,027	0,041	0,035	0,031	0,021	0,142	0,017	0,037	0,026	0,027	0,130	0,152	0,052	0,066
	MIN	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN	MIN	MIN	MIN	MAX	MIN	MIN

2. Normalizuota matrica.

Visi sprendimo matricos  $P$  nariai, kuriuos reikės maksimizuoti, normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}}, i = 1; j = 1.$$

$$\bar{x}_{14} = \frac{4}{4} = 1$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

Visi sprendimo matricos  $P$  nariai, kuriuos reikės minimizuoti, normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_j^{min}}{x_{ij}}, i = 1; j = 1.$$

$$\bar{x}_{11} = \frac{2}{4} = 0,5$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	$x_{19}$
$A_1$	0,500	0,250	1,000	1,000	0,500	6,000	1,000	0,200	0,500	0,500	1,000	0,400	0,500	0,500	0,400	0,200	1,000	0,250	1,000
$A_2$	1,000	0,333	1,000	0,750	0,750	5,000	1,000	0,600	0,667	0,750	0,800	0,600	1,000	0,667	0,667	0,333	0,800	0,500	0,750
$A_3$	1,000	0,500	1,000	0,500	0,500	2,727	1,000	0,600	0,667	1,000	0,800	0,800	1,000	0,667	0,667	0,333	0,800	0,500	1,000
$A_4$	0,500	0,333	1,000	0,500	0,750	3,000	1,000	0,800	0,667	0,750	1,000	0,600	1,000	0,667	1,000	0,500	1,000	1,000	1,000
$A_5$	0,400	1,000	1,000	0,750	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,800	1,000	1,000	1,000	0,667	1,000	0,600	0,250	0,250
$q$	0,059	0,030	0,016	0,083	0,007	0,027	0,041	0,035	0,031	0,021	0,142	0,017	0,037	0,026	0,027	0,130	0,152	0,052	0,066
	MIN	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN	MIN	MIN	MIN	MAX	MIN	MIN

3. Norint nustatyti racionaliausią alternatyvą, gauti nariai dauginami iš rodiklių reikšmingumų ir sudedami. Racionaliausios alternatyvos sandaugų suma bus maksimali.

$$A = \sum_{i=1}^n q_i^* \bar{x}_{ij}, i = 1; j = 1$$

$$A_1 = 0,500 \cdot 0,059 + 0,250 \cdot 0,030 + \dots + 1,000 \cdot 0,066 = 0,827$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

$A_1$	0,827	2
$A_2$	0,825	3
$A_3$	0,770	4
$A_4$	0,859	1
$A_5$	0,757	5

Sudaryta alternatyvų prioritetinga eilutė. Geriausia alternatyva, kurios gauta reikšmė didžiausia, jos rangas vienetas, o blogiausios alternatyvos – penketas.

## TOPSIS metodas

Skaičiavimai atliekami naudojant (12-19) formules.

1. Sudaroma sprendimų matrica.

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	$x_{19}$
$A_1$	4	4	1	4	2	25	1	1	4	2	5	2	4	4	5	5	5	4	3
$A_2$	2	3	1	3	3	30	1	3	3	3	4	3	2	3	3	3	4	2	4
$A_3$	2	2	1	2	2	55	1	3	3	4	4	4	2	3	3	3	4	2	3
$A_4$	4	3	1	2	3	50	1	4	3	3	5	3	2	3	2	2	5	1	3
$A_5$	5	1	1	3	4	150	1	5	2	4	4	5	2	2	3	1	3	4	5
q	0,059	0,030	0,016	0,083	0,007	0,027	0,041	0,035	0,031	0,021	0,142	0,017	0,037	0,026	0,027	0,130	0,152	0,052	0,066
	MIN	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN	MIN	MIN	MIN	MAX	MIN	MIN

2. Tada sprendimų matrica P normalizuojama atliekant vektorinę normalizaciją ir gaunama normalizuota matrica, kurios elementai yra bedimensiniai:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, j = \overline{1, n},$$

čia  $\bar{x}_{ij}$  - normalizuotas, neturintis matavimo vieneto, skaičius, priklausantis intervalui [0,1] ir apibrėžia normalizuotą  $i$  – osios alternatyvos,  $j$  – ojo efektyvumo rodiklio reikšmę.

$$\bar{x}_{11} = \frac{4}{\sqrt{4^2 + 2^2 + 2^2 + 4^2 + 5^2}} = 0,496$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	$x_{19}$
$A_1$	0,496	0,641	0,447	0,617	0,309	0,145	0,447	0,129	0,583	0,272	0,505	0,252	0,707	0,583	0,668	0,722	0,524	0,625	0,364
$A_2$	0,248	0,480	0,447	0,463	0,463	0,175	0,447	0,387	0,438	0,408	0,404	0,378	0,354	0,438	0,401	0,433	0,419	0,312	0,485
$A_3$	0,248	0,320	0,447	0,309	0,309	0,320	0,447	0,387	0,438	0,544	0,404	0,504	0,354	0,438	0,401	0,433	0,419	0,312	0,364
$A_4$	0,496	0,480	0,447	0,309	0,463	0,291	0,447	0,516	0,438	0,408	0,505	0,378	0,354	0,438	0,267	0,289	0,524	0,156	0,364
$A_5$	0,620	0,160	0,447	0,463	0,617	0,873	0,447	0,645	0,292	0,544	0,404	0,630	0,354	0,292	0,401	0,144	0,314	0,625	0,606
q	0,059	0,030	0,016	0,083	0,007	0,027	0,041	0,035	0,031	0,021	0,142	0,017	0,037	0,026	0,027	0,130	0,152	0,052	0,066
	MIN	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN	MIN	MIN	MIN	MAX	MIN	MIN

3. Skaičiuojama svartinė normalizuota matrica. Gautos normalizuotos sprendimų matricos elementai dauginami iš atitinkamų rodiklių reikšmingumų.

$$x_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot x_{qi}, i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}.$$

$$\bar{x}_{11} = 0,496 \cdot 0,059 = 0,029$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	$x_{19}$
$A_1$	0,029	0,019	0,007	0,052	0,002	0,004	0,019	0,005	0,018	0,006	0,072	0,004	0,026	0,015	0,018	0,094	0,080	0,032	0,024
$A_2$	0,015	0,015	0,007	0,039	0,003	0,005	0,019	0,014	0,014	0,009	0,057	0,006	0,013	0,011	0,011	0,056	0,064	0,016	0,032
$A_3$	0,015	0,010	0,007	0,026	0,002	0,009	0,019	0,014	0,014	0,011	0,057	0,008	0,013	0,011	0,011	0,056	0,064	0,016	0,024
$A_4$	0,029	0,015	0,007	0,026	0,003	0,008	0,019	0,018	0,014	0,009	0,072	0,006	0,013	0,011	0,007	0,037	0,080	0,008	0,024
$A_5$	0,037	0,005	0,007	0,039	0,005	0,024	0,019	0,023	0,009	0,011	0,057	0,011	0,013	0,007	0,011	0,019	0,048	0,032	0,040

4. Tada sudaromas geriausios alternatyvos  $A^+$  ir blogiausios alternatyvos  $A^-$  modelis, kurių elementai nustatomi pagal formules.

$$A^+ = \left\{ \left( \max_i x_{ij} | j \in J \right), \left( \min_i x_{ij} | j \in J' \right) | i = \overline{1, m} \right\},$$

$$A^- = \left\{ \left( \min_i v_{ij} | j \in J \right), \left( \max_i v_{ij} | j \in J' \right) | i = \overline{1, m} \right\},$$

čia  $J$  – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė;  $J'$  - rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė.

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	$x_{19}$
$A^+$	0,015	0,005	0,007	0,052	0,005	0,024	0,019	0,023	0,009	0,011	0,072	0,011	0,013	0,007	0,007	0,019	0,080	0,008	0,024
$A^-$	0,037	0,019	0,007	0,026	0,002	0,004	0,019	0,005	0,018	0,006	0,057	0,004	0,026	0,015	0,018	0,094	0,048	0,032	0,040

5. Nustatomas atstumas tarp lyginamosios ir idealiai geriausios bei idealiai blogiausios alternatyvos.

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - A_j^+)^2}, i = \overline{1, m}.$$

$$L_{A_1}^+ = \sqrt{(0,029 - 0,015)^2 + (0,019 - 0,005)^2 + \dots + (0,024 - 0,024)^2} = 0,089$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

$L_{A_1}^+$	0,089
$L_{A_2}^+$	0,053
$L_{A_3}^+$	0,055
$L_{A_4}^+$	0,041
$L_{A_5}^+$	0,052

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - A_j^-)^2}, i = \overline{1, m}$$

$$L_{A_1}^- = \sqrt{(0,029 - 0,037)^2 + (0,019 - 0,019)^2 + \dots + (0,024 - 0,040)^2} = 0,047$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

$L_{A_1}^-$	0,047
$L_{A_2}^-$	0,055
$L_{A_3}^-$	0,056
$L_{A_4}^-$	0,076
$L_{A_5}^-$	0,085

6. Nustatomas sąlyginis lyginamasis alternatyvos artumas idealiai alternatyvai.

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, \quad i = \overline{1, m}, \text{ kai } K_i \in [0, 1]$$

$$K_{A_1} = \frac{0,047}{0,089 + 0,047} = 0,346$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

$K_{A_1}$	0,346	5
$K_{A_2}$	0,510	3
$K_{A_3}$	0,507	4
$K_{A_4}$	0,652	1
$K_{A_5}$	0,618	2

Sudaryta alternatyvų prioritentinė eilutė. Geriausia alternatyva, kurios gauta reikšmė didžiausia, jos rangas vienetas, o blogiausios alternatyvos – penketas.

### COPRAS metodas

Skaičiavimai atliekami naudojant (20-26) formules.

1. Sudaroma sprendimų matrica.

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	Suma	$q$	
$x_1$	4	2	2	4	5	17	0,059	MIN
$x_2$	4	3	2	3	1	13	0,030	MIN
$x_3$	1	1	1	1	1	5	0,016	MIN
$x_4$	4	3	2	2	3	14	0,083	MAX
$x_5$	2	3	2	3	4	14	0,007	MAX
$x_6$	25	30	55	50	150	310	0,027	MAX
$x_7$	1	1	1	1	1	5	0,041	MIN
$x_8$	1	3	3	4	5	16	0,035	MAX
$x_9$	4	3	3	3	2	15	0,031	MIN
$x_{10}$	2	3	4	3	4	16	0,021	MAX
$x_{11}$	5	4	4	5	4	22	0,142	MAX
$x_{12}$	2	3	4	3	5	17	0,017	MAX
$x_{13}$	4	2	2	2	2	12	0,037	MIN
$x_{14}$	4	3	3	3	2	15	0,026	MIN
$x_{15}$	5	3	3	2	3	16	0,027	MIN
$x_{16}$	5	3	3	2	1	14	0,130	MIN
$x_{17}$	5	4	4	5	3	21	0,152	MAX
$x_{18}$	4	2	2	1	4	13	0,052	MIN
$x_{19}$	3	4	3	3	5	18	0,066	MIN

2. Sudarytos matricos elementai normalizuojama:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}),$$

čia  $\bar{x}_{ij}$  - normalizuotas, neturintis matavimo vieneto, skaičius, priklausantis intervalui  $[0,1]$  ir apibrėžia normalizuotą  $i$  - osios alternatyvos,  $j$  - ojo efektyvumo rodiklio reikšmę.

$$\bar{x}_{11} = \frac{4}{4 + 2 + 2 + 4 + 5} = 0,235$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	
$x_1$	0,235	0,118	0,118	0,235	0,294	MIN
$x_2$	0,308	0,231	0,154	0,231	0,077	MIN
$x_3$	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	MIN
$x_4$	0,286	0,214	0,143	0,143	0,214	MAX
$x_5$	0,143	0,214	0,143	0,214	0,286	MAX
$x_6$	0,081	0,097	0,177	0,161	0,484	MAX
$x_7$	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	MIN
$x_8$	0,063	0,188	0,188	0,250	0,313	MAX
$x_9$	0,267	0,200	0,200	0,200	0,133	MIN
$x_{10}$	0,125	0,188	0,250	0,188	0,250	MAX
$x_{11}$	0,227	0,182	0,182	0,227	0,182	MAX
$x_{12}$	0,118	0,176	0,235	0,176	0,294	MAX
$x_{13}$	0,333	0,167	0,167	0,167	0,167	MIN
$x_{14}$	0,267	0,200	0,200	0,200	0,133	MIN
$x_{15}$	0,313	0,188	0,188	0,125	0,188	MIN
$x_{16}$	0,357	0,214	0,214	0,143	0,071	MIN
$x_{17}$	0,238	0,190	0,190	0,238	0,143	MAX
$x_{18}$	0,308	0,154	0,154	0,077	0,308	MIN
$x_{19}$	0,167	0,222	0,167	0,167	0,278	MIN

3. Skaičiuojama svertinė normalizuota matrica. Gautos normalizuotos sprendimų matricos elementai dauginami iš atitinkamų rodiklių reikšmingumų.

$$\bar{x}_{ij} = x_{ij} \cdot q_i, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$$

$$\bar{x}_{11} = 0,235 \cdot 0,059 = 0,014$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	
$x_1$	0,014	0,007	0,007	0,014	0,017	MIN
$x_2$	0,009	0,007	0,005	0,007	0,002	MIN
$x_3$	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	MIN
$x_4$	0,024	0,018	0,012	0,012	0,018	MAX
$x_5$	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	MAX
$x_6$	0,002	0,003	0,005	0,004	0,013	MAX
$x_7$	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	MIN
$x_8$	0,002	0,007	0,007	0,009	0,011	MAX
$x_9$	0,008	0,006	0,006	0,006	0,004	MIN
$x_{10}$	0,003	0,004	0,005	0,004	0,005	MAX
$x_{11}$	0,032	0,026	0,026	0,032	0,026	MAX

$x_{12}$	0,002	0,003	0,004	0,003	0,005	MAX
$x_{13}$	0,012	0,006	0,006	0,006	0,006	MIN
$x_{14}$	0,007	0,005	0,005	0,005	0,003	MIN
$x_{15}$	0,008	0,005	0,005	0,003	0,005	MIN
$x_{16}$	0,046	0,028	0,028	0,019	0,009	MIN
$x_{17}$	0,036	0,029	0,029	0,036	0,022	MAX
$x_{18}$	0,016	0,008	0,008	0,004	0,016	MIN
$x_{19}$	0,011	0,015	0,011	0,011	0,018	MIN

4. Apskaičiuojamos  $i$ -tosios alternatyvos, svertinėje normalizuotoje sprendimų matricioje maksimizuojamų ir minimizuojamų rodiklių sumos, atitinkamai  $S_{+i}$  ir  $S_{-i}$ .

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^k \bar{x}_{ij}, (i = \overline{1, m})$$

$$S_{+A_1} = 0,024 + 0,001 + \dots + 0,036 = 0,102$$

čia  $k$  – maksimizuojamų rodiklių skaičius.

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

$S_{+A_1}$	$S_{+A_2}$	$S_{+A_3}$	$S_{+A_4}$	$S_{+A_5}$	$S_{+suma}$
0,102	0,090	0,088	0,102	0,102	0,485

$$S_{-i} = \sum_{j=1+k}^n \bar{x}_{ij}, (i = \overline{1, m})$$

$$S_{-A_1} = 0,014 + 0,009 + \dots + 0,011 = 0,144$$

čia  $n-k$  – minimizuojamų rodiklių skaičius.

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

$S_{-A_1}$	$S_{-A_2}$	$S_{-A_3}$	$S_{-A_4}$	$S_{-A_5}$	$S_{-suma}$	$S_{-min}$
0,144	0,098	0,092	0,087	0,093	0,515	0,087

5. Nustatomas alternatyvų santykinis reikšmingumas ( $Q_i$ ):

$$Q_i = S_{+i} + \frac{S_{-min} \cdot \sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{S_{-min}}{S_{-i}}}, i = \overline{1, m}.$$

$$Q_{A_1} = 0,102 + \frac{0,087 \cdot (0,144 + 0,098 + \dots + 0,093)}{0,144 \cdot \left( \frac{0,087}{0,144} + \frac{0,087}{0,098} + \dots + \frac{0,087}{0,093} \right)} = 0,174$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

$Q_{A_1}$	$Q_{A_2}$	$Q_{A_3}$	$Q_{A_4}$	$Q_{A_5}$
0,174	0,195	0,199	0,220	0,212
5	4	3	1	2

Sudaryta alternatyvų prioritėtinė eilutė. Geriausia alternatyva, kurios gauta reikšmė didžiausia, jos rangas vienetas, o blogiausios alternatyvos – penketas.

## WASPAS metodas

Skaičiavimai atliekami naudojant (27-31) formules.

### 1. Sudaroma sprendimų matrica.

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	MAX	$q$	
$x_1$	4	2	2	4	5	2	0,059	MIN
$x_2$	4	3	2	3	1	1	0,030	MIN
$x_3$	1	1	1	1	1	1	0,016	MIN
$x_4$	4	3	2	2	3	4	0,083	MAX
$x_5$	2	3	2	3	4	4	0,007	MAX
$x_6$	25	30	55	50	150	150	0,027	MAX
$x_7$	1	1	1	1	1	1	0,041	MIN
$x_8$	1	3	3	4	5	5	0,035	MAX
$x_9$	4	3	3	3	2	2	0,031	MIN
$x_{10}$	2	3	4	3	4	4	0,021	MAX
$x_{11}$	5	4	4	5	4	5	0,142	MAX
$x_{12}$	2	3	4	3	5	5	0,017	MAX
$x_{13}$	4	2	2	2	2	2	0,037	MIN
$x_{14}$	4	3	3	3	2	2	0,026	MIN
$x_{15}$	5	3	3	2	3	2	0,027	MIN
$x_{16}$	5	3	3	2	1	1	0,130	MIN
$x_{17}$	5	4	4	5	3	5	0,152	MAX
$x_{18}$	4	2	2	1	4	1	0,052	MIN
$x_{19}$	3	4	3	3	5	3	0,066	MIN

### 2. Matricos normalizavimas pagal formules:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} - \text{naudingam kriterijui.}$$

čia  $\bar{x}_{ij}$  - normalizuotas, neturintis matavimo vieneto, skaičius, priklausantis intervalui [0,1] ir apibrėžia normalizuotą  $i$  – osios alternatyvos,  $j$  – ojo efektyvumo rodiklio reikšmę.

$$\bar{x}_{44} = \frac{4}{4} = 1$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} - \text{nenaudingam kriterijui normalizuoti.}$$

čia  $\bar{x}_{ij}$  - normalizuotas, neturintis matavimo vieneto, skaičius, priklausantis intervalui [0,1] ir apibrėžia normalizuotą  $i$  – osios alternatyvos,  $j$  – ojo efektyvumo rodiklio reikšmę.

$$\bar{x}_{11} = \frac{2}{4} = 0,5$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
$x_1$	0,500	1,000	1,000	0,500	0,400
$x_2$	0,250	0,333	0,500	0,333	1,000
$x_3$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
$x_4$	1,000	0,750	0,500	0,500	0,750
$x_5$	0,500	0,750	0,500	0,750	1,000
$x_6$	6,000	5,000	2,727	3,000	1,000
$x_7$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
$x_8$	0,200	0,600	0,600	0,800	1,000
$x_9$	0,500	0,667	0,667	0,667	1,000
$x_{10}$	0,500	0,750	1,000	0,750	1,000
$x_{11}$	1,000	0,800	0,800	1,000	0,800
$x_{12}$	0,400	0,600	0,800	0,600	1,000
$x_{13}$	0,500	1,000	1,000	1,000	1,000
$x_{14}$	0,500	0,667	0,667	0,667	1,000
$x_{15}$	0,400	0,667	0,667	1,000	0,667
$x_{16}$	0,200	0,333	0,333	0,500	1,000
$x_{17}$	1,000	0,800	0,800	1,000	0,600
$x_{18}$	0,250	0,500	0,500	1,000	0,250
$x_{19}$	1,000	0,750	1,000	1,000	0,600

3. Skaičiuojama svartinė normalizuota matrica. Gautos normalizuotos sprendimų matricos elementai dauginami iš atitinkamų rodiklių reikšmingumų.

$$Q_i = \bar{x}_{ij}q_j.$$

$$\bar{x}_{11} = 0,500 \cdot 0,059 = 0,030$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
$x_1$	0,030	0,059	0,059	0,030	0,024
$x_2$	0,008	0,010	0,015	0,010	0,030
$x_3$	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
$x_4$	0,083	0,063	0,042	0,042	0,063
$x_5$	0,004	0,006	0,004	0,006	0,007
$x_6$	0,165	0,137	0,075	0,082	0,027
$x_7$	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041
$x_8$	0,007	0,021	0,021	0,028	0,035
$x_9$	0,016	0,021	0,021	0,021	0,031
$x_{10}$	0,010	0,016	0,021	0,016	0,021
$x_{11}$	0,142	0,113	0,113	0,142	0,113
$x_{12}$	0,007	0,010	0,013	0,010	0,017
$x_{13}$	0,019	0,037	0,037	0,037	0,037

$x_{14}$	0,013	0,017	0,017	0,017	0,026
$x_{15}$	0,011	0,018	0,018	0,027	0,018
$x_{16}$	0,026	0,043	0,043	0,065	0,130
$x_{17}$	0,152	0,122	0,122	0,152	0,091
$x_{18}$	0,013	0,026	0,026	0,052	0,013
$x_{19}$	0,066	0,049	0,066	0,066	0,040

4. Apskaičiuojamas pirmas optimalumo kriterijus.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} q_j$$

$$Q_{A_1}^{(1)} = 0,030 + 0,008 + \dots + 0,066 = 0,827$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
$Q^{(1)}$	0,827	0,825	0,770	0,859	0,780

5. Apskaičiuojamas antras optimalumo kriterijus.

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j}$$

$$Q_{A_1}^{(2)} = 0,500^{0,059} \cdot 0,250^{0,030} \cdot \dots \cdot 1,000^{0,066} = 0,649$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
$Q^{(2)}$	0,649	0,732	0,709	0,799	0,738

6. Bendras optimalumo kriterijus apskaičiuojamas taip:

$$Q_i = 0,5Q_i^{(1)} + 0,5Q_i^{(2)} = 0,5 \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j + 0,5 \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j}$$

$$Q_{A_1} = 0,5 \cdot 0,827 + 0,5 \cdot 0,649 = 0,738$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
$Q_{bendras}$	0,738	0,779	0,740	0,829	0,759
Rangas	5	2	4	1	3

Sudaryta alternatyvų prioritetingė eilutė. Geriausia alternatyva, kurios gauta reikšmė didžiausia, jos rangas vienetas, o blogiausios alternatyvos – penketas.

## MOORA metodas

Skaičiavimai atliekami naudojant (32-35) formules.

1. Sudaroma pradinė matrica.

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	$x_{19}$
$A_1$	4	4	1	4	2	25	1	1	4	2	5	2	4	4	5	5	5	4	3
$A_2$	2	3	1	3	3	30	1	3	3	3	4	3	2	3	3	3	4	2	4
$A_3$	2	2	1	2	2	55	1	3	3	4	4	4	2	3	3	3	4	2	3
$A_4$	4	3	1	2	3	50	1	4	3	3	5	3	2	3	2	2	5	1	3
$A_5$	5	1	1	3	4	150	1	5	2	4	4	5	2	2	3	1	3	4	5

MIN MIN MIN MAX MAX MAX MIN MAX MIN MAX MAX MAX MIN MIN MIN MIN MAX MIN MIN

2. Santykių sistema apibrėžia duomenų normalizavimą kiekvieno rodiklio konkrečią reikšmę lyginant su visomis to rodiklio reikšmėmis.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}},$$

čia  $\bar{x}_{ij}$  - normalizuotas, neturintis matavimo vieneto, skaičius, priklausantis intervalui [0,1] ir apibrėžia normalizuotą  $i$  – osios alternatyvos,  $j$  – ojo efektyvumo rodiklio reikšmę.

$$\bar{x}_{11} = \frac{4}{\sqrt{4^2 + 2^2 + \dots + 5^2}} = 0,496$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>7</sub>	x <sub>8</sub>	x <sub>9</sub>	x <sub>10</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>12</sub>	x <sub>13</sub>	x <sub>14</sub>	x <sub>15</sub>	x <sub>16</sub>	x <sub>17</sub>	x <sub>18</sub>	x <sub>19</sub>
A <sub>1</sub>	0,496	0,641	0,447	0,617	0,309	0,145	0,447	0,129	0,583	0,272	0,505	0,252	0,707	0,583	0,668	0,722	0,524	0,625	0,364
A <sub>2</sub>	0,248	0,480	0,447	0,463	0,463	0,175	0,447	0,387	0,438	0,408	0,404	0,378	0,354	0,438	0,401	0,433	0,419	0,312	0,485
A <sub>3</sub>	0,248	0,320	0,447	0,309	0,309	0,320	0,447	0,387	0,438	0,544	0,404	0,504	0,354	0,438	0,401	0,433	0,419	0,312	0,364
A <sub>4</sub>	0,496	0,480	0,447	0,309	0,463	0,291	0,447	0,516	0,438	0,408	0,505	0,378	0,354	0,438	0,267	0,289	0,524	0,156	0,364
A <sub>5</sub>	0,620	0,160	0,447	0,463	0,617	0,873	0,447	0,645	0,292	0,544	0,404	0,630	0,354	0,292	0,401	0,144	0,314	0,625	0,606
	MIN	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN	MIN	MIN	MIN	MAX	MIN	MIN

3. Rodikliai sudedami, jei siekiama maksimali reikšmė arba atimami, jei siekiama minimali reikšmė, ir gaunamas indeksas:

$$y_i^* = \sum_{j=1}^g \bar{x}_{ij} - \sum_{j=g+1}^m \bar{x}_{ij},$$

čia  $g$  – siekiamų maksimizuoti rodiklių skaičius,  $m$  – siekiamų minimizuoti rodiklių skaičius.

$$A_1 = (0,617 + 0,309 + \dots + 0,524) - (0,496 + 0,641 + \dots + 0,364) = -3,530$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

		Rangas
A <sub>1</sub>	-3,530	5
A <sub>2</sub>	-1,386	4
A <sub>3</sub>	-1,005	3
A <sub>4</sub>	-0,781	2
A <sub>5</sub>	0,103	1

Sudaryta alternatyvų prioritėtinė eilutė. Geriausia alternatyva, kurios gauta reikšmė didžiausia, jos rangas vienetas, o blogiausios alternatyvos – penketas.

4. Siekiant padidinti sprendimo priėmimo tikslumą papildomai dauginama iš atitinkamo reikšmingumo koeficiento ( $w_j$ ), kuris gaunamas AHP metodu.

$$y_i = \sum_{j=1}^g w_j \bar{x}_{ij} - \sum_{j=g+1}^n w_j \bar{x}_{ij}$$

čia  $g$  – siekiamų maksimizuoti rodiklių skaičius,  $m$  – siekiamų minimizuoti rodiklių skaičius.

$$A_1 = (0,083 \cdot 0,617 + 0,007 \cdot 0,309 + \dots + 0,152 \cdot 0,524) - (0,059 \cdot 0,496 + 0,030 \cdot 0,641 + \dots + 0,066 \cdot 0,364) = 0,029$$

Kitos reikšmės gaunamos analogiškai.

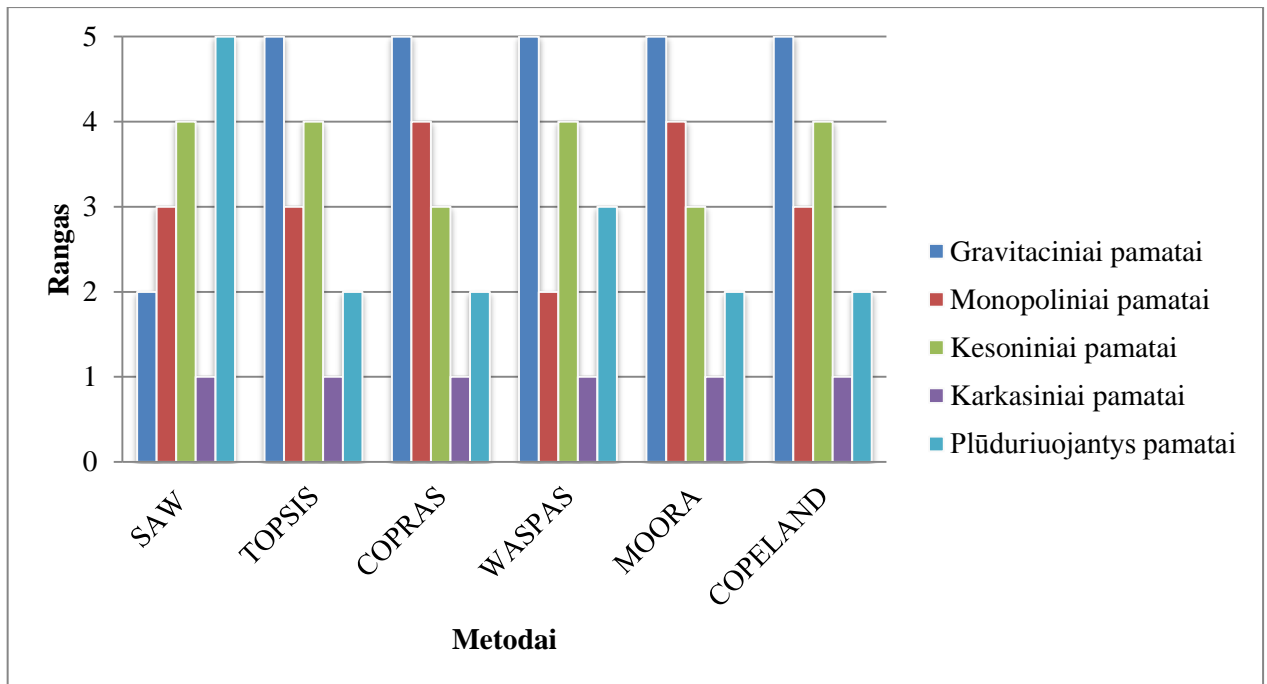
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	$x_{19}$	Suma	Rangas
$A_1$	0,029	0,019	0,007	0,052	0,002	0,004	0,019	0,005	0,018	0,006	0,072	0,004	0,026	0,015	0,018	0,094	0,080	0,032	0,024	-0,078	5
$A_2$	0,015	0,015	0,007	0,039	0,003	0,005	0,019	0,014	0,014	0,009	0,057	0,006	0,013	0,011	0,011	0,056	0,064	0,016	0,032	-0,011	4
$A_3$	0,015	0,010	0,007	0,026	0,002	0,009	0,019	0,014	0,014	0,011	0,057	0,008	0,013	0,011	0,011	0,056	0,064	0,016	0,024	-0,004	3
$A_4$	0,029	0,015	0,007	0,026	0,003	0,008	0,019	0,018	0,014	0,009	0,072	0,006	0,013	0,011	0,007	0,037	0,080	0,008	0,024	0,038	1
$A_5$	0,037	0,005	0,007	0,039	0,005	0,024	0,019	0,023	0,009	0,011	0,057	0,011	0,013	0,007	0,011	0,019	0,048	0,032	0,040	0,018	2
$q$	0,059	0,030	0,016	0,083	0,007	0,027	0,041	0,035	0,031	0,021	0,142	0,017	0,037	0,026	0,027	0,130	0,152	0,052	0,066		

MIN MIN MIN MAX MAX MAX MIN MAX MIN MAX MAX MAX MIN MIN MIN MIN MAX MIN MIN

Sudaryta alternatyvų prioritetinė eilutė. Geriausia alternatyva, kurios gauta reikšmė didžiausia, jos rangas vienetas, o blogiausios alternatyvos – penketas.

### III. REZULTATAI

Moksliniame tiriamajame darbe buvo naudojami daugiatisksliai sprendimo priėmimo metodai SAW, TOPSIS, COPRAS, WASPAS ir MOORA. Pritaikius SAW metodą, nustatyta, jog racionaliausia alternatyva – karkasiniai pamatai, o blogiausia alternatyva – plūduriuojantys pamatai. Pritaikius TOPSIS, COPRAS, WASPAS ir MOORA metodus, nustatyta, kad racionaliausia alternatyva karkasiniai pamatai, o blogiausia – gravitaciniai pamatai. Visų pamatų rangai apskaičiuoti skirtingais daugiatisksliais metodais pateikti 21 pav.



21 pav. Jūrinių vėjo jėginių pamatų rangai apskaičiuoti skirtingais daugiatisksliais metodais

#### Rezultatų palyginimas

Copeland metodas naudojamas skirtingais daugiatisksliais vertinimo metodais apskaičiuotų rezultatų apibendrinimui. Rezultatams palyginti sudaroma matrica iš skirtingų daugiatisksliais metodais gautų prioritetų eilučių bei efektyvumo rangų. Lyginant vidurkių reikšmes sudaroma kvadratinė matrica. Alternatyva, kurios eilutėje yra 1, yra geresnė už alternatyvą, kurios stulpelyje yra 1. Jei alternatyva nėra geresnė arba racionalumas vienodas - 0. Racionaliausia alternatyva apskaičiuojama pagal formulę (Ustinovičius ir kt., 2004):

$$\max_i \left( \sum P_i - \sum N_i \right), \quad (36)$$

čia  $\sum P_i$  – „pergalės“, o  $\sum N_i$  – „nuostoliai“.

1. Sudaroma kvadratinė matrica.

	SAW	TOPSIS	COPRAS	WASPAS	MOORA
A 1	2	5	5	5	5
A 2	3	3	4	2	4
A 3	4	4	3	4	3
A 4	1	1	1	1	1
A 5	5	2	2	3	2

2. Apskaičiuojama racionaliausia alternatyva.

Pagal anksčiau pateiktą formulę (36).

	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	$\sum P_i$	$\sum P_i - \sum N_i$	Rangas
A 1	-	0	0	0	0	0	-4	5
A 2	1	-	1	0	0	2	0	3
A 3	1	0	-	0	0	1	-2	4
A 4	1	1	1	-	1	4	4	1
A 5	1	1	1	0	-	3	2	2
$\sum N_i$	4	2	3	0	1			

Sudaryta alternatyvų prioritetinė eilutė. Geriausia alternatyva, kurios gauta pergalių reikšmė didžiausia, jos rangas vienetas, o blogiausios alternatyvos – penketas.

## IŠVADOS

1. Atlikus literatūros analizę nagrinėjama tematika nustatyta, kad vėjo jėgainių pamatų statyba jūroje yra aktuali tema šiuo laikotarpiu ir turi didelį potencialą ateityje.
2. Apžvelgus mokslinėje literatūroje nagrinėjamus vėjo jėgainių statyti jūroje naudojamus pamatų tipus, buvo nustatyti realiausi ir daugiausia naudojami bei didžiausią potencialą turintys jų variantai, kurių pagrindu atliekami tolimesni skaičiavimai.
3. Spręsdžiant sudėtingus daugiatislius bei daugiakriterinius uždavinius ir siekiant gauti pagrįstus rezultatus, tikslinga taikyti daugiatislio sprendimo metodus. Sukurta nemažai daugiatislių sprendimų metodų, todėl parinkti vieną konkretų metodą norint išspręsti uždavinį sudėtinga. Skirtingi metodai pasižymi skirtingais privalumais ir trūkumais. Tikslinga pasirinkti keletą metodų ir rezultatus apibendrinti kompleksiskai.
4. Siekiant kuo tiksliau atlikti daugiatislių vertinimą būtina sudaryti efektyvią bei literatūros analize pagrįstą rodiklių sistemos visumą ir nustatyti jų reikšmingumus.
5. Pamatų tipams vertinti nustatyti 19 rodiklių bei taikant subjektyvų vertinimą buvo nustatyti jų svoriai. Pagal AHP vertinimą nustatyti didžiausią įtaką skaičiavimams turintys rodikliai - pamatų patvarumas, stabilumas, pamatų paplovimas.
6. Buvo sukurtas daugiatislio vertinimo modelis pasitelkus SAW, TOPSIS, COPRAS, WASPAS ir MOORA metodus.
7. Pasitelkus sukurtą modelį buvo parinkta racionaliausia alternatyva – karkasinio tipo vėjo jėgainių jūroje pamatai. Lietuvoje vėjo jėgainių parkų statybai numatytos šešios teritorijos, kurių gyliai svyruoja nuo 20 iki 50 metrų. Kadangi karkasinio tipo pamatai tinkami tokiam vandens gyliui, galima teigti, kad Lietuvos teritorijoje taip pat tinkamiausi karkasinio tipo vėjo jėgainių jūroje pamatai.

## **REKOMENDACIJOS**

1. Siekiant kuo didesnės finansinės naudos modelis gali būti naudojamas modeliuojant vėjo jėgainių parkus jūroje.
2. Modelį nesudėtinga transformuoti, kad būtų galima skaičiuoti ne tik jūros vėjo jėgainių tipų parinkimą, bet ir racionalios vietos parinkimą.
3. Nuolat kintančias kriterijų reikšmes rekomenduojama nuolat atnaujinti.
4. Nuolat atnaujinti ekspertų nuomones, kurios nemaža dalimi įtakoja alternatyvų nustatymą.

## LITERATŪROS ŠALTINIAI

- Abbasi S.A., Tabassum-Abbasi, Abbasi T. 2016. Impact of wind-energy generation on climate: A rising spectre. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 59, June 2016, Pages 1591–1598
- Abbasi T., Abbasi S. 2012. Is the Use of Renewable Energy Sources an Answer to the Problems of Global Warming and Pollution? *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. Volume 42,(2):99–154.
- Abhinav K.A., Saha N. 2015. Coupled hydrodynamic and geotechnical analysis of jacket offshore wind turbine. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. Volume 73, June 2015, Pages 66–79.
- Adedipe O., Brennan F., Kolios A. 2016. Review of corrosion fatigue in offshore structures: Present status and challenges in the offshore wind sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 61, August 2016, Pages 141–154.
- Baležentis A., Baležentis T. 2010. Europos sąjungos valstybių narių kaimo darnaus vystymo vertinimas. *Management theory and studies for rural business and infrastructure development*. Dev. 23(23):1–9.
- Andruškevičius A. 2016. Rangovų vertinimas daugiakriteriniu COPRAS metodu. *Technological and Economic Development*. 11:158-169.
- Bachynski E.E., Moan T. 2012. Design considerations for tension leg platform wind turbines. *Marine Structures*. Volume 29, Issue 1, December 2012, Pages 89–114.
- Bye A., Erbrich C., Rognlien B., Tjelta T. 1995. Geotechnical design of bucket foundations. *Offshore Technology Conference*. OTC-7793-MS.
- Blažauskas N., Cieslak A., Dapkevičiūtė A., Dorokhow D., Gajewski J., Gulbinskas S., Kalas M., Kruk - Dowgiallo L., Kulinski M., Langas V., Milerienė R., Paulauskas S., Paulauskas A., Rybka K., Ryndziewicz M., Scibior K., Sivkov V., Sraskiewicz A., Ulyanova M. 2013. Jūros vėjo energetikos plėtros perspektyvos pietryčių Baltijoje. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016 m. sausio 15d.]. Prieiga per Internetą: <[http://im.gda.pl/images/wydawnictwa/Compendium%20/power\\_lt.pdf](http://im.gda.pl/images/wydawnictwa/Compendium%20/power_lt.pdf)>.
- Bradley S. 2015. *Renewable Energy Cost Analysis: Wind Power - re\_technologies\_cost\_analysis*  
Prieiga per internetą:  
<[https://www.irena.org/documentdownloads/publications/re\\_technologies\\_cost\\_analysis-wind\\_power.pdf](https://www.irena.org/documentdownloads/publications/re_technologies_cost_analysis-wind_power.pdf)>
- Brauers W.K.M., Zavadskas E.K., Peldschus F., Turskis Z. 2008. Multi-objective optimization of road design alternatives with an application of the MOORA method. *25th Int. Symp. Autom. Robot. Constr. ISARC-2008*. 541–48.
- Brauers W.K.M., Zavadskas E.K., Peldschus F., Turskis Z. 2008. Multi objective decision making for

- road design. *Transport*. 23(3):183–93.
- Brauers W.K.M., Zavadskas E.K. 2006. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control Cybern.* 35(2):445–69.
- Bureika G.; Steišūnas S. 2012. Prekinių šilumvežių magistralei „Rail Baltica“ parinkimo algoritmas. *Sci. - Futur. Lith.* 4(4): 386–390
- Carswell W., Arwade S.R., DeGroot D.J., Myers A.T. 2016. Natural frequency degradation and permanent accumulated rotation for offshore wind turbine monopiles in clay. *Renew. Energy*. 97:319–30
- Chakraborty S., Bhattacharyya O., Zavadskas E.K., Antucheviciene J. 2015. Application of WASPAS method as an optimization tool in non-traditional machining processes. *Inf. Technol. Control*. 44(1):77–88
- Chandrasekaran S., Jain A.K. 2001. Dynamic behaviour of square and triangular offshore tension leg platforms under regular wave loads. *Ocean Eng.* 29(3):279–313
- Chen S.J., Hwang C.L. 1992. Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. Volume 375. 289–486
- Clark Ii W.W., Cooke G. 2015. Chapter 6 - Renewable Technologies. *The Green Industrial Revolution*, p. 123–48
- Colmenar-Santos A., Perera-Perez J., Borge-Diez D., Depalacio-Rodríguez C. 2016. Offshore wind energy: A review of the current status, challenges and future development in Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 64, Pages 1–18
- Damgaard M., Bayat M., Andersen L. V., Ibsen L.B. 2014. Assessment of the dynamic behaviour of saturated soil subjected to cyclic loading from offshore monopile wind turbine foundations. *Comput. Geotech.* 61:116–26
- Depina I., Hue Le T.M., Eiksund G., Benz T. 2015. Behavior of cyclically loaded monopile foundations for offshore wind turbines in heterogeneous sands. *Comput. Geotech.* 65:266–77
- Dierschke V., Furness R.W., Garthe S. 2016. Seabirds and offshore wind farms in European waters: Avoidance and attraction. *Biological Conservation*. Volume 202, Pages 59–68
- Dinica V. 2006. Support systems for the diffusion of renewable energy technologies - An investor perspective. *Energy Policy*. 34(4):461–80
- Dominković D.F., Bačeković I., Čosić B., Krajačić G., Pukšec T., et al. 2016. Zero carbon energy system of South East Europe in 2050. *Applied Energy*. Volume 184, Pages 1517–1528
- England M.H., McGregor S., Spence P., Meehl G., Timmermann A., et al. 2014. Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus. *Nat. Clim. Chang.* 4(3):222–27
- Esteban M.D., Couñago B., López-Gutiérrez J.S., Negro V., Vellisco F. 2015. Gravity based support

- structures for offshore wind turbine generators: Review of the installation process. *Ocean Engineering*. Volume 110, Part A, Pages 281–291
- Esteban M.D., Diez J.J., López J.S., Negro V. 2011. Why offshore wind energy? *Renewable Energy*. Volume 36, Issue 2, Pages 444–450
- EWEA, 2012 Green Growth - The impact of wind energy on jobs and the economy. ISBN 978-2-930670-00-3. [žiūrėta 2015m. gruodžio 10d.]. Prieiga per internetą: <[https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Green\\_Growth.pdf](https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Green_Growth.pdf)>
- Fais B., Sabio N., Strachan N. 2016. The critical role of the industrial sector in reaching long-term emission reduction, energy efficiency and renewable targets. *Appl. Energy*. 162:699–712
- Fouladgar M.M., Yazdani-Chamzini A., Lashgari A., Zavadskas E.K., Turskis Z. 2012. Maintenance strategy selection using AHP and COPRAS under fuzzy environment [Priežiūros strategijos parinkimas taikant AHP ir COPRAS metodus neapibrėžtose situacijose]. *Int. J. Strateg. Prop. Manag.* 16:85–104
- Garcia G. G. 2012. Design and Calculus of the Foundation Structure of an Offshore Monopile Wind Turbine. 101
- Gavin and Doherty Geo-Solutions. 2012. Foundation Risk & Geotechnical Uncertainty Mapping for future Offshore Wind Farm Developments “ D3 : Final Report ”p. 99
- González J.S., Lacal-Aránzategui R. 2016. A review of regulatory framework for wind energy in European Union countries: Current state and expected developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 56, Pages 588–602
- Green R., Vasilakos N. 2011. The economics of offshore wind. *Energy Policy*. 39(2):496–502
- Gueydon S. 2016. Aerodynamic Damping of a HAWT on a Semisubmersible. *EERA Deep*. 94:367–78
- Hammar L., Andersson S., Rosenberg R. 2010. Adapting offshore wind power foundations to local environment Adapting offshore wind power foundations to local environment.
- He R., Wang L. 2016. Elastic rocking vibration of an offshore Gravity Base Foundation. *Appl. Ocean Res.* 55:48–58
- Higgins P., Foley A. 2014. The evolution of offshore wind power in the united kingdom. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 37:599–612
- Horgan C. 2013. Using energy payback time to optimise onshore and offshore wind turbine foundations. *Renew. Energy*. 53:287–98
- Houlsby G.T., Ibsen L.B., Byrne B.W. 2005. Suction caissons for wind turbines. *Front. Offshore Geotech. ISFOG 2005 - Gourvenec Cassidy*. 75–94
- Hwang, C.L., Yoon K. 1981. Multiple attribute decision making – methods and applications. *A State of the Art Survey*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, psl. 250.
- Igliński B., Iglińska A., Koziński G., Skrzatek M. 2016. Wind energy in Poland–History, current state,

- surveys, Renewable Energy Sources Act, SWOT analysis. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 64:19–33
- Jamalkia A., Etefagh M.M., Mojtahedi A. 2016. Damage detection of TLP and Spar floating wind turbine using dynamic response of the structure. *Ocean Eng.* 125:191–202
- Jose N.M., Mathai A. 2016. A Study on Lateral Deformation of Monopile of Offshore Wind Turbine due to Environmental Loads. *Procedia Technol.* 24:287–94
- Jung S., Kim S.R., Patil A., Hung L.C. 2015. Effect of monopile foundation modeling on the structural response of a 5-MW offshore wind turbine tower. *Ocean Eng.* 109:479–88
- Kaiser M.J., Snyder B.F. 2012. Offshore Wind Energy Cost Modeling - Installation and Decommissioning. *Offshore Wind Energy Cost Model.*
- Kaldellis J.K., Apostolou D., Kapsali M., Kondili E. 2016. Environmental and social footprint of offshore wind energy. Comparison with onshore counterpart. *Renew. Energy.* 92:543–56
- Kallehave D., Byrne B.W., LeBlanc Thilsted C., Mikkelsen K.K. 2015. Optimization of monopiles for offshore wind turbines. *Philos. Trans. A. Math. Phys. Eng. Sci.* 373(February 2015):1–15
- Katinas V., Tumosa A. 1995. Vėjo energijos panaudojimo galimybės Lietuvoje. Vilnius, psl. 6-22.
- Kytra S. 2006. Atsinaujinantys energijos šaltiniai. Kaunas: Technologija, psl.112-122.
- Knopf B., Nahmacher P., Schmid E. 2015. The European renewable energy target for 2030 - An impact assessment of the electricity sector. *Energy Policy.* 85:50–60
- Koh J.H., Ng E.Y.K. 2016. Downwind offshore wind turbines: Opportunities, trends and technical challenges. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 54:797–808
- Kurian V.J., Narayanan S.P., Ganapathy C. 2010. Towers for offshore wind turbines. *AIP Conf. Proc.* 1225:475–87
- Kurian V.J., Narayanan S.P., Ganapathy C. 2009. Towers for Offshore Wind Turbines. 10th Asian Int. Conf. Fluid Mach. 475–87
- Leble V., Barakos G. 2016. Demonstration of a coupled floating offshore wind turbine analysis with high-fidelity methods. *J. Fluids Struct.* 62:272–93
- Lee K., Aihara A., Puntsagdash G., Kawaguchi T., Sakamoto H., Okuma M. 2017. Feasibility study on a strain based deflection monitoring system for wind turbine blades. *Mech. Syst. Signal Process.* 82:117–29
- Lee Y.S., González J.A., Lee J.H., Kim Y. Il, Park K.C., Han S. 2016. Structural topology optimization of the transition piece for an offshore wind turbine with jacket foundation. *Renew. Energy.* 85:1214–25
- Lian J., Yu T., Zhang J. 2016. Wave force on composite bucket foundation of an offshore wind turbine. *J. Hydrodyn. Ser. B.* 28(1):33–42
- Liu Y., Li S., Yi Q., Chen D. 2016. Developments in semi-submersible floating foundations supporting wind turbines: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 60:433–

- Liu Y., Xiao Q., InceCcik A., Wan D. 2016. Investigation of the effects of platform motion on the aerodynamics of a floating offshore wind turbine. *J. Hydrodyn. Ser. B.* 28(1):95–101
- Lombardi D., Bhattacharya S., Muir Wood D. 2013. Dynamic soil–structure interaction of monopile supported wind turbines in cohesive soil. *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 49:165–80
- Lopez-Pavon C., Souto-Iglesias A. 2015. Hydrodynamic coefficients and pressure loads on heave plates for semi-submersible floating offshore wind turbines: A comparative analysis using large scale models. *Renew. Energy.* 81:864–81
- MacCrimmon K.R. 1968. Decision making among multiple–attribute alternatives: A Survey and Consolidated Approach. RM-4823-ARPA:72
- Madariaga A., De Alegría I.M., Martín J.L., Eguía P., Ceballos S. 2012. Current facts about offshore wind farms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 16: 3105–3116
- Malhotra S. 2010. Design and Construction Considerations for Offshore Wind Turbine Foundations in North America. *GeoFlorida, 2010.* 199:1533–42
- Mann J., Teilmann J. 2013. Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 15: 2423–2430
- Moonen P., Defraeye T., Dorer V., Blocken B., Carmeliet J. 2012. Urban Physics: Effect of the micro-climate on comfort, health and energy demand. *Frontiers of Architectural Research.* 1:197–228
- Muliawan M.J., Karimirad M., Gao Z., Moan T. 2013. Extreme responses of a combined spar-type floating wind turbine and floating wave energy converter (STC) system with survival modes. *Ocean Eng.* 65:71–82
- Nehrenheim E. 2013. Introduction to Renewable Energy
- N.G.I. 2013. Offshore Wind Turbine Foundations. *NGI Strateg. Res. Proj. SP2 2011-2013.* (855):10
- haPérez-Collazo C., Greaves D., Iglesias G. 2015. A review of combined wave and offshore wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 42:141–153
- Perveen R., Kishor N., Mohanty S.R. 2014. Off-shore wind farm development: Present status and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 29:780–792
- Podvezko V., Podvieszko A. 2014. Kriterijų reikšmingumo nustatymo metodai. 111–16
- Podvezko V., Podvieszko A. 2013. Naujos absoliutaus daugiakriterio vertinimo galimybės. *LMD darbai.* 54(B):54–59
- Project U., Frederiksen H., Home E., Supervising D. 2009. Offshore foundations for windfarms. 1–37
- Ramanathan R. 2001. A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment. *J. Environ. Manage.* 63(1):27–35
- Randolph M. 2005. The challenges of offshore geotechnical engineering. *Gr. Eng.* 38(9):32–33
- Rojas-Sola J.I., Bouza - Rodríguez J.B., Menéndez-Díaz A. 2016. Technical and functional analysis of

- Spanish windmills: 3D modeling, computational-fluid-dynamics simulation and finite-element analysis. *Energy Convers. Manag.* 123:130–39
- Ruddy J., Meere R., O'Donnell T. 2016. Low Frequency AC transmission for offshore wind power: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 56:75–86
- Saaty T.L. 1980. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocatio. p. 287
- Saaty T.L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J. Math. Psychol.* 15(3):234–81
- Gadakh V.S. 2011. Application of MOORA method for parametric optimization of milling process. *Int. J. Appl. Eng. Res.* 1(4):743–58
- Sergejeva J. 2011. Hierarchiškai struktūrizuotų procesų kompleksinis vertinimas. 1–7
- Shephard D.G. 1995. Historical Development of the Windmill
- Si Y., Karimi H.R., Gao H. 2014. Modelling and optimization of a passive structural control design for a spar-type floating wind turbine. *Eng. Struct.* 69:168–82
- Simanavičienė R. 2016. TOPSIS metodo jautrumas normalizavimo taisyklių atžvilgiu. 71–76
- Simanavičienė R. 2016. *Offshore Wind Farms: Technologies, Design and Operation.* Elsevier Science
- Singh B., Mistri B., Patel R. 2010. Comparison of Foundation Systems for Offshore Wind Turbine Installation. *ICCT Civ. Eng.* 2010, p. 1–6
- Stuyts B., Cathie D. 2013. Cyclic loading of caisson supported offshore wind structures in sand. *Int. Conf. Soil Mech. Geotech. Eng.* 2411–14
- Tabassum A., Premalatha M., Abbasi T., Abbasi S.A. 2014. Wind energy: Increasing deployment, rising environmental concerns. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 31:270–88
- Tabeshpour M.R., Golafshani A.A., Seif M.S. 2006. Second-order perturbation added mass fluctuation on vertical vibration of tension leg platforms. *Mar. Struct.* 19(4):271–83
- Triantaphyllou E. 2000. Multi-criteria decision making methods: a comparative study. *Interfaces (Providence).* 44:81–84
- Triantaphyllou E., Sslnchez A. 1997. A Sensitivity Analysis Approach for Some Deterministic Multi-Criteria Decision-Making Methods. *Decis. Sci.* 28:151–94
- Ustinovichius L. 2007. Methods of determining objective, subjective and integrated weights of attributes. *Int. J. Manag. Decis. Mak.* 8(5/6):540–54
- Ustinovichius L, Zavadskas E.K., Podvezko V. 2007. Application of a quantitative multiple criteria decision making (MCDM-1) approach to the analysis of investments in construction. *Control Cybern.* 36(1):251–68
- Ustinovičius L., Zavadskas, E. K. 2004. *Statybos investicijų efektyvumo sistemotechninis įvertinimas.* Vilnius: Technika. 220 p. ISBN 9986-05-806-6.
- Van Solingen E., Beerens J., Mulders S.P., De Breuker R., Van Wingerden J.W. 2016. Control design

- for a two-bladed downwind teeterless damped free-yaw wind turbine. *Mechatronics*. 36:77–96
- Vølund P. 2005. Concrete is the Future for Offshore Foundations. *Wind Eng.* 29(6):531–39
- Zanforlin S., Nishino T. 2016. Fluid dynamic mechanisms of enhanced power generation by closely spaced vertical axis wind turbines. *Renew. Energy*. 99:1213–26
- Zavadskas E.K., Turskis Z., Antucheviciene J., Zakarevicius A. 2012. Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektron. ir Elektrotechnika*. 122(6):3–6
- Zavadskas E. 2004. Multicriteria valuation of commercial construction projects for investment purposes. *J. Civ. Eng. Manag.* 3730(2):151–66
- Zavadskas E.K., Ustinovichius L., Stasiulionis A. 2004. Multicriteria valuation of commercial construction projects for investment purposes. *J. Civ. Eng. Manag.* 10(2):151–66
- Zavadskas E.K., Kaklauskas A. 1996. Pastatų sistemotechninis įvertinimas. Vilnius: Technika, p. 280
- Zhang R., Tang Y., Hu J., Ruan S., Chen C. 2013. Dynamic response in frequency and time domains of a floating foundation for offshore wind turbines. *Ocean Eng.* 60:115–23
- Zhao P., Dai Y., Wang J. 2014. Design and thermodynamic analysis of a hybrid energy storage system based on A-CAES (adiabatic compressed air energy storage) and FESS (flywheel energy storage system) for wind power application. *Energy*. 70:674–84
- Zimmermann H.J. 2001. Fuzzy Set Theory and Its Applications. 3:442
- Zountouridou E.I., Kiokes G.C., Chakalis S., Georgilakis P.S., Hatziargyriou N.D. 2015. Offshore floating wind parks in the deep waters of Mediterranean Sea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 51:433–448

## **PRIEDAI**

Priedas Nr. 1. Tiriamojo darbo apklausos anketa

Priedas Nr. 2. Rodiklių reikšmingumo ir suderinamumo skaičiavimas

Priedas Nr. 3. Vertinimo modelis (pateiktas pridėtoje kompaktinėje plokštelėje)

## JŪRINIŲ VĖJO JĖGAINIŲ PAMATŲ TIPŲ VERTINIMAS ANKETA

Surinkti duomenys bus panaudoti rengiant mokslinį darbą, kuriuo siekiama įvertinti jūrinių vėjo jėgainių pamatų tipus, visi rezultatai bus pateikiami tik apibendrinti, nebus nagrinėjami atskiri atvejai. Tam, kad būtų galima įvertinti rodiklių reikšmingumą, reikia Jūsų pagalbos pildant pateiktą apklausą. Susumuoti atsakymai bus skaičiuojami ir pateikiami magistro baigiamajame darbe.

### 1 . RODIKLIŲ REIKŠMINGUMO NUSTATYMAS

Rodiklių reikšmingumui nustatyti naudosime porinį palyginimą. Duomenys gaunami naudojant Satty porinio lyginimo skalę:

- 1 – abu rodikliai lygūs;
- 3 – vieno kriterijaus svarbumas mažai skiriasi už kitą;
- 5 – vienas kriterijus vidutiniškai yra svarbesnis už kitą;
- 7 – vienas kriterijus yra daug svarbesnis už kitą;
- 9 – vienas kriterijus labai daug svarbesnis už kitą.

Skaičiai 2, 4, 6, ir 8 simbolizuoja tarpinius įvertinimus, kai reikalingas kompromisas. 1 lentelėje yra pateikiami lyginami rodikliai. Juos reikia įvertinti naudojant aukščiau pateiktą skalę.

	1.Investicijos	2.Statybos trukmė	3.Užimamos teritorijos plotas	4.Tarnavimo laikas	5.Estetinis įvertinimas	6.Vandens gylis
1.Investicijos	1					
2.Statybos trukmė		1	7			
3.Užimamos teritorijos plotas		$\frac{1}{7}$	1			

1 pav. Lentelės pildymo pavyzdys

**Pastaba:** rodiklių skalės balai yra rašomi „eilučių kryptimi“, o priešingas langelis - užpildomas atvirkštiniu skaičiumi. Pvz.: lyginame statybos trukmę ir užimamą plotą ir manome, kad statybos trukmė yra svarbesnis rodiklis už užimamą plotą, tada įrašome rodiklius, kaip pateikta 1 pav.

Rodiklių apibūdinimai:

1. Investicijos – mažiausia ir didžiausia projekto įgyvendinimo suma.
2. Statybos trukmė – trumpiausias ir ilgiausias projekto įgyvendinimo laikas.
3. Užimamos teritorijos plotas – vėjo jėgainės pamatų užimamas teritorijos plotas.
4. Tarnavimo laikas – konstrukcijos atsparumas, priklausantis nuo aplinkos veiksnių.
5. Estetinis įvertinimas – vėjo jėgainės estetiškas priimtumas.
6. Vandens gylis (metrais) – pamatų tipo galimas naudojimas priklausomai nuo vandens gylio.
7. Atstumas nuo kranto – pamatų tipo galimas naudojimas priklausomai nuo atstumo nuo kranto.
8. Jūros dugno tipas – konstrukcijos pritaikomumas prie esamo grunto montavimo vietoje.
9. Montavimo sudėtingumas – dėl skirtingų konstrukcijų, gabaritų bei skirtingo montavimo pobūdžio skiriasi montavimo sudėtingumas (pagrindiniai veiksniai – laikas ir kaina).
10. Demontavimas – konstrukcijos demontavimas, kai pamato konstrukcija tampa nebereikalinga arba kai reikia keisti vėjo jėgainių dislokavimo vietą.
11. Stabilumas – konstrukcijos atsparumas veikiančioms jėgoms, sukeliančioms įlinkį ar poslinkį.
12. Novatoriškumas – pamatų tipo naujumas ir išskirtinumas.
13. Gamyba – gamybos sudėtingumas, priklausomai nuo pamatų konstrukcijos ir jo dydžio.
14. Transportavimas – pamatų gabenimas iš gamybos vietos į montavimo vietą.
15. Savasis svoris – pamato konstrukcijos svoris, tiesiogiai susijęs su jo montavimu ir gamyba.
16. Pamatų paplovimas – galimas grunto išplovimas po pamatais.
17. Patvarumas – atsparumas nusidėvėjimui ar rūdijimui dėl aplinkos veiksnių ar krovos darbų.
18. Ekologiškumas ir įtaka florai/faunai – svarbu atsižvelgti į jūros dugno ekosistemos drumstimą sukeliančius veiksniai ir šėšėlį, kurį gali užtraukti pastatyta konstrukcija, bei poveikį jūros florai ir faunai.
19. Išlaikymas/priežiūra – kaštai remonto darbams ir pan.



Priedas Nr. 2. Rodiklių reikšmingumo ir suderinamumo skaičiavimas

Ekspertas 1																				Reikšmingumas	q'	(q'/q)^1/19			
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19							
X1	1	9	7	1/5	9	8	6	6	9	1	9	8	9	9	9	9	1/9	1/9	3,365	0,1091	3,741	1,804			
X2	1/9	1	1/7	1/9	9	1	1	1	1	9	1/9	1	1/9	1	1	1/7	1/9	1/9	0,457	0,0148	0,362	1,286			
X3	1/7	7	1	8	2	1	1	1	1/5	8	1/9	5	1/7	1	1	1/6	1/9	1/9	0,668	0,0217	1,116	2,713			
X4	5	9	1/8	1	1	1	1	9	1	9	1	9	7	9	9	5	1	2	2,587	0,0839	2,914	1,828			
X5	1/9	1/9	1/2	1	1	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	0,152	0,0049	0,198	2,125			
X6	1/8	1	1	1	9	1	1	1	2	1/8	1	1/7	1	1	1	1/9	1/8	1/7	0,609	0,0197	0,441	1,176			
X7	1/6	1	1	1	9	1	1	7	1/6	6	1/8	5	1/9	1	1	1	1/8	1/9	0,704	0,0228	0,606	1,398			
X8	1/6	1	1	1/9	9	1	1/7	1	7	8	1/9	1	1/8	1	1	1	1/9	1/9	0,577	0,0187	0,543	1,529			
X9	1/6	1	5	1	9	1	6	1/7	1	1	1/9	5	1	1	1	1	1/7	1/8	0,781	0,0253	0,703	1,460			
X10	1/9	1/9	1/8	1/9	9	1/2	1/6	1/8	1	1	4	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	0,239	0,0077	0,714	4,860			
X11	1	9	9	1	9	8	8	1/9	9	1/4	1	9	9	9	9	9	9	9	4,129	0,1339	6,108	2,401			
X12	1/9	1	1/5	1/9	9	1	1/5	1	1/5	9	1/9	1	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	0,321	0,0104	0,294	1,484			
X13	1/8	9	7	1/7	9	7	9	8	1	9	1/9	8	1	5	1	1/4	1/7	1/9	1,267	0,0411	1,267	1,623			
X14	1/9	1	1	1/9	9	1	1	1	1	9	1/9	8	1/5	1	1	1	1/9	1/8	0,649	0,0211	0,489	1,223			
X15	1/9	1	1	1/9	9	1	1	1	1	9	1/9	8	1	1	1	1/9	1/8	1/6	0,643	0,0209	0,497	1,254			
X16	1/9	7	6	1/5	9	1	1	1	1	9	1/9	8	4	1	9	1	1/7	1/9	1,079	0,0350	1,020	1,533			
X17	9	9	9	1	9	9	8	9	7	9	1/9	8	7	9	9	7	1	1	7	4,729	0,1534	4,266	1,464		
X18	9	9	9	1/2	9	8	9	9	8	9	1/9	8	9	8	9	1	1	6	4,619	0,1498	4,257	1,496			
X19	9	9	9	1/3	9	7	8	8	7	9	1/9	8	9	9	6	9	1/7	1/6	3,262	0,1058	3,350	1,667			
Suma																			30,836	1,0000	Amax=	4,860			
																						R.I.=	1,590		
																							C.I.=	-0,786	
																								C.R.=	-0,944

Ekspertas 2																				Reikšmingumas	q'	(q'/q)^1/19				
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19								
X1	1	1/5	7	1/7	9	3	3	3	5	1/5	1/7	1/5	7	7	5	1/5	1/7	1/7	1	1,017	0,0327	0,930	1,496			
X2	5	1	1/3	1/9	7	1/5	1/5	1/3	5	1/5	1/9	1/7	5	5	1/7	1/9	1/9	1/5	0,551	0,0177	0,674	2,003				
X3	1/7	3	1	1	5	1	1	1	3	1/7	1/3	1/3	5	3	1/5	1/3	1/3	1/5	0,726	0,0233	0,599	1,351				
X4	7	9	1	1	7	7	7	7	3	1	1/7	3	7	9	7	1/3	1/7	1	7	2,468	0,0793	2,038	1,352			
X5	1/9	1/7	1/5	1/7	1	1/3	1/3	1	1/9	1/9	1/7	1/7	3	1/3	1/9	1/9	1/9	1/7	0,221	0,0071	0,179	1,325				
X6	1/3	5	1	1/7	3	1	1	1	1/5	1/9	1/9	1/7	1/5	3	1/5	1/7	1/7	1/9	0,379	0,0122	0,326	1,407				
X7	1/3	5	1	1/7	3	1	1	1/3	1/5	1/9	1/9	1/7	1/5	1/5	1/7	1/7	1/9	1/9	0,301	0,0097	0,284	1,550				
X8	1/3	3	1	1/7	1	3	1	1/5	1/9	1/7	1/9	1/5	3	3	1/7	1/7	1/9	1/7	0,425	0,0137	0,349	1,343				
X9	1/5	1/5	1/3	1/3	9	5	5	5	1	1/5	1/7	1/5	1/3	3	1/3	1/7	1/9	1/7	0,522	0,0168	0,453	1,421				
X10	5	5	7	1	9	9	9	9	5	1	1/7	1/3	1/3	7	1/3	1/7	1/7	1/3	1,384	0,0445	1,231	1,456				
X11	7	9	3	7	7	9	9	7	7	1	7	7	9	7	1/9	1	1	7	4,174	0,1341	3,365	1,320				
X12	5	7	3	1/3	7	7	7	7	5	3	1/7	1	7	5	5	1/7	1/7	1/7	1,669	0,0536	1,347	1,321				
X13	1/7	1/5	3	1/7	7	5	5	5	3	3	1/7	1/7	1	1/3	1/3	1/7	1/9	1/9	0,607	0,0195	0,623	1,679				
X14	1/7	1/5	1/5	1/9	1/3	1/3	5	1/3	1/3	1/7	1/9	1/5	3	1	1	1/9	1/9	1/9	0,289	0,0093	0,261	1,480				
X15	1/5	1/5	1/3	1/7	3	5	7	1/3	3	3	1/7	1/5	3	1	1	1/7	1/7	1/7	0,568	0,0182	0,556	1,603				
X16	5	7	5	3	9	7	7	7	7	9	7	7	9	7	1	1	1	7	4,945	0,1589	4,179	1,384				
X17	7	9	3	7	9	7	9	7	9	7	1	7	9	9	7	1	1	1	7	4,812	0,1546	3,569	1,215			
X18	7	9	3	1	9	9	9	9	7	3	1	7	9	9	7	1	1	7	4,209	0,1353	2,933	1,141				
X19	1	5	5	1/7	7	7	7	7	5	3	1/7	7	5	9	7	1/7	1/7	1	1,849	0,0594	1,592	1,410				
Suma																			31,117	1,0000	Amax=	2,003				
																							R.I.=	1,590		
																								C.I.=	-0,944	
																									C.R.=	-0,594

Ekspertas 3																				Reikšmingumas	q'	(q'/q)^1/19					
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19									
X1	1	1/7	1	1/9	1/9	1	1/3	1/7	7	1/9	1/9	1/3	1	1/5	1/7	1/9	1	1/5	0,285	0,0106	0,424	2,111					
X2	7	1	9	1/3	5	1/7	1	7	7	5	1/7	1	1/3	1/5	9	1/9	1/9	1/3	0,957	0,0355	1,269	1,881					
X3	1	1/9	1	1/3	7	1/5	1	1/5	1/3	1/7	1/3	1/3	1/3	3	1/7	1/9	1/5	1/5	0,382	0,0142	0,355	1,316					
X4	9	3	3	1	9	7	7	1	1	1	1/7	1	1/7	1	7	1/5	1/9	1	1,283	0,0476	1,339	1,480					
X5	9	1/5	1/7	1/9	1	1/3	1/5	1/7	1/7	1/5	1/9	1	1/9	1/3	1/7	1/9	1/5	1/3	0,250	0,0093	0,284	1,609					
X6	1	7	5	1/7	3	1	5	5	7	7	1/5	1/3	1/7	1/3	5	1/5	1/7	5	3	1,289	0,0478	1,681	1,849				
X7	3	1	1	1/7	5	1/5	1	7	1/3	1/3	3	3	1/5	1/5	3	1/7	1/9	1/3	0,649	0,0241	0,903	1,973					
X8	7	1/7	5	1	7	1/5	1/7	1	1/3	1/3	1/5	1/7	1/7	1/5	1	1/3	1/7	1	1/3	0,493	0,0183	0,509	1,466				
X9	9	1/7	3	1	7	1/7	3	3	1	5	1/5	7	1	1	7	1/3	1/7	1	1/3	1,189	0,0441	1,219	1,453				
X10	9	1/5	3	1	5	1/7	3	3	1/5	1	1/5	1/3	1	1	5	1/5	1/7	5	5	1,027	0,0381	1,079	1,491				
X11	3	7	7	7	9	5	1/3	5	5	5	1	7	1	5	1	1	1	7	7	3,170	0,1176	3,046	1,363				
X12	1	1	3	1	1	3	1/3	7	1/7	3	1/7	1	1	1	1	1/7	1/7	1	1/3	0,779	0,0289	0,818	1,489				
X13	5	3	3	7	9	7	5	7	1	1	1	1	1	1	5	1/5	1/7	1	1	1,832	0,0680	1,771	1,371				
X14	7	5	3	1	3	3	5	5	1	1	1/5	1	1	1	7	1/9	1/9	1	1/5	1,261	0,0468	1,182	1,330				
X15	9	1/9	1/3	1/7	7	1/5	1/3	1	1/7	1/5	1	1	1/5	1/7	1	1/7	1/9	3	3	0,508	0,0189	0,670	1,871				
X16	1	9	7	3	9	5	7	3	3	5	1	7	5	9	7	1	1	9	9	4,118	0,1528	3,657	1,259				
X17	5	9	9	9	9	7	9	7	7	7	1	7	9	9	1	1	7	7	5,549	0,2059	4,513	1,154					
X18	1	3	5	1	5	1/5	3	1	1	1/5	1/7	1	1	1	1/3	1/9	1/7	1	1/3	0,726	0,0269	0,689	1,346				
X19	5	3	5	1	3	1/3	7	3	3	1/5	1/7	3	1	5	1/3	1/9	1/7	3	1	1,200	0,0445	1,269	1,499				
Suma																			26,948	1,0000	Amax=	2,111					
																								R.I.=	1,590		
																									C.I.=	-0,938	
																										C.R.=	-0,590

Eksperitas 4																			Reikšmingumas	q'	(q'/q)^1/19				
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19						
X1	1	1/7	1	1/9	1/9	1	1/3	1/3	1/9	1/9	1	1/9	1/5	1/9	1	1/3	1	1/7	0,280	0,0103	0,528	2,712			
X2	7	1	9	5	9	1/5	1	3	3	9	1/5	1	1/3	1/5	9	1/9	1/9	1/5	1/3	1,083	0,0396	1,463	1,943		
X3	1	1/9	1	1/3	1	1/5	1	1/3	1/3	1	1/7	1	1	1	5	1/7	1/9	1	1/3	0,513	0,0188	0,458	1,283		
X4	9	1/5	3	1	3	1/7	7	1	1	1	1/3	1	1/5	1/3	7	1/5	1/9	1	1	0,859	0,0314	0,775	1,297		
X5	9	1/9	1	1/3	1	1/3	1	1/5	1/7	1/5	1/9	1	1/7	1/7	1	1/9	1/9	1/3	1/3	0,348	0,0127	0,318	1,314		
X6	1	5	5	7	3	1	5	3	3	3	1/5	3	1/7	1/3	3	1/5	1/7	5	3	1,513	0,0554	1,509	1,435		
X7	3	1	1	1/7	1	1/5	1	1	1/3	1/3	1/7	1	1/5	1/5	1/3	1/7	1/9	1	1/3	0,427	0,0156	0,341	1,149		
X8	3	1/3	3	1	5	1/3	1	1	1/3	1/3	1/5	3	1/7	1/3	1	1/3	1/7	5	3	0,790	0,0289	0,722	1,314		
X9	9	1/3	3	1	7	1/3	3	3	1	3	1/5	3	1	1	5	1/3	1/7	5	5	1,493	0,0546	1,253	1,207		
X10	9	1/9	1	1	5	1/3	3	3	1/3	1	1/5	5	1	1	3	1/5	1/9	5	5	1,118	0,0409	1,047	1,347		
X11	1	5	7	3	9	5	7	5	5	5	1	7	3	5	9	1	1	9	7	3,977	0,1455	3,199	1,157		
X12	9	1	1	1	1	1/3	1	1/3	1/3	1/5	1/7	1	1/3	1/3	1	1/7	1/9	1	1/3	0,529	0,0194	0,437	1,188		
X13	5	3	1	5	7	7	5	7	1	1	1/3	3	1	3	7	1/3	1/5	1	1	1,891	0,0692	1,753	1,333		
X14	9	5	1	3	7	3	5	3	1	1	1/5	3	1/3	1	1	1/5	1/7	1/3	1/3	1,189	0,0435	1,164	1,407		
X15	9	1/9	1/5	1/7	1	1/3	3	1	1/5	1/3	1/9	1	1/7	1	1	1/9	1/9	1/3	1/5	0,398	0,0146	0,393	1,421		
X16	1	9	7	5	9	5	7	3	3	5	1	7	3	5	9	1	1	5	7	3,871	0,1417	3,145	1,168		
X17	3	9	9	9	9	7	9	7	7	9	1	9	5	7	9	1	1	7	9	5,449	0,1994	4,350	1,148	RI=	1,590
X18	1	5	1	1	3	1/5	1	1/5	1/5	1/5	1/9	1	1	3	3	1/5	1/7	1	5	0,742	0,0271	0,868	1,683	CI=	-0,905
X19	7	3	3	1	3	1/3	3	1/3	1/5	1/5	1/7	3	1	3	5	1/7	1/9	1/5	1	0,855	0,0313	0,841	1,415	CR=	-0,569
Suma																				27,326	1,0000	Amax=	2,712		

Eksperitas 5																			Reikšmingumas	q'	(q'/q)^1/19				
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19						
X1	1	7	7	3	9	9	5	7	5	9	1	9	5	7	1	1/9	1/5	9	3	3,181	0,0980	2,237	1,201		
X2	1/7	1	5	1/3	9	5	3	1/7	1	7	1/9	9	1/3	1	1/3	1/7	1/5	9	1/5	0,915	0,0282	0,759	1,418		
X3	1/7	1/5	1	1/7	9	1/5	1/5	1/7	1/7	7	1/9	7	1	5	1/5	1/9	1/7	7	1/5	0,517	0,0159	0,512	1,690		
X4	1/3	3	7	1	7	5	5	1	5	7	1/9	9	5	5	1	1/9	1/5	9	5	2,077	0,0640	1,512	1,243		
X5	1/9	1/9	1/9	1/7	1	1/7	1/7	1/7	1/7	1/5	1/9	1	1/5	1/7	1/9	1/9	1/9	1/3	1/9	0,169	0,0052	0,132	1,333		
X6	1/9	1/5	5	1/5	7	1	1	1/5	1	7	1/9	7	1	1	1/5	1/7	1/7	1	1/5	0,626	0,0193	0,464	1,265		
X7	1/5	1/3	5	1/5	7	1	1	1	1	7	1/9	7	1	1	1/5	1/9	1/7	1/3	1	0,732	0,0226	0,531	1,239		
X8	1/7	7	7	1	9	5	1	1	7	7	1/7	7	1	7	1	1/7	1/7	1/3	1/7	1,278	0,0394	1,123	1,501		
X9	1/5	1	7	1/5	7	1	1	1/7	1	1	1/7	7	1	1	1/7	1/9	1/7	1/3	1/7	0,578	0,0178	0,453	1,338		
X10	1/9	1/7	1/7	1/7	5	1/7	7	1/7	1	1	1/9	3	1/5	1/5	1/9	1/9	1/9	1/7	1/7	0,295	0,0091	0,343	1,986		
X11	1	9	9	9	9	9	9	7	7	7	9	1	9	7	7	5	1	1	7	5,075	0,1564	3,625	1,220		
X12	1/9	1/9	1/7	1/9	1	1/7	1/7	1/7	1/7	1/3	1/9	1	1/5	1/5	1/7	1/9	1/9	1/3	1/7	0,183	0,0057	0,137	1,279		
X13	1/5	3	1	1/5	5	1	1	1	1	5	1/7	5	1	1	1/7	1/7	1/7	5	1	0,833	0,0257	0,578	1,185		
X14	1/7	1	1/5	1/5	7	1	1	1/7	1	1	1/7	5	1	1	1/7	1/9	1/9	3	1/5	0,568	0,0175	0,401	1,206		
X15	1	3	5	1	9	5	5	1	7	9	1/5	7	7	7	1	1/5	1/7	7	3	2,319	0,0715	1,579	1,163		
X16	9	7	9	9	9	7	9	7	9	9	1	9	7	9	5	1	1	9	9	5,850	0,1803	4,510	1,317		
X17	5	5	7	5	9	7	7	7	7	9	1	9	7	9	7	1	1	9	7	5,216	0,1607	3,740	1,225	RI=	1,590
X18	1/9	1/9	1/7	1/9	3	1	3	3	3	7	1/7	3	1/5	1/3	1/7	1/9	1/9	1	1/7	0,478	0,0147	0,481	1,721	CI=	-0,945
X19	1/3	5	5	1/5	9	5	1	7	7	7	1/7	7	1	5	1/3	1/9	1/7	7	1	1,562	0,0481	1,289	1,410	CR=	-0,594
Suma																				32,453	1,0000	Amax=	1,986		

Eksperitas 6																			Reikšmingumas	q'	(q'/q)^1/19				
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19						
X1	1	5	5	1	7	3	1	1	3	3	1	3	4	2	6	1	2	3	2	2,311	0,0901	2,088	1,219		
X2	1/5	1	6	2	7	5	5	2	3	3	1/4	6	3	3	1/4	1/5	1/6	3	2	1,567	0,0611	1,568	1,350		
X3	1/5	1/6	1	1/6	1/6	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/7	2	2	1/2	1/2	1/5	1/6	1/3	1/5	0,339	0,0132	0,307	1,223		
X4	1	1/2	6	1	9	2	1/4	1/2	3	4	1/3	3	2	3	6	1/2	1/7	2	1/3	1,296	0,0506	1,246	1,297		
X5	17	1/7	6	1/9	1	1/4	1/5	1/5	1/4	1/3	1/9	1/2	1/3	1/3	1/2	1/4	1/6	1/2	1/6	0,387	0,0151	1,817	6,341		
X6	1/3	1/5	3	1/2	4	1	1	1	1	1/2	1/6	3	1/2	1/2	2	1/7	1/5	1/2	1/4	0,635	0,0248	0,522	1,110		
X7	1	1/5	3	4	5	1	1	1/2	1/2	1/2	1/8	3	2	1	2	1/8	1/6	1/3	1/4	0,747	0,0291	0,773	1,397		
X8	1	1/2	3	2	5	1	2	1	1	1/2	1/6	5	1	2	2	1/7	1/6	1/3	1/4	0,885	0,0345	0,790	1,204		
X9	1/3	1/3	3	1/3	4	1	2	1	1	2	1/5	5	1	1/2	5	1	1/2	1/2	1/2	0,970	0,0378	0,852	1,185		
X10	1/3	1/3	3	1/4	3	2	2	2	1/2	1	1/5	4	1/2	1/2	3	1/2	6	1/2	1/4	0,924	0,0361	1,259	1,837		
X11	1	4	7	3	9	8	8	6	5	5	1	8	8	8	9	1	2	7	4	4,425	0,1726	3,582	1,092		
X12	1/3	1/6	1/2	1/3	2	1/3	1/3	1/5	1/5	1/4	1/8	1	1/3	1/2	1	1/6	1/6	1/3	1/6	0,329	0,0128	0,276	1,131		
X13	1/4	1/3	1/2	1/2	3	2	1/2	1	1	2	1/8	3	1	2	2	1/3	1/3	1/3	1/4	0,716	0,0279	0,615	1,159		
X14	1/2	1/3	2	1/3	3	2	1	1/2	2	2	1/8	2	1/2	1	2	1/5	1/6	1/3	1/3	0,703	0,0274	0,604	1,160		
X15	1/6	4	2	1/6	2	1/2	1/2	1/2	1/5	1/3	1/9	1	1/2	1/2	1	1/8	1/6	1/3	1/6	0,432	0,0169	0,526	1,643		
X16	1	5	5	2	4	7	6	7	1	2	1	6	3	5	8	1	1	3	3	2,934	0,1144	2,545	1,170		
X17	1/2	6	6	7	6	5	6	6	2	1/6	1/2	6	3	6	6	1	1	2	3	2,619	0,1022	2,606	1,343	RI=	1,590
X18	1/3	1/3	3	1/2	2	2	3	3	2	2	1/7	3	3	3	3	1/3	1/2	1	1/2	1,180	0,0460	0,992	1,135	CI=	-0,703
X19	1/2	1/2	5	3	6	4	4	4	2	4	4	6	4	3	6	1/3	1/3	2	1	2,238	0,0873	2,272	1,370	CR=	-0,442
Suma																				25,637	1,0000	Amax=	6,341		

Eksperitas 7																			Reikšmingumas	q'	(q'/q)^1/19				
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19							
X1	1	5	1	1	7	1/7	7	5	3	9	7	9	5	5	1	1/9	5	3	1	2,362	0,0881	3,088	1,845		
X2	1/5	1	1	1/5	7	1/7	3	1/9	1	9	5	7	1	1/7	1/7	1/7	1/7	1/5	1/7	0,594	0,0221	1,003	2,384		
X3	1	1	1	1/7	7	1/5	1/5	1/5	3	3	1/7	1/7	1/5	7	1/7	1/9	1/7	3	1/7	0,501	0,0187	0,733	2,063		
X4	1	5	7	1	9	7	7	7	9	3	7	1/3	5	5	1	1	5	1	3,269	0,1219	2,665	1,150			
X5	1/7	1/7	1/7	1/9	1	1/9	1/9	1/7	1/7	1/3	1/9	1/5	1/7	1/9	1/7	1/9	1/7	1/5	1/9	0,156	0,0058	0,135	1,217		
X6	7	7	5	1/7	9	1	1	5	5	1/7	7	1/5	1/5	1	1/7	1/7	1	1/7	0,996	0,0371	1,409	1,997			
X7	1/7	1/3	5	1/7	9	1	1	1/3	5	5	1/7	5	1/5	1/5	1/3	1/7	1/7	1/3	1/7	0,571	0,0213	0,575	1,421		
X8	1/5	9	5	1/7	7	1	3	1	1/5	5	1/7	7	5	1/5	1/3	1/9	1	1/7	0,804	0,0300	0,931	1,634			
X9	1/3	1	1/3	1/7	7	1/5	1/5	5	1	7	1/7	7	1	1	5	1/7	1/7	1/3	1/7	0,685	0,0256	0,812	1,672		
X10	1/9	1/9	1/3	1/9	3	1/5	1/5	1/5	1/7	1	1/9	7	1/7	1/7	1/7	1/9	1/9	1/5	1/7	0,236	0,0088	0,221	1,319		
X11	1/7	1/5	7	1/3	9	7	7	7	7	9	1	9	7	7	5	1	1/5	9	7	2,821	0,1052	2,926	1,464		
X12	1/9	1/7	7	1/7	5	1/7	1/5	1/7	1/7	1/7	1/9	1	7	1/7	1/7	1/9	1/9	1	1/7	0,250	0,0093	0,311	1,752		
X13	1/5	1	5	3	7	5	5	1/5	1	7	1/7	7	1	1	1	1/9	1/7	7	1/5	1,158	0,0432	1,330	1,620		
X14	1/5	7	1/7	1/5	9	5	5	5	1	7	1/7	7	1	1	1	1/7	1/9	7	1/7	1,088	0,0406	1,182	1,532		
X15	1	7	7	1/5	7	1	3	3	1/5	7	1/5	7	1	1	1	1/7	1/7	7	1/5	1,205	0,0449	1,112	1,302		
X16	1/9	7	9	1	9	7	1/7	9	7	9	1	9	9	7	7	1	1	9	9	3,384	0,1262	3,546	1,479		
X17	1/5	7	7	1	7	7	7	9	7	9	5	9	7	9	7	1	1	9	5	4,403	0,1642	3,803	1,219	R.I=	1,590
X18	1/3	5	1/3	1/5	5	1	3	1	3	5	1/9	1	7	1/7	1/7	1/9	1/9	1	1/7	0,556	0,0207	0,553	1,405	C.I=	-0,923
X19	1	1/7	7	1	1/9	7	7	7	7	7	1/7	7	5	7	5	1/9	1/5	7	1	1,769	0,0660	2,268	1,809	C.R=	-0,581
Suma																				26,810	1,0000	Amax=	2,384		

Eksperitas 8																			Reikšmingumas	q'	(q'/q)^1/19				
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19							
X1	1	5	7	1/5	9	1/5	1/7	1/7	5	3	1/9	3	1/7	5	5	1/9	1/9	1/7	1	0,776	0,0247	0,773	1,649		
X2	1/5	1	7	1/9	9	1/7	1/9	1/7	3	9	1/9	3	1/5	1/5	1/9	1/9	1/5	1/5	0,431	0,0137	0,411	1,581			
X3	1/7	1/7	1	1/9	9	1/9	1/9	1/9	1/7	1/3	1/9	5	1/7	1/7	1/7	1/9	1/9	1/9	1/5	0,227	0,0072	0,206	1,504		
X4	5	9	9	1	9	7	7	7	5	9	1/5	9	7	7	5	1	1	5	1	3,836	0,1219	3,242	1,400		
X5	1/9	1/9	1/9	1/9	1	1/9	1/9	1/9	1/7	1/9	1/7	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/5	1/9	1/9	0,132	0,0042	0,119	1,492		
X6	5	7	9	1/7	9	1	1/9	1/7	1/5	9	1/7	9	1	1	1	1/9	1/9	5	1	0,996	0,0316	0,938	1,561		
X7	7	9	9	1/7	9	9	1	9	7	9	1	9	9	7	7	1	1	3	7	4,025	0,1279	3,195	1,315		
X8	7	7	9	1/7	9	7	1/9	1	1/7	7	1/9	5	1/5	5	5	1	1	3	1/5	1,415	0,0450	1,396	1,633		
X9	1/5	1/3	7	1/5	9	5	1/7	7	1	1	1/9	7	9	1	1	1/7	1/7	3	1/5	0,948	0,0301	1,245	2,176		
X10	1/3	1/9	3	1/9	7	1/9	1/9	1/7	1	1	1/9	1/5	1/7	1/7	1/7	1/9	1/9	1/5	1/9	0,246	0,0078	0,208	1,402		
X11	9	9	9	5	9	7	1	9	9	9	1	9	7	9	1	1	1	9	1	4,246	0,1349	3,485	1,359		
X12	1/3	1/3	1/5	1/9	7	1/9	1/9	1/5	1/7	5	1/9	1	1/7	1/7	1/5	1/9	1/9	1/5	1/9	0,251	0,0080	0,207	1,368		
X13	7	5	7	1/7	9	1	1/9	5	1/9	7	1/7	7	1	7	1	1/7	1/7	1/5	1	1,074	0,0341	1,055	1,627		
X14	1/5	5	7	1/7	9	1	1/7	1/5	1	7	1/9	7	1/7	1	1	1/9	1/9	1/7	1/7	0,594	0,0189	0,485	1,354		
X15	1/5	5	7	1/5	9	1	1/7	1/5	1	7	1	5	1	1	1	1/9	1/9	1/5	1/7	0,752	0,0239	0,628	1,383		
X16	9	9	9	1	9	9	1	1	7	9	1	9	7	9	9	1	1	7	1	3,850	0,1223	2,750	1,183		
X17	9	9	9	1	9	9	1	1	7	9	1	9	7	9	9	1	1	7	5	4,190	0,1331	3,029	1,198	R.I=	1,590
X18	7	5	9	1/5	5	5	1/3	1/3	1/3	5	1/9	5	5	7	5	1/7	1/7	1	1/5	1,284	0,0408	1,185	1,528	C.I=	-0,935
X19	1	5	5	1	9	1	1/7	5	5	9	1	9	1	7	7	1	1/5	5	1	2,199	0,0699	1,747	1,316	C.R=	-0,588
Suma																				31,473	1,0000	Amax=	2,176		

Eksperitas 9																			Reikšmingumas	q'	(q'/q)^1/19				
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19							
X1	1	7	7	1	9	5	1/9	5	1	9	1/9	9	9	7	7	1/7	1/7	5	1	1,994	0,0647	1,726	1,405		
X2	1/7	1	7	1/7	9	7	1/9	5	1	7	1/9	7	1	7	7	1/9	1/9	1	1	1,159	0,0376	0,966	1,354		
X3	1/7	1/7	1	1/9	3	1/9	1/9	1/5	1/7	5	1/9	1	1/7	1/5	3	1/7	1/7	1	1/7	0,317	0,0103	0,269	1,378		
X4	1	7	9	1	9	9	1	9	7	9	1	7	7	9	7	1	1	7	1	3,700	0,1200	2,524	1,107		
X5	1/9	1/9	1/3	1/9	1	1/5	1/9	1/9	1/9	1/5	1/9	1	1/9	1/7	1/7	1/9	1/9	1/7	1/9	0,164	0,0053	0,133	1,318		
X6	1/5	1/7	9	1/9	5	1	1/9	1	1	1	1/9	1/3	1	1/5	1/7	1/7	1/3	1/5	0,403	0,0131	0,350	1,411			
X7	9	9	9	1	9	9	1	7	9	9	1	5	5	7	7	1	1	3	1	3,834	0,1243	2,877	1,218		
X8	1/5	1/5	5	1/9	9	1	1/7	1	1	7	1/7	1/5	1/5	3	3	1	1	1/5	1/7	0,652	0,0211	0,637	1,586		
X9	1	1	7	1/7	9	1	1/9	1	1	7	1/7	3	5	5	5	1/7	1/7	1/5	1/9	0,911	0,0295	0,758	1,351		
X10	1/9	1/7	1/5	1/9	5	1	1/9	1/7	1/7	1	1/9	1/7	1/7	1/7	1/5	1/9	1/9	1/7	1/7	0,202	0,0066	0,165	1,326		
X11	9	9	9	1	9	9	1	7	7	9	1	9	9	9	9	1	1	5	1	4,246	0,1377	3,108	1,188		
X12	1/9	1/7	1	1/7	1	3	1/5	5	1/3	7	1/9	1	1/7	1/7	1/5	1/7	1/7	1	1/7	0,394	0,0128	0,390	1,606		
X13	1/9	1	7	1/7	9	1	1/5	5	1/5	7	1/9	7	1	1	3	1/7	1/7	1/3	1	0,818	0,0265	0,700	1,388		
X14	1/7	1/7	5	1/9	7	5	1/7	1/3	1/5	7	1/9	7	1	1	1	1/9	1/9	1/7	1/7	0,527	0,0171	0,465	1,431		
X15	1/7	1/7	1/3	1/7	7	5	1/7	1/3	1/5	5	1/9	5	1/3	1	1	1/9	1/9	1/7	1/7	0,422	0,0137	0,364	1,401		
X16	7	9	7	1	9	7	1	1	7	9	1	7	7	9	9	1	1	7	1	3,651	0,1184	2,799	1,244		
X17	7	9	7	1	9	7	1	1	7	9	1	7	7	9	9	1	1	7	1	3,651	0,1184	2,799	1,244	R.I=	1,590
X18	1/5	1	1	1/7	7	3	1/3	5	5	7	1/5	1	3	7	7	1/7	1/7	1	1/3	1,108	0,0359	0,929	1,362	C.I=	-0,966
X19	1	1	7	1	9	5	1	7	9	7	1	7	1	7	7	1	1	3	1	2,687	0,0871	1,892	1,143	C.R=	-0,608
Suma																				30,842	1,0000	Amax=	1,606		

Eksperitas 10																										
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	Reikšmingumas	q'	(q'/q)^1/19				
X1	1	7	7	1/7	9	7	7	1/5	7	9	1/9	9	7	7	5	1/9	1/9	7	1	2,048	0,0621	1,625	1,376			
X2	1/7	1	3	1/7	9	3	3	1/7	1	7	1/9	7	5	3	3	1/9	1/7	7	1/5	1,074	0,0326	0,792	1,280			
X3	1/7	1/3	1	1/7	7	1	1	1/7	1/7	3	1/9	7	1/3	1/3	1/5	1/9	1/9	1	1/7	0,425	0,0129	0,296	1,208			
X4	7	7	7	1	9	7	7	3	7	9	1/7	9	7	7	7	1/7	1	7	7	3,768	0,1143	2,915	1,342			
X5	1/9	1/9	1/7	1/9	1	1/7	1/7	1/9	1/7	1/7	1/9	1/3	1/7	1/7	1/7	1/9	1/9	1/7	1/7	0,151	0,0046	0,123	1,420			
X6	1/7	1/3	1	1/7	7	1	1	1/7	1/3	1/3	1/9	3	3	3	1/3	1/9	1/9	1/7	1/7	0,443	0,0134	0,312	1,223			
X7	1/7	1/3	1	1/7	7	1	1	1/7	1/3	1	1/9	5	3	3	1/3	1/9	1/7	3	1/7	0,573	0,0174	0,396	1,198			
X8	5	7	7	1/3	9	7	7	1	7	7	1/7	9	7	7	5	1	1	7	3	3,387	0,1028	2,330	1,193			
X9	1/7	1	7	1/7	7	3	3	1/7	1	7	1/7	7	5	5	3	1/9	1/7	3	1/7	1,084	0,0329	0,777	1,244			
X10	1/9	1/7	1/3	1/9	7	3	1	1/7	1/7	1	1/7	3	1/5	1/5	1/7	1/9	1/7	1/5	1/7	0,314	0,0095	0,248	1,367			
X11	9	9	9	7	9	9	9	7	7	7	1	7	7	7	7	1	3	7	7	5,905	0,1791	4,801	1,411			
X12	1/9	1/7	1/7	1/9	3	1/3	1/5	1/9	1/7	1/3	1/7	1	1/7	1/7	1/9	1/9	1/9	1/5	1/7	0,194	0,0059	0,149	1,331			
X13	1/7	1/5	3	1/7	7	1/3	1/3	1/7	1/5	5	1/7	7	1	3	1/3	1/9	1/9	1/3	1/5	0,486	0,0147	0,360	1,286			
X14	1/7	1/3	3	1/7	7	1/3	1/3	1/7	1/5	5	1/7	1/3	7	1	1/5	1/9	1/9	1/3	1/7	0,425	0,0129	0,381	1,555			
X15	1/5	1/3	5	1/7	7	3	3	1/5	1/3	7	1/7	9	3	5	1	1/7	1/7	1/5	1/3	0,840	0,0255	0,604	1,246			
X16	9	9	9	7	9	9	9	1	9	9	1	9	9	9	7	1	1	7	1	4,852	0,1472	3,720	1,330			
X17	9	7	9	1	9	9	7	1	7	7	1/3	9	9	9	7	1	1	7	7	4,343	0,1317	3,083	1,232	R.E=	1,590	
X18	1/7	1/7	1	1/7	7	7	1/3	1/7	1/3	5	1/7	5	3	3	5	1/7	1/7	1	1/5	0,710	0,0215	0,587	1,434	C.E=	-0,969	
X19	1	5	7	1/7	7	7	7	1/3	7	7	1/7	7	5	7	3	1/7	1/7	5	1	1,942	0,0589	1,424	1,272	C.R=	-0,610	
																				Suma	32,966	1,0000	Amax=	1,555		

## Priedas Nr. 3. Vertinimo modelis