



**VILNIAUS UNIVERSITETAS**  
**CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS**  
**GEOMOKSLŲ INSTITUTAS**  
**KARTOGRAFIJOS IR GEOINFORMATIKOS KATEDRA**

**Svajūnas Vepštas**

Kartografijos magistro studijų programos baigiamasis darbas

**DAUGIAKRITERINIO VERTINIMO TAIKYMAS SAULĖS ELEKTRINIŲ  
TERITORIJŲ PARINKIMUI (LIETUVOS TERITORIJOS PAVYZDŽIU)**

**SITE SELECTION FOR SOLAR POWER PLANTS USING MULTI-  
CRITERIA EVALUATION (CASE STUDY OF LITHUANIA TERRITORY)**

Darbo vadovas

dr. K. Papšys

Leidžiama ginti \_\_\_\_\_ (parašas)

Darbo įteikimo data \_\_\_\_\_

Registracijos Nr. \_\_\_\_\_

**Vilnius, 2022**

## TURINYS

ANOTACIJA.....	3
ĮVADAS.....	4
1. LITERATŪROS APŽVALGA .....	6
1.1. Atsinaujinančių išteklių energijos reglamentavimas .....	6
1.2. Saulės spinduliuotės diferenciacija.....	8
1.3. Metodai saulės elektrinių vietoms parinkti.....	10
1.4. Saulės elektrinių vietų nustatymo kriterijai .....	16
2. PANAUDOTI DUOMENYS IR METODIKA .....	24
2.1. Duomenų struktūra ir šaltiniai .....	25
2.2. Duomenų saulės elektrinių vietų parinkimui apdorojimas .....	28
2.3. Kriterijų atrinkimas ir svorių nustatymas .....	39
2.4. Potencialių saulės elektrinių teritorijų nustatymas .....	46
3. TYRIMO REZULTATAI.....	48
3.1. Saulės elektrinių teritorijos Lietuvoje.....	48
3.2. Saulės elektrinių teritorijų pasiskirstymas savivaldybėmis .....	50
IŠVADOS.....	52
NAUDOTA LITERATŪRA .....	53
SANTRAUKA .....	60
SUMMARY .....	61
PRIEDAI .....	62

## ANOTACIJA

**Svajūnas Vepštas. Daugiakriterinio vertinimo taikymas saulės elektrinių teritorijų parinkimui (Lietuvos teritorijos pavyzdžiu).** Magistro darbas. Vilnius: Vilniaus universitetas. 2022.

**Anotacija.** Viena svarbiausių atsinaujinančios energijos rūšių yra Saulės energija. Ši sparčiai populiarėjanti visame Pasaulyje, o taip pat ir Lietuvoje, atsinaujinanti energija yra laikoma svarbiu alternatyviu elektros energijos šaltiniu, o jos statymui skirtų vietų parinkimas Lietuvoje nėra pakankamai išanalizuotas. Šio darbo pagrindinis tikslas yra įvertinti Lietuvos teritoriją saulės elektrinių statymo tinkamumui. Darbo tikslo įgyvendinimui suformuluoti šeši uždaviniai: išnagrinėti atsinaujinančiųjų energijos išteklių reglamentavimą; nustatyti dažniausiai taikomus daugiakriterinio vertinimo metodus; sudaryti kriterijų vertinimo sistemą, skirtą nustatyti tinkamas teritorijas saulės elektrinėms statyti; įvertinti svorių koeficientus saulės elektrinių vietų parinkimo kriterijams; nustatyti netinkamas teritorijas saulės elektrinėms statyti; iširti saulės elektrinių vietų statymo potencialą Lietuvos savivaldybėmis. Darbe analizuojami metodai taikomi tiriant tinkamas vietas saulės elektrinėms statyti, taip pat nustatomi kriterijai lemiantys, kuriose vietose saulės elektrinės turėtų būti statomos. Išskiriamos teritorijos, kurios vietos elektrinių statymui tinkamiausios, kurios mažiau tinkamos arba visai netinkamos.

Tekstas 65 puslapiai, 22 paveikslų, 12 lentelių. Santrauka lietuvių ir anglų kalbomis.

**Reikšminiai žodžiai:** Atsinaujinantys ištekliai, saulės elektrinės, saulės energija, vietų parinkimas, daugiakriterinis vertinimas, tinkamos teritorijos.

## IVADAS

Ūkinės veiklos vykdymui bei kasdieniam gyvenimui reikalingi energijos išteklių. Galima teigti, kad visuomenės išsivystymo lygį parodo tai, kaip ir kokius energijos išteklius ji naudoja (Boveinis, 2014). Šiais laikais vis labiau svarbesnė tampa žalia, atsinaujinanti energija. Kaip alternatyva iškastiniam kurui, atsinaujinanti energija padeda mažinti išmetamųjų dujų kiekį ir didėjančią šiltnamio efektą. Viena svarbiausių atsinaujinančios energijos rūšių – saulės energija. Tai visame Pasaulyje sparčiai populiarėjantis atsinaujinantis išteklius - ne išimtis ir Lietuvoje. Vis dažniau šalies gyventojai įsirengia individualias fotovoltines elektrines ant pastatų stogų, o įvairiose Lietuvos vietovėse yra statomi ir saulės elektrinių parkai, kurie gamina elektrą didesniais kiekiais bei aprūpina daugiau vartotojų.

Saulės energija, yra laikoma svarbiu alternatyviu elektros energijos šaltiniu švarios energijos gamybai. Saulės elektrinių gana nesudėtingas įrengimas ir maži eksploatacijos bei priežiūros kaštai, lemia spartesnę saulės elektrinių populiarėjimą lyginant su kitais atsinaujinančios energijos ištekliais. Siekiant spręsti globalines problemas, tokias kaip visuotinis atšilimas ir oro tarša, atsinaujinančioji energija gali būti alternatyvus energijos, kuri teršia, pakaitalas. Saulės energija yra švari, tausojanti gamtą, ir gana pastovi, todėl tai skatina plėsti saulės energetikos sektorių bei didinti jos suvartojimą.

Renkant tinkamą vietą saulės elektrinėms statyti, yra susiduriama su iššūkiais, vertinant geriausią statymui tinkamą vietovę. Lietuvoje nėra aiškių apibrėžtų teritorijų, kur tinkama statyti saulės elektrines, todėl šiuo tyrimu siekiama prisidėti prie saulės elektrinių statymui tinkamų vietų Lietuvos teritorijose analizės. Tyrimo teorinė dalis prisideda prie nepakankamai Lietuvoje išanalizuotos temos pažinimo, o praktinė šio tyrimo reikšmė atskleidžia aktualius į tyrimo tikslą vedančius rezultatus. Lietuvoje saulės energija yra nepakankamai išanalizuota, daugiausiai susijusių su tema tyrimų buvo atlikta užsienyje.

**Problematika.** Lietuvoje pagaminant vis daugiau atsinaujinančios energijos šalies energetika tampa vis labiau atspari išoriniams veiksniams, nepriklausomai nuo importuojamos energetikos ir kitų faktorių lemiančių elektros energijos kainų nestabilumą. Šis energijos šaltinis vis labiau populiarėja Lietuvoje, tačiau, didėjant atsinaujinančiosios energijos poreikiui, nėra pakankamai išanalizuotos teritorijos tinkamos saulės elektrinėms statyti.

**Aktualumas.** Saulės energijos, o taip pat ir kitų atsinaujinančiųjų išteklių plėtra didina valstybės energetinę nepriklausomybę. Saulės energija yra labiau tausojanti aplinką nei, pavyzdžiui, šiluminės jėgainės, kurios reikalauja pastovaus kuro. Saulės energija yra pigesnė ir nereikalaujanti pastovių išlaidų. Taip pat, gaminant tvarią energiją prisidedama ir prie aplinkos tausojimo. Planuojant

atsinaujinančios saulės energijos tinklų vystymą bei energetikos užstatymo potencialo išnaudojimą yra aktualu ištirti, kokie pagrindiniai faktoriai lemia saulės elektrinių našumą tam tikrose vietose.

**Naujumas.** Lietuvoje nėra aiškių apibrėžtų teritorijų, kur yra labiausiai tinkama statyti saulės elektrines, todėl šiuo tyrimu prisidedama prie saulės elektrinių teritorijų nustatymo metodikos sukūrimo ir teritorinių rezultatų nustatymo.

**Pritaikomumas.** Sukurtą daugiakriterinę vertinimo metodiką galima panaudoti vertinant ir kitas, labiausiai tinkamas teritorijas. O įvertinus tiriamąją Lietuvos teritoriją, tyrimo rezultatais galės naudotis suinteresuotos institucijos, kurios planuoja elektrinių statymą, prognozuoja energetinį potencialą. Tyrimo rezultatai suteiks naudos elektrinių statytojams, kurie lanksčiai pritaikys galutinį rezultatą įkuriant naujus elektrinių parkus.

**Tyrimo objektas.** Saulės elektrinių parkų teritorijos sausumos vietovėse.

**Tikslas** – įvertinti Lietuvos teritoriją saulės elektrinių statymo tinkamumui.

#### **Uždaviniai:**

1. Išnagrinėti atsinaujinančiųjų energijos išteklių reglamentavimą;
2. Nustatyti dažniausiai taikomus daugiakriterinio vertinimo metodus;
3. Sudaryti kriterijų vertinimo sistemą, skirtą nustatyti tinkamas teritorijas saulės elektrinėms statyti;
4. Įvertinti svorių koeficientus saulės elektrinių vietų parinkimo kriterijams;
5. Nustatyti netinkamas teritorijas saulės elektrinėms statyti;
6. Ištirti saulės elektrinių vietų statymo potencialą Lietuvos savivaldybėmis.

# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1. Atsinaujinančių išteklių energijos reglamentavimas

Atsinaujinančių išteklių elektrinių įrengimas bei energijos naudojimas yra apibrėžtas Europos Sąjungos teisės aktuose, Lietuvos Respublikos įstatymuose, Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimuose ir Lietuvos Respublikos energetikos ministro įstatymuose. Lietuva būdama Europos Sąjungos nare įsipareigoja laikytis nustatytų direktyvų ir siekti numatytų atsinaujinančios energetikos tikslų. 2022 m. kovo mėnesį Lietuvos Respublikos Seimas priėmė atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymo pataisas, kuriose aprašomi išsikelti nauji tikslai iki 2030 m. Atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymo 2022 m. kovo 31 d. pataisoje yra išskiriamas pagrindinis įstatymo uždavinys – iki 2030 metų energijos gamyba iš atsinaujinančių išteklių turėtų siekti ne mažiau kaip 50%, lyginant su visos šalies galutiniu energijos suvartojimu (Lietuvos Respublikos atsinaujinančių..., 2022). Šią bendrą atsinaujinančios energetikos suvartojimo dalį bus siekiama toliau didinti naudojant ir skatinant naujausius bei efektyviausius atsinaujinančios energijos išteklius. 2019 m. duomenimis bendras galutinis atsinaujinančios energijos suvartojimas buvo 25,5 %, o tais pačiais metais pagamintos energijos kiekis iš atsinaujinančių išteklių buvo 60,1%. Skirtumas tarp energijos pagaminimo ir suvartojimo parodo, kad Lietuvoje labai svarbu skatinti atsinaujinančios energijos vartojimo efektyvumą ir naujausių technologijų naudojimą (Oficialiosios statistikos portalas, 2020).

Siekiant toliau didinti atsinaujinančios energetikos sektorių ir mažinti klimato šilimą, Lietuva ir kitos Europos Sąjungos valstybės narės yra pasirašiusios ir ratifikavusios Paryžiaus susitarimą. Tai 2015 metais pasirašytas pirmasis visuotinis susitarimas, kuriame buvo nuspręsta, kad pasaulio šalys turi imtis pastangų ir sudaryti veiksmų planą klimato šilimo mažinimui (Klimato kaita, 2020; Europos Sąjungos Taryba, 2022). Sėkmingam Paryžiaus susitarimo įgyvendinimui, Lietuva parengė “Lietuvos Respublikos nacionalinį energetikos ir klimato srities planą 2021-2030 m.“. Šiame plane išdėstomi ir saulės energijos plėtros tikslai bei potencialas. Siekiama saulės jėgaines integruoti į centralizuoto šilumos tiekimo tinklus ir tokiu būdu pereiti prie ketvirtosios kartos centralizuotos šilumos tiekimo, kuris padidintų atsinaujinančios energijos naudojimą Lietuvoje (Lietuvos Respublikos Aplinkos..., 2020). Saulės spinduliuotės intensyvumas Lietuvoje ir Danijoje yra labai panašus, todėl remiantis Danijoje plačiai naudojamų saulės kolektorių centralizuotame šilumos tiekime geruoju pavyzdžiu, galima teigti, kad plane išsikeltas tikslas saulės jėgaines integruoti į centralizuotą šilumos tiekimą, gali būti nesunkiai įgyvendinamas (Lietuvos savivaldybių asociacija, 2017). Atsinaujinančių išteklių skatinimui svarbus teisinis dokumentas yra Europos Parlamento ir Tarybos direktyva dėl skatinimo

naudoti atsinaujinančių išteklių energiją (Europos Parlamento..., 2018), kurioje išdėstomos gairės Europos Sąjungos valstybėms narėms. Valstybės turi siekti direktyvoje išsikeltų tikslų ir skatinti atsijauninančią energetiką savo šalyse.

Atsinaujinančių išteklių naudojimo skatinimas Lietuvoje yra reglamentuojamas Atsinaujinančių išteklių energetikos įstatyme (Lietuvos respublikos atsinaujinančių..., 2011), Lietuvos Respublikos energetikos įstatyme (Lietuvos Respublikos energetikos..., 2002), Nacionalinėje atsinaujinančių energijos išteklių plėtros strategijoje (Nutarimas dėl atsinaujinančių..., 2010), Atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo energijai gaminti skatinimo tvarkos apraše (Nutarimas dėl atsinaujinančių..., 2012) bei Lietuvos Respublikos elektros energetikos įstatyme (Lietuvos Respublikos elektros..., 2000). Šiuose dokumentuose aprašomos atsinaujinančią energiją skatinančios priemonės, numatomas veiksmų planas ir tikslai. Siekiant išsikeltų atsinaujinančios energetikos tikslų, 2019 m. Lietuvos Respublikos Seimas įvedė teisinį Atsinaujinančių išteklių energijos bendrijų reglamentavimą, kuriuo yra leidžiama steigti už atsinaujinančių išteklių gamybą ir plėtrą atsakingas bendrijas. Tokios bendrijos padėtų valdyti kainas energetikos sektoriuje ir didintų atsinaujinančių išteklių naudojimą, tačiau nors ir teisinis reglamentavimas yra įsigaliojęs, iki šiol Lietuvoje nėra nei vienos tokios bendrijos (Lietuvos Respublikos energetikos..., 2021).

Saulės energija yra vienas iš potencialiausių atsinaujinančių energijos išteklių Lietuvoje, todėl šiai energijos sričiai labai svarbūs ne tik atsinaujinančią energetiką skatinantys teisiniai dokumentai, bet ir įstatymai, kurie apibrėžia, saulės elektrinių statymą. Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatyme yra apibrėžtos specialios žemės naudojimo paskirtys. Šio įstatymo trečiajame skyriuje specialaus žemės naudojimo zonos, tokios kaip valstybės sienos apsaugos zonos, kelių apsaugos, geležinkelio bei elektros tinklų apsaugos zonos. Antrajame skirsnyje 18 straipsnyje yra išdėstomos kelių apsaugos zonos ir juose taikomi statybų apribojimai. Priklausomai nuo kelio reikšmės, skiriasi apsaugos zona, kuriose ribojamos statybos, pavyzdžiui magistralinių kelių apsaugos zona siekia 70 metrų į abi puses nuo kelio briaunų, o rajoninių kelių po 20 metrų. Trečiojo skirsnio 21 straipsnyje yra išskiriamos geležinkelio kelių, įrenginių bei jų želdinių apsaugos zonos, kuriose apribojama statybų veikla. Trečiajame skirsnyje 138 straipsnyje yra aprašomos valstybės sienos apsaugos zonos, nurodomi atstumai nuo objektų bei vietos, kuriose yra apribotos arba draudžiamos statybos. Ketvirto skirsnio 24 straipsnyje išskiriamos elektros tinklų apsaugos zonos. Priklausomai nuo elektros įtampos oro linijose, skiriasi apsaugos zonos dydis. Pavyzdžiui, iki 1 kV įtampos oro linijoms turi būti paliekama po 2 metrus į abi puses nuo kraštutinių oro linijos laidų, o 750 kV įtampos oro linijoms – po 40 metrų. Šios specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatyme apibrėžtos zonos yra

svarbūs saulės elektrinių statymo apribojimo kriterijai, kuriuos būtina įvertinti prieš pradėdant nustatyti tinkamiausias vietas saulės elektrinių statymui (Lietuvos Respublikos specialiųjų..., 2019).

## 1.2. Saulės spinduliuotės diferenciacija

Saulės spinduliuojama energija yra vadinama Saulės spinduliuote. Saulės spinduliuotė pagal bangų ilgį skiriama į gama, rentgeno, ultravioletinę, regimąją, infraraudonąją ir radijo bangų spinduliuotę. Du trečdaliai Saulės energijos pasiekia Žemės paviršių, o likusi dalis yra sugerama atmosferoje, todėl Žemės paviršiaus nepasiekia pavojingi gama spinduliai, rentgeno ir trumpieji ultravioletiniai spinduliai (Visuotinė lietuvių enciklopedija, 2022). Į Žemės paviršių patenkanti spinduliuotė skiriasi nuo atmosferos viršuje esančios Saulės spinduliuotės tiek srauto stiprumu, tiek spektrine sudėtimi. Dalis į atmosferą patenkančių Saulės spindulių yra atsispindimi, dalis susigeria atmosferoje bei dalis jų yra išsklaidomi. Žemė sugeria Saulės energiją ir po to ją išspinduliuoja, tačiau Saulės energijos kiekis tenkantis vienam ploto vienetui yra nevienodas, jis priklauso nuo geografinės platumos, aukščio, metų ir paros laiko (Rimkus, 2011). Žiemos laikotarpiu Baltijos šalyse Saulės spinduliuotės intensyvumas yra pasiskirstęs iš pietų į šiaurę, pietuose Saulės spinduliuotės intensyvumas yra didesnis, o šiltuoju laikotarpiu Saulės spinduliuotės intensyvumas Lietuvoje priklauso nuo reljefo bei atstumo nuo jūros. Vasaros mėnesiais didesnis Saulės spinduliuotės aktyvumas yra fiksuojamas pajūryje, o mažesnis aukštumose, tačiau jis gali skirtis priklausomai ir nuo metų (Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, 2015).

Išskiriamos trys pagrindinės Saulės spinduliuotės, pasiekusios žemės paviršių, rūšys: tiesioginė, išsklaidytoji ir atspindėtoji. Tiesioginė spinduliuotė yra Žemę pasiekiantys tiesioginiai lygiagretūs Saulės spinduliai. Tai neišsklaidyti Saulės spinduliai, kurie sklinda tiesiai iš Saulės. Išsklaidytoji Saulės spinduliuotė tiesiogiai nepasiekia Žemės paviršiaus, bet yra išsklaidoma atmosferos ir pasiekia Žemės paviršių nuo dangaus skliauto. Apie 25% Saulės spinduliuotės srauto yra išskaidoma atmosferoje, apie du trečdalius šios spinduliuotės patenka ant Žemės paviršiaus, tačiau išsklaidytosios spinduliuotės laipsnis priklauso nuo spinduliuotės bangų ilgio ir dalelių dydžio, kurios yra išsklaidomos. Atspindėtoji spinduliuotė yra nuo Žemės paviršiaus atmetama spinduliuotė, kuri gali atsispindėti nuo įvairių Žemės paviršių, pavyzdžiui, sniego, vandens ar žolės. Ši spinduliuotė atsispindėjusi yra nukreipta atgal į dangaus skliautą (Vasarevičius, 2012; Rimkus, 2011).

Saulės energija yra skirstoma į tiesioginę ir netiesioginę. Tiesioginiai Saulės energijos ištekliai yra Saulės šviesa ir šiluma, kurią galime paversti į energiją, o netiesioginiai ištekliai yra tie, kurių susidarymui reikia Saulės energijos, pavyzdžiui, biomasė. Saulės energijos kiekis, gaunamas per tam



tikrą laikotarpį, yra svarbus atsinaujinančiai Saulės energetikai, nes tokiu būdu galima pamatuoti, kokia yra Saulės ekspozicija bei energijos išteklių. Meteorologai atlieka matematinius skaičiavimus, tokius kaip bendroji Saulės spinduliuotė bei spinduliuotės balansas, kurie nustato tiesioginės ir išsklaidytosios spinduliuotės sumą bei atitinkamai Žemės paviršiaus sugertosios spinduliuotės ir efektyviojo spinduliavimo skirtumą. Tokie skaičiavimai naudojami ir Saulės elektrinių statymo tinkamų vietų parinkimui, nes padeda suprasti iš Saulės gaunamos energijos kiekį (Vasarevičius, 2012; Rimkus, 2011).

### 1.3. Metodai saulės elektrinių vietoms parinkti

Daugiakriterinis sprendimų priėmimo (angl. *Multi-Criteria Decision Making*) metodas leidžia nustatyti geriausią vietos pasirinkimą iš kelių kriterijų. Ši technika yra dažnai naudojama planuojant atsinaujinančius energijos išteklius, atsižvelgiant į aplinkos, techninius, ekonominius ir socialinius veiksnius. Be to, daugiakriterinis sprendimų priėmimo metodas, gali turėti skirtingas pozicijas konkreitiems kriterijams ar alternatyvoms, priimant sprendimus tam tikroje sprendimų struktūroje (Awasthi, 2018). Pasak Loken (2007), atsinaujinančių išteklių vietų parinkimas remiantis tik vienu kriterijumi yra neteisingas. Huang ir kt. (1995) siūlo atsinaujinančių energijos išteklių vietos tinkamumą analizuoti naudojant daugiakriterinį sprendimų vertinimo metodą, kuris yra tinkamas sudėtingoms situacijoms spręsti.

Analizuojant įvairius metodus, kurie padeda nustatyti tinkamas vietas, didelę pažangą padarė geografinių informacinių technologijų (GIS) tobulėjimas. Vizualinis duomenų perteikimas ir jų analizė geografinėse informacinėse sistemose leido efektyviai įgyvendinti erdvinis uždavinius, todėl į veiklos tyrimus įtraukus daugiakriterinį sprendimų vertinimą ir GIS yra gaunami pažangūs tyrimų rezultatai (Awasthi, 2018).

Nacionalinė atsinaujinančių išteklių laboratorija Jungtinėse Amerikos Valstijose, remiantis GIS atvaizdavimo technologijomis, atliko tyrimą, kuriuo valstybės pietvakariuose nustatė saulės energijos panaudojimo potencialą saulės elektrinėms statyti. Išsiaiškinę apribojimus tokius kaip saugomos teritorijos, nuolydžiai, atstumai iki energijos perdavimo ir kt. buvo sukurti skirtingi žemėlapiai ir išryškintos galimos potencialo plėtros sritys (Sengupta ir kt., 2015).

Greene ir kt. (2011) pasitelkė daugiakriterinį sprendimų priėmimo metodą ir taip pat panaudojo GIS integraciją, kuri padėjo įvertinti tinkamumą erdvinio aspektu. Autoriai savo tyrime pasiūlė gerinti daugiakriterinį vertinimą su GIS programine įranga, kad būtų pasiekiami geresni rezultatai naudojant įvairesnius metodus. Chandio ir kt. (2013) įvertino GIS pagrįstą analitinį hierarchijos procesą (angl. *Analytic Hierarchy Process*), kuriuo nustatė teritorijų tinkamumo saulės energijos elektrinėms statyti. Rumbayan ir Nagaska (2012), taip pat naudojo daugiakriterinį sprendimų priėmimo metodą kartu su GIS atsižvelgiant į prieinamumo kriterijus, pirmenybę teikiant atsinaujinančiai energijai ir ištyrė 30 Indonezijos provincijų. Autorius Effat (Effat, 2013) skaičiavimams naudojo GIS ir nuotolinių Žemės stebėjimo metodus, kartu integruojant analitinį hierarchinį procesą.

Lentelė 1. Metodikos vertinant teritorijas

Nr.	Autoriai	Publikacijos metai	Šalis / Regionas	Naudota metodika
1.	Carrión ir kt.	2008	Ispanija	GIS
2.	Aragonés-Beltrán ir kt.	2010	Ispanija	AHP ir ANP
3.	Janke	2010	JAV	Daugiakriterinis GIS modeliavimas
4.	Charabi ir Gastli	2011	Omanas	GIS-paremta erdviniu fuzzy daugiakriteriniu vertinimu
5.	Uyan	2013	Turkija	GIS ir AHP
6.	Sánchez-Lozano ir kt.	2013	Ispanija	GIS, AHP, ir TOPSIS
7.	Effat	2013	Egiptas	GIS ir AHP
8.	Sun ir kt.	2013	Kinija	GIS
9.	Sánchez-Lozano ir kt.	2014	Ispanija	GIS ir ELECTRE
10.	Asakereh ir kt.	2014	Iranas	Fuzzy AHP ir GIS
11.	Jun ir kt.	2014	Kinija	ELECTRE-II
12.	Wu ir Gang	2014	Kinija	AHP
13.	Vafaiepour ir kt.	2014	Iranas	SWARA, WASPAS, ir Delphi
14.	Watson ir Hudson	2015	Jungtinė Karalystė	GIS ir AHP
15.	Borgogno Mondino ir kt.	2015	Italija	GIS ir ANN
16.	Tahri ir kt.	2015	Marokas	AHP ir GIS
17.	Lee ir kt.	2015	Taivanas	Fuzzy AHP ir DEA
18.	Fernirez-Jimenez ir kt.	2015	Ispanija	GIS
19.	Jahangiri ir kt., 2016	2016	Artimieji Rytai	GIS
20.	Sánchez-Lozano ir kt.	2016	Ispanija	GIS, AHP, TOPSIS, ir ELECTRE TRI
21.	Merrouni ir kt.	2016	Marokas	GIS
22.	Noorollahi ir kt.	2016	Iranas	Fuzzy, AHP ir GIS
23.	Sabo ir kt.	2016	Malaizija	GIS
24.	Suh ir Brownson	2016	Pietų Korėja	Fuzzy, AHP ir GIS
25.	Kareemuddin ir Rusthum	2016	Indija	GIS ir vaizdų apdorojimas
26.	Georgiou ir Skarlatos	2016	Kipras	GIS ir AHP
27.	Al Garni ir Awasthi	2017	Saudo Arabija	GIS ir AHP
28.	Aly ir kt.	2017	Tanzanija	GIS ir AHP
29.	Anwarzai ir Nagasaka	2017	Afganistanas	GIS
30.	Liu ir kt.	2017	Kinija	Grey cumulative prospect theory
31.	Sindhu ir kt.	2017	Indija	AHP, Fuzzy ir TOPSIS
32.	Doljak ir Stanojević	2017	Serbija	GIS ir AHP
33.	Zoghi ir kt.	2017	Iranas	GIS ir AHP
34.	Lee ir kt.	2017	Taivanas	Fuzzy, ANP ir VIKOR
35.	Suuronen ir kt.	2017	Čilė	GIS ir AHP
36.	Yushchenko ir kt.	2018	Vakarų Afrika	GIS ir AHP
37.	Wu ir kt.	2018	Kinija	ANP ir VIKOR
38.	Wang ir kt.	2018	Vietnamas	Fuzzy, AHP, DEA, ir TOPSIS
39.	Merrouni ir kt.	2018	Marokas	GIS ir AHP
40.	Ozdemir ir Sahin	2018	Turkija	GIS ir AHP
41.	Fang ir kt.	2018	Kinija	TOPSIS
42.	Majumdar ir Pasqualetti	2019	JAV	GIS ir daugiakriterinė analizė
43.	Solangi ir kt.	2019	Pakistanas	AHP, Fuzzy ir VIKOR
44.	Wu ir kt.	2019	Kinija	PROMETHEE
45.	Giamalaki ir Tsoutsos	2019	Graikija	GIS ir AHP
46.	Doorga ir kt.	2019	Mauricijus	GIS ir AHP
47.	Colak ir kt.	2020	Turkija	GIS ir AHP
48.	Haddad ir kt.	2021	Alžyras	GIS ir AHP
49.	Lindberg ir kt.	2021	Švedija	GIS
50.	Soydan	2021	Turkija	GIS ir AHP

Mokslininkai savo darbuose paaiškina naudojamus metodikas vertinant tinkamas saulės elektrinių statymo teritorijas. Atliktuose tyrimuose galima pastebėti, kad autoriai integruoja kelis metodus, kai kuriais atvejais vienas metodas seka po kito. Taip pat, kai kurie metodai gali atlikti tik tam tikras funkcijas, todėl dažnai atlikus tyrimą vienu metodu, po jo naudojamas dar vienas metodas. Pavyzdžiui, daugiakriterinis vertinimas nusako kriterijų svarbą, o GIS leidžia analizuoti ir vizualizuoti įvedant tam tikrus nustatytus kriterijus pagal jų svarbą. Šie, dažniausiai, mokslininkų darbuose naudojami metodai teritorijų vertinimui veikia atskirai arba gali vienas kitą papildyti, siekiant nustatyti tiksliausius rezultatus.

Tyrėjų darbuose nėra aptinkamas vienas universalus metodas, kuris leistų nustatyti daugiakriterinės sprendimų analizės įvertinimą. Kiekvienas metodas turi savo stipriąsias ir silpnąsias puses, todėl tyrėjai pasirinkdami metodą, atsižvelgia į nagrinėjamos problemos specifiką ir taip parenka tinkamą metodą (Sirvydas ir kt., 2011).

**Analitinis hierarchijos procesas - AHP** (*angl. Analytic Hierarchy Process*). Sprendimų priėmimo teorijoje AHP yra struktūrizuota sudėtingų sprendimų organizavimo ir analizės technika, kuri yra pagrįsta matematika ir psichologija (Kostagiolas, 2012). Ši sprendimų priėmimo technika padeda sušvelninti bet kokį subjektyvumą ar intuiciją, kuri priklauso nuo sprendimo. AHP yra uždara loginė konstrukcija, vykdoma pagal paprastas taisykles ir yra skirta sudėtingų problemų analizei bei optimalių sprendimų paieškai. Teorija remiasi natūraliu žmogaus mąstymu. Kuomet yra susiduriama su daugybe kontroliuojamų ir nekontroliuojamų elementų, kurie sudaro sudėtingą situaciją, vertintojas sujungia juos į grupes, remdamasis savybių pasiskirstymu tarp jų (Vinogradova, 2012). Metodas yra pagrįstas porų palyginimo matricomis. Kitaip tariant, metodas paremtas porinio palyginimo metodu (*angl. Pairwise comparison*).

**Porinio palyginimo** metodu matricos suderinamumas tikrinamas naudojant suderinamumo indeksus ir koeficientus. Pirmiausiai yra sudaroma anketa, kurioje vertintojas lygina kriterijus po du (poromis) 9 balų skalės sistemoje. Taip pat, gali būti lyginama ir 5 balų sistemoje. Tada, ekspertas sudaro porinio palyginimo matricą (žr. 2 lentelę). Po to, yra patikrinamas jos suderinamumas. Ir galiausiai yra suskaičiuojami kriterijų svoriai. Jeigu porinių palyginimų matrica nesuderinama, šį kriterijų palyginimą reikia pakartoti, kol matrica bus suderinta (Vinogradova, 2012; Podvezko, 2014).

**Lentelė 2.** Pavyzdinė porinio palyginimo matrica (Vinogradova, 2012)

	KR1	KR2	KR3	KR4	KR5	KR6
KR1	1.00	0.20	0.50	0.25	2.00	4.00
KR2	5.00	1.00	4.00	2.00	7.00	9.00
KR3	2.00	0.25	1.00	0.50	4.00	5.00
KR4	4.00	0.50	2.00	1.00	5.00	7.00
KR5	0.50	0.14	0.25	0.20	1.00	2.00
KR6	0.25	0.11	0.20	0.14	0.50	1.00

**ANN** – (*Artificial Neural Network*) yra modeliavimo technika, paremta žmogaus neuroniniu tinklu. Šis metodas leidžia mokytis iš reprezentatyvių duomenų, apibūdinančių reiškinį arba sprendimo procesą. Visi ANN modelių procesai, tokie kaip duomenų rinkimas ir analizė, tinklo struktūros projektavimas, tinklo modeliavimas ir svorių parinkimas, apskaičiuojami naudojant modelio mokymosi ir mokymo metodus (Eshragh, Pooyandeh and Marceau, 2015). Dirbtinių neuronų tinklų ir GIS integracija gali būti naudojama gamtos išteklių informacijai interpretuoti.

**Vaizdų apdorojimas** (*angl. Image Processing*) – vaizdų apdorojimas yra svarbus procesas nustatant vietas. Vaizdų apdorojimas tyrimuose neretai yra integruojant ir kitus metodus. Šis apdorojimas geografinėse informacinėse sistemose apima operacijų atlikimą su rastriniais duomenimis, naudojant vieną ar daugiau erdvinės analizės ir (arba) vaizdo apdorojimo įrankių, esančių programinės įrangos paketuose (Klimešová ir Ocelíková, 2011).

**Kaupiamoji perspektyvų teorija** (*angl. Grey Cumulative Prospect Theory*) – aprašomųjų sprendimų, susijusių su rizika ir neapibrėžtumo sąlygomis teorija. Šios teorijos pagrindinė esmė yra sumažinti subjektyvių sprendimų priėmimą. Panašiai kaip ir kitose metodikose, čia svoriai taikomi kaupiamųjų tikimybių pasiskirstymo funkcijai (Pan, 2019). Šis metodas atliekant vietovių paiešką yra gana retai naudojamas.

**Daugiakriterinis kompromisinis reitingavimas – VIKOR** (*serbiškai Viekriterijumsko Kompromisno Rangiranje*), buvo sukurtas sudėtingų sistemų daugiakriteriniam optimizavimui. Jis nustato kompromisinį reitingų sąrašą ir kompromisinį sprendimą, gautą su pradiniais (duotais) svoriais. Šiuo metodu pagrindinis dėmesys skiriamas reitingavimui ir pasirinkimui iš alternatyvų aibės, kai yra prieštaraujančių kriterijų (Heydari, Sayadi ir Shahanaghi, 2010).

**DEA** (*angl. Data Envelopment Analysis*) – šis metodas leidžia palyginti skirtingų sistemų, vadinamųjų sprendimų priėmimo vienetų (DMU - *angl. Data Manipulation Unit*), turinčių kelias įvestis ir kelias išvestines, efektyvumą (Wei, 1987; Hao ir kt., 2002). Jis naudojamas santykiniam DMU našumui įvertinti, lyginant jų įvestis ir išvestis (Cooper ir kt., 2000). Vienas iš šio metodo

pranašumų yra tai, kad vartotojams nereikia priskirti svorio kiekvienam kriterijui. Vietoj to, svoriai automatiškai apskaičiuojami naudojant DEA metodą (Li ir kt., 2005).

**Pirmenybinis reitingavimo organizavimo metodas vertinimui - PROMETHEE** (*angl. Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations*), yra svarbus alternatyvų vertinimo metodas, atsižvelgiant į kriterijus daugiakriterinėse sprendimų priėmimo problemose. Jai būdinga daugybė pirmenybės funkcijų, kurios naudojamos sprendimų skirtumams tarp alternatyvų priskirti. metodas padeda sprendimus priimančioms asmenims rasti alternatyvą, kuri geriausiai atitinka jų tikslą ir problemos supratimą. Jame pateikiama visapusiška ir racionali sistema, leidžianti struktūrizuoti sprendimo problemą, nustatyti ir kiekybiškai įvertinti jos konfliktus ir sinergiją, veiksmų grupes ir išryškinti pagrindines alternatyvas bei struktūrizuotus motyvus (Abdullah, Chan and Afshari, 2019).

**Laipsniško svorio vertinimo santykio analizė – SWARA** (*angl. The Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis*) yra vienas iš kelių kriterijų sprendimų priėmimo metodų (MCDM). Taikant šį metodą, yra suteikiama galimybę sprendimams pasirinkti prioritetą pagal esamą aplinkos ir ekonomikos situaciją (Keršulienė, Zavadskas ir Turskis, 2010). Vadovaujantis SWARA metodu ekspertas atlieka svarbų vaidmenį vertinant ir skaičiuojant svorius. Gebėjimas įvertinti, remiantis ekspertų nuomonę nustatant kriterijų svarbos santykį yra pagrindinis šio metodo elementas (Zolfani et al., 2013). Šis metodas buvo sukurtas lietuvių mokslininkės – V. Keršulienės.

**Svertinio suminio produkto vertinimo – WASPAS** (*angl. Weighted Aggregated Sum Product Assessment*), metodas yra WSM svertinių sumų modelio (*angl. Weighted Sum Model*) ir WPM svertinio produkto modelio (*angl. Weighted Product Model*) derinys. Dėl savo matematinio paprastumo ir galimybės pateikti tikslesnius rezultatus, palyginti su WSM ir WPM metodais, dabar jis plačiai pripažįstamas kaip veiksminga sprendimų priėmimo priemonė (Baykasoğlu ir Gölcük, 2020).

**Analitinio tinklo procesas - ANP** (*angl. Analytic network process*). Tai yra matematinė teorija, siekianti nustatyti kelių kintamųjų sprendimų priėmimo prioritetus. Tai yra vienas iš pažangiausių ir sudėtingiausių kriterijų vertinimo metodų. Šis metodas palaiko priklausomybių modeliavimą ir grįžtamąjį ryšį tarp visumos elementų. Dėl šios priežasties ANP yra vienas tinkamiausių metodų priimančioms sprendimus srityse, kurioms būdinga egzistuojanti aukštesnio lygio elementų priklausomybė nuo žemesnio lygio elementų (Kadoić, Ređep ir Divjak, 2014).

**Neapibrėžtų aibių metodas** (*angl. Fuzzy*) - šis kintamųjų apdorojimo būdas, leidžia apdoroti kelias galimas tiesos vertes naudojant tą patį kintamąjį (Li, 1999). Neapibrėžtų aibių logika yra bandoma išspręsti problemas su atviru, netiksliu duomenų spektru, leidžiančiu gauti daugybę tikslų

išvadų. Realiame pasaulyje susiduriama su situacijomis, kuomet negalima nustatyti, ar sąlyga yra teisinga, ar klaidinga, todėl ši neapibrėžta logika suteikia lankstumą samprotavimui. Naudojant šį metodą galima atsižvelgti į bet kokios situacijos netikslumus ir neapibrėžtumus. Neapibrėžtų kintamųjų teorija, atskiria žmonių nuomonės objektyvumą. Šis metodas yra dažnai naudojamas sudėtingoms problemoms spręsti, kai parametrai gali būti ne visai aiškūs arba netikslūs. Kadangi neapibrėžtoji logika imituoja žmogaus sprendimų priėmimą, ji labiausiai naudinga modeliuojant sudėtingas problemas su iškraipytomis įvestimis (Coroiu, 2015).

**TOPSIS** (*angl. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) - tai kompensacinio sumavimo metodas, kai alternatyvų rinkinys lyginamas nustatant kiekvieno kriterijaus svorius, normalizuojant kiekvieno kriterijaus balus ir apskaičiuojant geometrinį atstumą tarp kiekvienos alternatyvos ir idealios alternatyvos, kuri yra geriausias kiekvieno kriterijaus balas (Rahim *et al.*, 2018). TOPSIS logika paremta koncepcija, kad pasirinkta alternatyva turi turėti trumpiausią geometrinį atstumą nuo geriausio sprendimo ir ilgiausią geometrinį atstumą nuo blogiausio sprendimo (Soczewica, 2020).

**Electre** (*angl. Elimination and Choice Expressing Reality*) - Paprastai Electre metodas naudojamas tam, kad būtų pašalintos kai kurios problemos alternatyvos, kurios yra nepriimtinos.

Kadangi šiuolaikinės GIS technologijos yra pažengusios, dauguma tyrėjų vertinimus atlieka pasitelkiant erdvinę analizę ir panaudodami daugiakriterinio vertinimo metodus. Tiriamajame darbe, nustatant tinkamas teritorijas Lietuvoje saulės elektrinėms statyti, naudojamas daugiakriterinis vertinimo metodas pasitelkiant GIS funkcionalumus.

#### 1.4. Saulės elektrinių vietų nustatymo kriterijai

Mokslininkų tyrimuose, kuriuose nagrinėjamos saulės elektrinių statymui tinkamos vietos, yra išskiriami kriterijai į kuriuos reikia atsižvelgti, siekiant nustatyti geriausias vietas saulės elektrinėms statyti. Pagrindinės dvi saulės elektrinių statymo kriterijų rūšys yra nustatymo kriterijai ir apribojimo kriterijai. Nustatymo kriterijai leidžia įvertinti tinkamą, ar netinką vietą atsižvelgiant į tam tikrus kintamuosius analizuojamoje teritorijoje, o apribojimo kriterijai, nusako kuriose vietovėse, nėra galimybės vertinti tinkamumo elektrinių statymui, netaikant jokios išimties. Skirtingi autoriai savo darbuose apie saulės elektrinių statymo tinkamų vietovių vertinimą naudoja skirtingus kriterijus, nes tų pačių kriterijų negalima pritaikyti visiems vienodai, jie labai priklauso nuo šalies, kurioje atliekamas tyrimas. Vietovė, kurioje statoma saulės elektrinė gali turėti tiesioginės įtakos elektrinės galingumui, todėl labai svarbu parinkti tinkamus kriterijus pagal kuriuos bus nustatomos tinkamos vietos saulės elektrinių statymui (H. Garni ir A. Awasthi, 2017). Nustatymo kriterijai yra išskiriami į 4 pagrindines kategorijas: techniniai, ekonominiai, aplinkos bei socialiniai-politiniai kriterijai. Viena svarbiausių kriterijų grupių yra techniniai kriterijai, kurie apibūdina įvairius techninius veiksnius, bei parametrus susijusius su fotovoltinių saulės elektrinių projektavimo, statybos ir eksploatavimo etapais.

Saulės spinduliuotės stiprumas ir vidutinė oro temperatūra yra vieni iš pagrindinių techninių kriterijų, lemiančių elektrinės efektyvumą (Garni ir Awasthi, 2017; Georgiou, Skarlatos 2016). Saulės spinduliuotė reiškia spinduliavimo energiją elektromagnetinės spinduliuotės pavidalu, skleidžiamą iš saulės kaip saulės šviesą (Carrión ir kt., 2008). Saulės apšvita yra saulės spinduliuotės kiekis, gaunamas erdvėje ir yra išreiškiamas tam tikro paviršiaus ploto vienetu ( $W/m^2$ ). Šis veiksnys yra vienas labiausiai turinčių įtakos parametru, nustatantis saulės elektrinės energijos gamybos potencialą (Deveci, Cali ir Pamucar, 2021). Aplinkos temperatūra taip pat turi įtakos saulės fotovoltinių plokščių veikimui (Sánchez- Lozano ir kt., 2013). Saulės PV plokštės yra skirtos veikti tam tikromis temperatūros sąlygomis. Priklausomai nuo saulės elektrinės vietos, fotovoltinės plokštės paprastai eksploatuojamos nuo  $15^{\circ}C$  iki  $35^{\circ}C$ , tokioje temperatūroje saulės baterijos pasiekia maksimalų efektyvumą (Deveci, Cali ir Pamucar, 2021). Kareush ir Perovych (2017) taip pat teigia, kad optimali oro temperatūra saulės elektrinių įrengimui yra  $15-40^{\circ}C$ , o šis gana didelis temperatūros skirtumas parodo, kad saulės elektrinės tinkamos statyti daugelyje pasaulio vietų. Taip pat su saule susijęs kriterijus yra saulėtų valandų skaičius, tai yra meteorologinis matavimas, kuris naudojamas tam tikro laikotarpio (pvz., metų ar dienos) saulės trukmei nustatyti konkrečioje vietoje. Kuo daugiau saulėtų valandų vietovėje, tuo našesnė saulės elektrinės energijos gamyba (Jun ir kt., 2014).



Atstumą iki elektros tinklo, iki gyvenamųjų vietovių bei atstumą iki kelių skirtingi tyrimų autoriai įvardina skirtingai, vieni šiuos kriterijus išskiria, kaip techninius (Watson ir Hudson, 2015; Deveci, Cali ir Pamucar, 2021; Georgiou, Skarlatos 2016), kiti kaip ekonominius (Kareush ir Perovych, 2017). Vietovės, kuriose planuojama saulės elektrinė, yra nutolusios nuo elektros perdavimo tinklų, neišvengiamai sukelia didesnes galutines elektros energijos išlaidas, todėl be techninio poveikio, šis veiksnys daro didelę įtaką projekto ekonominei visumai. Saulės elektrinių statymas netoli elektros tinklų yra palankus dėl to, kad sumažina įrengimo ir infrastruktūros išlaidas. Kuo arčiau projektas yra elektros tinklo, tuo pigiau yra prijungti jį prie tinklo. Esamo elektros tinklo vientisumas, taip pat turi įtakos bendrame kontekste. Elektros tinklai projektuojami ir eksploatuojami taip, kad patenkintų techninius reikalavimus, susijusius su įtampos stabilumu ir energijos tiekimo vientisumu. Svyruojanti atsinaujinančioji energijos gamyba dažnai kelia papildomų iššūkių elektros tinklų energijos kokybės reikalavimams, todėl yra svarbu atlikti išsamias elektros energijos sistemų integravimo analizes, ypač, jei saulės elektrinės projekto mastas yra didelis (Türk, Koç ir Şahin, 2021).

Ekonomiškai taupesnis būdas yra statyti saulės elektrines jau prie nutiestų kelių. Keliai turi būti tinkami ir patogūs privažiuoti prie elektrinės, todėl jeigu jų nėra, reikia skirti papildomas dideles išlaidas naujų kelių tiesimui. Saulės elektrinių statymas netoliese jau esančių kelių taip pat sumažina ir aplinkosauginę žalą, kurią padarytų naujo kelio tiesimas (Deveci, Cali ir Pamucar, 2021). Esami keliai turi būti tinkami saulės elektrinės statyboms reikalingų medžiagų transportavimui, kaip teigia Kareush ir Perovych (2017), tokie keliai turėtų būti bent 3 metrų pločio. Atstumas iki gyvenamųjų vietovių yra vertinamas dvejopai. Vieni mano, kad saulės elektrinės paprastai nėra statomos labai arti gyvenamųjų teritorijų, tam, kad būtų sumažinta rizika susijusi su gyventojų saugumu. Priešinga nuomonė yra, kad saulės elektrinių parkai taip pat neturėtų būti statomi per toli nuo gyvenamųjų rajonų, tam, kad pagaminta elektra būtų optimaliai išnaudojama artimiausiose gyvenamosiose vietovėse. Tai sumažintų elektros energijos perdavimo kaštus (Alhammad, Sun ir Tao, 2022).

Vietovės gamtinė aplinka, reljefas ir šlaitų nuolydis yra kiti svarbūs techniniai kriterijai į kuriuos būtina atsižvelgti prieš statant saulės elektrines, nes neatsižvelgus į šiuos kriterijus galima prarasti didelę dalį saulės elektrinės efektyvumo. Lygios, mažai kalvotos teritorijos yra tinkamesnės saulės elektrinių statymui, ypač tai svarbu didelėms saulės elektrinėms, nes jas įrengiant lygumose ar mažai kalvotose teritorijose bus sutaupomos didelės statybų sąnaudos (Garni ir Awasthi, 2017). Statūs šlaitai apsunkina ir pabrangina statybas. Didėjant nuolydžiui, didėja ir saulės elektrinės pastatymo sudėtingumas, o tuo pačiu proporcingai didėja ir išlaidos. Be to, kad elektrinių statymas ant šlaitų yra brangesnis, jų ilgalaikiškumui gali kilti problema dėl erozijos (Brewer ir kt. 2015 m., Tahri ir kt.

2015). Kaip teigia Kareush ir Perovych (2017), maksimalus šlaito nuolydis, ant kurio techniškai dar galima būtų statyti saulės elektrines yra 15%. Asakereh ir kiti (2014) į tyrimą įtraukė ir tiriamos teritorijos aukščius virš jūros lygio. Tačiau šis kriterijus valstybėse, kurios neturi aukštesnių kalnų, tampa ne itin aktualus. Taip pat, jeigu elektrinė yra statoma ant šlaito, labai svarbu atsižvelgti į Pasaulio kryptį (ekspoziciją), nes tokių elektrinių efektyvumas bus geresnis nukreipus jas Pietų kryptimi. O įrengiant elektrines lygiose teritorijose palyginti su šlaituotomis, Pasaulio kryptis turi mažesnę svarbą. Tačiau skirtingi autoriai tyrimuose įvardina gana skirtingus šlaito polinkio kampus, vieni įvardina mažiau nei 3% tinkamą nuolydį (Aran-Carrion ir kt., 2008), kiti 5% nuolydį (Stoms, 2013), o kai kurie mano, kad net 15% nuolydis gali būti tinkamas (Arnette ir kt., 2011). Didėjant nuolydžiui, projektavimo sudėtingumas taip pat padidėja, o tai dažnai lemia proporcingą išlaidų augimą. Fotovoltinių plokščių montavimas stačiuose šlaituose gali sukelti problemų, susijusių su erozija, drenažo sistemomis ir pamatų stabilumu (Kereush ir Geomatics, 2017). Taip pat vietovės aukštis virš jūros lygio turi poveikį saulės elektrinių našumui (Elkhatib ir kt., 2015; (Georgiou, Skarlatos 2016). Jei aukštis virš jūros lygio yra didelis – atstumas tarp žemės ir saulės sumažėja, o tai reiškia, kad saulės spinduliuotei reikia trumpesnio laiko pasiekti žemę. Be to, mažesnis atstumas reiškia mažesnę saulės spinduliuotės sklaidą, todėl galima prognozuoti, kad saulės spinduliuotės intensyvumas bus didesnis. Panjwani ir Narejo (2014) ištyrė, kad didesnis aukštis virš jūros lygio jų tiriamose teritorijose saulės elektrinės efektyvumą padidino 7–12 procentų. Deveci, Cali ir Pamucar (2021) išskyrė hidrografinių zonų vietas, kuriose saulės elektrinių statyba yra labai ribota, nebent elektrinė yra suprojektuota plūduriuojanti ant vandens. Vandens užliejimai gali turėti neigiamą įtaką saulės elektrinių parkams.

Be techninių veiksnių, reikšmingi yra ekonominiai veiksniai, nes jie lemia tam tikrų saulės elektrinių statybų kaštus bei yra susiję su saulės elektrinių parkų investicijų ekonominės perspektyvomis. Pradinės investicijos yra susijusios su patirtomis išlaidomis pradiniame etape planuojant saulės elektrinės statymą. Šis veiksnys turi įtakos saulės elektrinės dydžiui (Deveci, Cali ir Pamucar, 2021). Įrenginėjant saulės elektrines svarbu yra atsižvelgti į eksploatacijos ir priežiūros kainą, taip pat į statybos ir infrastruktūros kainą (Deveci, Cali ir Pamucar, 2021), žemės (Lindberg ir kt., 2021) bei elektros energijos kainą (Deveci, Cali ir Pamucar, 2021). Eksploatacijos ir priežiūros kaina yra kriterijai, kurie susiję su patirtomis eksploatavimo išlaidomis per visą saulės elektrinės eksploatavimo laikotarpį. Šios išlaidos yra susijusios su priežiūra, įvairiais mokesčiais, draudimo įmokomis ir panašiai (Deveci, Cali ir Pamucar, 2021). Priklausomai nuo situacijos, žemės naudojimo pobūdžio ir projekto vietos žemės dangos ypatybių, žemė, kurioje bus statoma saulės elektrinė, gali būti perkama arba išnuomojama. Jei žemė yra perkama, tokiu atveju žemės kaina gali būti

skaičiuojama kaip vienkartinės išlaidos. Priešingu atveju, tai gali būti laikoma pasikartojančiomis išlaidomis (Lindberg ir kt., 2021). Elektros energijos kaina per visą elektrinės gyvavimo laikotarpį (*angl. Levelized cost of energy evolution*), yra vienas iš efektyviausių elektros energijos ekonominių matavimų. Šis yra apskaičiuojamas sudėjus visas statybos ir eksploatacijos išlaidas ir jas padalinus iš saulės elektrinės pagamintos elektros energijos. Tokiu būdu yra paskaičiuojamas elektrinės atsiperkamumas (Deveci, Cali ir Pamucar, 2021). Kiti ekonominiai rodikliai, tokie kaip grynoji esama vertė (*angl. Net Present Value - NPV*), vidinė gražos norma (*angl. internal rate of return - IRR*) ir investicijų graža (*angl. Return on Investment - ROI*), yra bendri bet kokios rūšies investicijų, taip pat šiuo atveju ir saulės elektrinių parkų ekonominiai rodikliai (Deveci, Cali ir Pamucar, 2021). Dar vienas ekonominis kriterijus yra vietos valdžios subsidijos. Vietos ar valstybės lygmens valdžia gali naudoti tam tikras pagalbines priemones, kurios padeda skatinti atsinaujinančiųjų energijos išteklių plėtrą, pavyzdžiui subsidijas. Tokia parama gali būti teikiama tiesiogiai investavimo etape arba gali būti siejama su pagaminta elektros energija arba gali būti taikomos mokesčių lengvatos, atsižvelgiant į tam tikrą valstybę, ar regioną (Suprova, Zidan ir Rashid, 2020). Saulės elektrinių ir kitų atsinaujinančių energijos išteklių plėtra daro teigiamą poveikį regionų plėtrai ir vietos ekonomikai. Investicijos saulės elektrinėms gali sukurti papildomų darbo vietų tiek statybos, tiek eksploataavimo etapuose. Be to, saulės elektrinių įrangą ir kitas statybines medžiagas įsigyjant iš vietos gamintojų, ar tiekėjų yra daromas teigiamas poveikis šalies ar regiono ekonomikai (Deveci, Cali ir Pamucar, 2021).

A. Asakereh, M. Soleymani ir M. J. Sheikhdavoodi (2017) išskiria ne tik techninius ir ekonominius, bet ir aplinkosauginius kriterijus. Aplinkosauginiai kriterijai – tai tokie kriterijai, pagal kuriuos atsižvelgiama į žmogui ar aplinkai daromą žalą. Šios vietos apima miestus, kaimus, vandens telkinių pakrantes, saugomas teritorijas, žemės ūkio teritorijas, pelkes ir kt. Pavyzdžiui, tinkamos žemdirbystei žemės neturėtų būti naudojamos saulės elektrinių statymui, nes jos turi svarbią paskirtį, kurios nederėtų keisti ir naikinti žmonių dirbamus laukus. Ypač jautrios vietos yra upės, pelkės, ežerai bei saugomos teritorijos. Prieš projektuojant saulės elektrinių statymo vietas svarbu gerai susipažinti su saugomomis teritorijomis šalyje ar nagrinėjamoje vietovėje. Saugomose teritorijose yra draudžiamos bet kokios statybos, įskaitant saulės elektrinių parkus, todėl būtina iš anksto tai įsivertinti (Deveci, Cali ir Pamucar, 2021). Nors saulės elektrinės yra vienas draugiškiausių aplinkai energijos gaminimo būdų, tačiau jos taip pat gali būti pavojingos aplinkai, jeigu bus netinkamai gaminamos ar prižiūrimos. Gaminant saulės elektrines yra naudojamos pavojingos cheminės medžiagos, kurios netinkamai eksploatuojamos gali padaryti žalą aplinkai. Jos nekelia jokio pavojaus, jeigu cheminės medžiagos yra apdorojamos tinkamai, tačiau vis dar pasaulyje yra šalių, kurios norėdamos sutaupyti sąnaudų negalvoja apie aplinkos taršą, siekiant, kuo greičiau ir pigiau pabaigti gaminį. Norint išvengti

aplinkosauginių problemų, derėtų nestatyti saulės elektrinių aplinkai ir žmonėms jautriose vietose (Kuby, 2021). Tačiau skirtingų autorių nuomonė apie saulės elektrinių statymą netoliese urbanizuotų teritorijų išsiskiria, vieni mano, kad statymas netoliese urbanizuotų teritorijų yra palankus, dėl ten esančio didelio energijos poreikio, o kiti turi tokią nuomonę, kad elektrinių statymas netoliese urbanizuotų teritorijų gali trukdyti miesto plėtrai. Planuojant saulės elektrinių parką labai svarbu susipažinti ir laikytis valstybės, kurioje planuojama statyti saulės elektrinė, aplinkosauginių teisės aktų. Taip pat, daugelyje valstybių yra teisiškai reikalaujama atlikti aplinkos tyrimus, kurie nustato galimą žalą statant saulės elektrinių parką (Suprova, Zidan ir Rashid, 2020). Atliekant aplinkos tyrimus yra nustatomas elektrinių poveikis ekologinei sistemai ir natūralioms buveinėms. Nuo saulės elektrinių atsispindėjusios šviesos poliarizacija gali turėti neigiamą poveikį kai kurioms rūšims, pavyzdžiui, vabzdžiams ir paukščiams, kurie yra svarbūs bendrai ekosistemai. Stiklu dengti fotovoltiniai moduliai gali sukelti šviesos taršą ir pakenkti vabzdžiams bei paukščiams, nes į juos spiginami šviesos atspindžiai, gali turėti įtakos gyvūnų orientacijai ir navigacijai (Fritz ir kt., 2020; Impact of Solar..., 2017). Deveci, Cali ir Pamucar (2021) tyrime naudojo ir smėlio bei dulkių rizikos kriterijų. Ekstremaliomis oro sąlygomis, tokios kaip smėlio audros ir panašiai, ant fotovoltinių modelių supučia dulkių ir smėlio dangas, o tai turi įtakos elektros gamybai, kadangi saulės spinduliai negali tiesiogiai pasiekti fotovoltinio modulio. Apibendrinus mokslininkų darbuose naudotus aplinkosauginius kriterijus galima teigti, kad saulės elektrinių ir kiti atsinaujinančios energijos parkai, kaip tvarios energijos išteklių rūšis, turėtų būti statomi taip, kad su saulės elektrine susijusi veikla padarytų kuo mažiau žalos aplinkai ir žmonėms. (Deveci, Cali ir Pamucar, 2021).

Vienas iš pagrindinių kriterijų, kurį galima priskirti prie aplinkosauginių, techninių bei ekonominių kriterijų, yra žemės naudojimo paskirtis. Saulės ūkiams skirta žemė negali būti naudojama kitiems tikslams (Asakereh, Omid, Alimardani..., 2014). Todėl tik nederlinga žemė ar menkos augalijos danga, kuri nėra tinkama kitiems tikslams, turėtų būti laikoma potencialia saulės energijos ūkių žeme. Atliekant tyrimus didesniuose pietiniuose Apalačų kalnuose, žemė, kurioje augalija yra mažesnė nei 15%, buvo laikoma tinkama saulės ūkio įrengimo vieta (Arnette ir Zobel, 2011), tačiau Kolorado valstijoje - trumpa augalija, miško ruožai ar nederlinga žemė, kurie negali sumažinti saulės insoliacijos, buvo laikoma geriausiomis vietomis saulės elektrinėms įrengti (Janke, 2010). Didelio masto saulės elektrinių sistemų įrengimai gali pakenkti ariamai žemei (Tsoutsos ir kt., 2005). Kita vertus, dirbamos žemės apsauga yra vienas iš pagrindinių aplinkosaugos tikslų. Taigi derlinga dirbama žemė negali būti naudojama saulės ūkiams. Remiantis Aydin ir kt. (2013), žemės ūkio paskirties plotai neturi būti atrenkami kaip saulės ūkiai. Siekiant didesnio tikrumo, aplink šias teritorijas reikėtų atsižvelgti į 1 km spindulio buferinę zoną. T. y., Žemės priimtinumas saulės

jėgainėms buferinėje zonoje padidėja nuo nulio iki vieno, atitinkamai, prie žemės ūkio paskirties žemės ir 1 km atstumu nuo tos sienos (Aydin et al., 2013).

Nagrinėjant tinkamas vietas saulės elektrinių statymui svarbūs ir socialiniai-politiniai kriterijai. Vietos visuomenė turi pritarti statomoms saulės elektrinėms. Tai gali būti tiriama apklausomis, interviu ir rengiant visuomenės susitikimus. Svarbu suprasti ir įvertinti visuomenės pritarimą ir paramą. Jei vietos gyventojai nesutinka su saulės elektrinių projektu, tai gali turėti didelę įtaką projektų investicijoms. Kita vertus, vietinių parama gali padėti saulės elektrinių projektams ir teigiamai prisidėti prie vietos plėtros (Zhang, ir Zhou, 2016). Taip pat reguliavimo, teisėsaugos, politikos aspektai turi būti atsižvelgti prieš projektuojant elektrinių vietas. Teisinis suvaržymai susiję su žemės naudojimu, apsaugos zonomis, žemės nuoma, viešaisiais pirkimais ir kt., taip pat turi įtakos bendram saulės elektrinių statymui bei statymo trukmei. Svarbu, kad vietos energetikos politikai būtų susidomėję saulės elektrinių parkais ir išreikštų palaikymą. Projektuojant saulės elektrinių vietas reikia atsižvelgti ir į kvalifikuotą darbo jėgą prieinamumą. Jeigu norimoje vietovėje yra didelė saulės elektrinių parkų paklausa, tačiau nėra pakankamai darbo jėgos, tokiu atveju statymo procesas tampa lėtesnis (Zhang, ir Zhou, 2016; Deveci, Cali ir Pamucar, 2021). A. Georgiou ir D. Skarlatos (2016) savo darbe įtraukė socialinį kriterijų, kurį Deveci, Cali ir Pamucar (2021) priskyrė prie aplinkosauginių kriterijų, tai vaizdas nuo pagrindinių kelių arba kitaip vizualinis poveikis. Tam tikroje vietoje pastatyto saulės elektrinių parko matomumas priklauso nuo aukščio skirtumo tarp saulės kolektorių ir stebėtojo aukščio. Planavimo proceso metu saulės kolektorių vizualinis poveikis turėtų būti sumažintas iki minimumo.

Atliekant tinkamų vietų saulės elektrinių įrengimui analizę būtina įvertinti ne tik palankios vietovės nustatymo kriterijus, bet ir apribojančius kriterijus, kurie papildo vieni kitus ir padeda nustatyti geriausias vietas saulės elektrinių statymui. Garni ir Awasthi (2017) tiriamajai teritorijai pasirinko 24 skirtingus kriterijus, kur nevertėtų statyti saulės elektrinių. Tyrime yra saugomos teritorijos, dirbamos žemės, didelio aukščio teritorijos, vandens telkiniai, karinės zonos, laukinės gamtos teritorijos, kultūros paveldo vietovės, archeologinės vietovės, paleontologinės vietovės, keliai ir geležinkelių tinklas, smėlio kopos, stichinės vietovės, plotas su didesniu nuolydžiu ( $> 5^\circ$ ), kalnai, minkštas dirvožemis, visuomenės interesų vietovės, užtvankos, skrydžių apsaugos zonos, biologiškai reikšmingos teritorijos, vandentakiai ir upeliai, specialios paukščių apsaugos zonos, pakrantės, bei tam tikros šlaitų ekspozicijos. Vieni autoriai kai kuriuos iš šių kriterijų priskiria prie nustatymo, kiti prie apribojimo kriterijų. Marques-Perez, Guaita-Pradas, Gallego ir Segura (2019) tyrime kriterijai į suskirstyti į pirminius ir antrinius, kuriame pirminiai kriterijai nusako palankumą statyti, o antriniai įveda apribojimus. A. Georgiou, D. Skarlatos (2016) kriterijus išskyrė į įvertinimo ir apribojimo bei

juos suskirstė į kriterijų tipus socialinius, aplinkos, saugumo, techninius ir finansinius. A. Georgiou, D. Skarlatos (2016) įvedė atstumus nuo tam tikrų statybas apribojančių teritorijų, pavyzdžiui 200 m. nuo NATURA 2000 zonų, 2000 m. nuo oro uostų, 50 m. atstumas nuo kelių ir kt. Tai parodo, kad skirtingi autoriai naudoja skirtingus kriterijų apibūdinimus, tačiau daugumoje darbų yra aptinkami svarbiausi kriterijai būdingi daugeliui pasaulio vietovių.

Tiriant tam tikrą teritoriją, kiekvienam kriterijui yra padaromas atskiras žemėlapis su skirtingomis reikšmėmis, paremtomis atstumais ar kitokiomis vertėmis. Analizės metu GIS technologijų pagalba kiekvienam kriterijui yra sukuriama skirtingi rastrai, su tam tikrais įverčiais. Kiekvienam rastrui atskirai pagal naudojamą metodiką yra paskiriamas svarbumo laipsnis. Pavyzdžiui, gali būti nuo 1 iki 10, vertinant kiekvieną žemėlapi atskirai, nustatoma kiek kiekvienas turės reikšmės bendrame kontekste. Kiek kitoks, paprastesnis metodas, įvertinant kriterijus atsižvelgiant į tai, kad įverčiai sumuojasi bendroje sumoje, vertinant 100 proc. sistemoje. Tai yra, kiekvienas skirtingas kriterijus turės savo reikšmę, o bendra kriterijų suma turės būti lygi 100 procentų. Pavyzdžiui, Irane atlikto tyrimo atveju (Asakereh, Omid, Alimardani..., 2014), geografinėse informacinėse sistemose buvo sukurti trys skirtingi sluoksniai, du iš jų (saulės spinduliuotės potencialas ir pasiekiamumas) atsižvelgti į ekonominius veiksnius ir vienas sluoksnis (žmogaus ir aplinkos apribojimas) atsižvelgti į aplinkosauginius apribojimus. Kiekvienam sluoksniui priskirta vertė yra nuo nulio iki vieno. Nulio reikšmė reiškė visišką apribojimą ir blogiausia tinkamumą, o vieneto vertė reiškė tinkamiausią vietą saulės elektrinių parkui įrengti. Naudojant analitinę hierarchijos procesą ir remiantis ankstesniais tyrimais, visi trys sluoksniai - saulės spinduliuotė, susisiekimo - prieinamumo bei aplinkos apribojimai buvo įvertinti kuriant vieną galutinį žemėlapi (Asakereh, Omid, Alimardani..., 2014). Išnagrinėti moksliniai darbai bei juose naudojami kriterijai suformuoja pagrindą tolimesnei tyrimo eigai bei geografinių informacinių sistemų analizei, kurios pagalba galima nustatyti tinkamiausias vietas saulės elektrinių statymui, atsižvelgiant į nustatymo ir apribojimo kriterijus.

**Lentelė 3.** Autorių darbuose aptinkami apribojimo kriterijai

<b>Apribojimo</b>	<b>Kriterijus</b>
K1	Saugomos teritorijos
K2	Mišakai
K3	Dirbama žemė
K4	Užtvankos
K5	Potvynių zonos
K6	Žemės naudojimas
K7	Upės/ežerai
K8	Pelkės
K9	Smėlio kopos
K10	Keliai ir geležinkeliai
K11	Statūs šlaitai

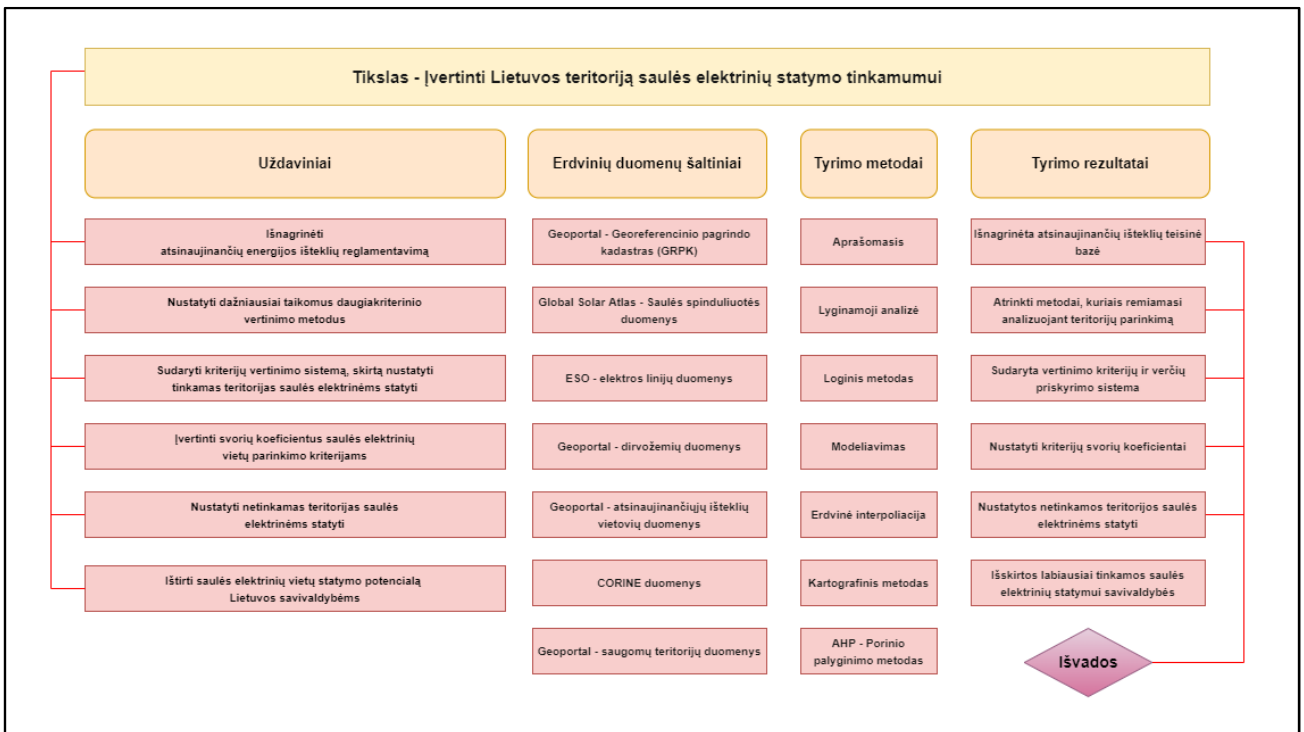
K12	Pakrantės
K13	Laukinės gamtos zonos
K14	Gyvenamieji rajonai
K15	Oro uostai ir karinės zonos
K16	Kapinės
K17	Sporto aikštynai
K18	Archeologinės vietos
K19	Biologiškai reikšmingos zonos
K20	Kalnai

**Lentelė 4.** Autorių darbuose aptinkami nustatymo kriterijai

<b>Techniniai</b>	<b>Kriterijus</b>
K1	Saulės spinduliuotė
K2	Oro temperatūra
K3	Saulėtų valandų skaičius
K4	Atstumas iki elektros tinklų
K5	Žemės naudojimas
K6	Atstumas iki gyvenamųjų teritorijų
K7	Atstumas iki kelių
K8	Meteorologiniai parametrai (vėjo greitis ir kritulių kiekis)
K9	Reljefo nuolydis
K10	Aukštis virš jūros lygio (metrai)
K11	Hidrografinės zonos
K12	Miesto planavimas
K13	Elektros tinklo vientisumas
<b>Ekonominiai</b>	<b>Kriterijus</b>
K14	Pradinės investicijos
K15	Eksplotacijos ir priežiūros kaina
K16	Statybos/infrastruktūros kaina
K17	Žemės kaina
K18	Elektros energijos kaina per visą elektrinės gyvavimo laikotarpį
K19	Ekonominės veiklos rodikliai (NPV, IRR, ROI)
K20	Vietos valdžios subsidijos
K21	Poveikis regionų plėtrai ir vietos ekonomikai
K22	Žemės derlingumas ir poveikis žemės ūkiui
<b>Aplinkos</b>	<b>Kriterijus</b>
K23	Poveikis supančiai aplinkai
K24	Vizualinis poveikis
K25	Šviesos tarša
K26	Poveikis laukinei gamtai
K27	Smėlio / dulkių rizika
K28	Saugomos teritorijos
<b>Socialiniai politiniai</b>	<b>Kriterijus</b>
K29	Kvalifikuotos darbo jėgos prieinamumas
K30	Reguliavimas
K31	Visuomenės pritarimas/palaikymas
K32	Politikos palaikymas
K33	Teisiniai suvaržymai

## 2. PANAUDOTI DUOMENYS IR METODIKA

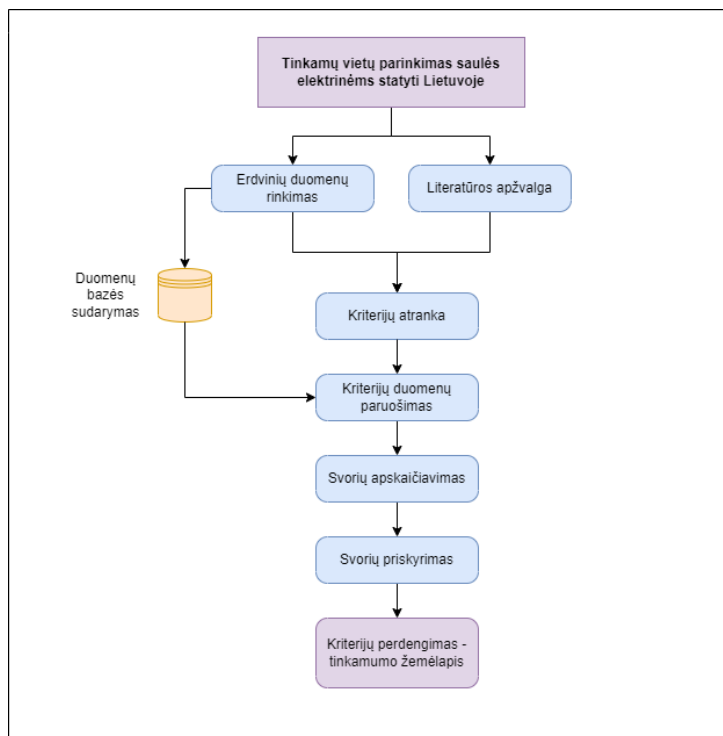
Tyrimas susideda iš kelių dalių (žr. 1 pav.). Vadovaujantis išsikeltu tikslu ir uždaviniais, pirmiausia yra išanalizuojama jau parašyta literatūra, ir renkami erdviniai duomenys. Geografinėje informacinėje sistemoje (GIS) yra sudaroma duomenų bazė, kurioje talpinami visi surinkti duomenys. Tiriamajame darbe naudojamas aprašomasis metodas, lyginamoji analizė, loginis metodas, modeliavimas, erdvinė interpoliacija, kartografinis metodas ir AHP – porinis palyginimas. Siekiant išsikeltų tikslų, galiausiai pateikiamos išvados sukonkretinant gautus rezultatus.



1 pav. Metodinė schema

Nagrinėjant literatūrą ir renkant pasiekiamus duomenimis yra atrenkami kriterijai, kuriais remiantis nustatomas vietos tinkamumas. Tuomet yra vykdoma erdvinė analizė, kiekvienas kriterijus analizuojamas atskirai. Skirtingam kriterijui yra sudaromas atskiras žemėlapis. Kiekvienam kriterijui žemėlapiui yra duodamas svorinis koeficientas ir visi kriterijai yra perdengiami tarpusavyje. Tokiu būdu gaunamas vienas apibendrinantis tinkamumo žemėlapis (žr. 2 pav.).





**2 pav.** Tinkamumo rezultato sluoksnio gavimo proceso schema

## 2.1. Duomenų struktūra ir šaltiniai

Šiame skyriuje yra aprašomi kriterijams reikalingi duomenų šaltiniai bei jų struktūra. Vienas pagrindinių duomenų šaltinių įgyvendinimui – Georeferencinio pagrindo kadastras (GRPK), teikiamas VĮ „GIS-Centras“. Šiame duomenų rinkinyje yra pateikiami žemės paviršiaus gamtiniai ir antropogeniniai objektai (kelių ašinės linijos, gatvių ašinės linijos, geležinkelių ašinės linijos, upių, upelių ašinės linijos, kanalų ir melioracijos griovių ašinės linijos, ežerų ir tvenkinių ribos, pastatų ribos, miškų naudmenų ribos, žemės ūkio naudmenų ribos, geodezinio pagrindo punktai, žemės paviršiaus (aukščio) taškai (Geoportal, 2022). Tyrimui atlikti iš GRPK rinkinio yra panaudojamas sluoksnis „AUKSTIS“, kuriame saugomi žemės paviršiaus aukščio taškai (viso 64 952 taškai, LKS-94 koordinacių sistemoje). Taip pat, naudojamas ir sluoksnis „KELIAI“, kuriame saugomi keliai ir gatvės. Kelių duomenys yra teikiami pagal skirtingus kelių tipus. Taip pat, išskiriamos gatvės ir takai, gruntkeliai ir lauko/miško keliai bei statomi keliai. Iš sluoksnio „GELEZINK“ – panaudojamos geležinkelių linijos. „PLOTAI“ sluoksnis yra vienas bene labiausiai sudėtinių sluoksnių, kuriame kaupiama įvairi erdvinė informacija – durpynai, karjerai, vandens telkiniai (ežerai, upės, upeliai, kūdros, pelkės, tvenkiniai), miškai, sodai, užstatytos teritorijos, gamybinės teritorijos, dirbamos žemės, želdynai ir žėliniai, ganyklos ir pievos, smėlynai, oro uostai, pakilimo takai, sraigtasparnių

aikštelės, elektros pastočių teritorijos, vandens valymo įrenginių teritorijos, sąvartynai ir stambiagabaričių atliekų surinkimo aikštelės, stadionai bei sporto aikštynų kompleksai, ir kapinės.

Kitas darbe panaudojamas duomenų šaltinis yra teikiamas Nacionalinės žemės tarnybos prie žemės ūkio ministerijos - „Lietuvos Respublikos teritorijos dirvožemio erdviųjų duomenų rinkinys“. Duomenys teikiami M 1: 10000 masteliu. Dirvožemio erdviųjų duomenų rinkinio Dirv\_DR10LT turinys apima duomenis apie Lietuvos dirvožemio paplitimą, fizines ir agrochemines savybes, kokybę, derlingumą ir tręšimą pagal Lietuvos dirvožemių klasifikaciją LTDK-99 ir bendrąjį sistemos sąrašą (Lietuvos dirvožemio tipo vienetas LT\_DTV96 charakteristikos). Dirv\_DR10LT kuriamas visai Lietuvai (Geoportal, 2022). Šiame rinkinyje pateikiami dirvožemio savybių erdviniai duomenys (taškiniai ir plotiniai). Tyrimui atlikti panaudojamas „Vietove\_kv“ sluoksnis, kuriame derlingumo rodiklių erdvinė informacija yra išskaidyta smulkiausiu vienetu, tai yra, kadastro vietovė. Viso šiame sluoksnyje yra pateikiama 1418 teritorinių vienetų, kurie darbe vėliau yra išskirstomi pagal derlingumo balą.

Energetikos agentūros duomenų rinkinyje „Lietuvoje veikiančių atsinaujinančių išteklių jėgainių geografinis išdėstymas“ – pateikiami atsinaujinančių išteklių vietų duomenys taškais. Iš šių duomenų yra išrenkamos tik saulės energijos elektrinės.

Saulės spinduliuotės duomenis teikia „Global Solar Atlas“. Tiriamajam darbui parinkti įvairūs saulės spinduliuotės parametrai (tiesioginė saulės spinduliuotė, išsklaidytoji saulės spinduliuotė, horizontalioji saulės spinduliuotė). Visi rodikliai pateikiami rastrinių (gardelių) duomenų pavidalu dviem formatais: GeoTIFF ir AAIGrid (Global Solar Atlas, 2022).

Dar vienas, svarbus duomenų šaltinis yra „Energijos skirstymo operatoriaus“ (AB „ESO“) pateiktas elektros linijų duomenų rinkinys, kurį sudaro elektros kabeliai, atvadaai, oro linijos ir šynos. Darbe panaudojamos elektros oro linijos, šios vėliau yra išskaidomos pagal skirtingos įtampos linijas.

Ne mažiau svarbus ir VI „GIS-Centras“ teikiamas žemės dangos duomenų rinkinys – „2018 m. CORINE žemės danga“. CORINE žemės dangos standartinė žemės dangos 3 lygių klasifikacija: 44 klasės, iš jų 31 klasė sutinkama Lietuvos teritorijoje (žr. 5 lentelę). Tiriamajame darbe naudota 1 ir 2 lygio klasifikacijos. Išrenkamos visos dirbtinės dangos, miškai ir kitos gamtinės teritorijos, pelkės ir vandens telkiniai.

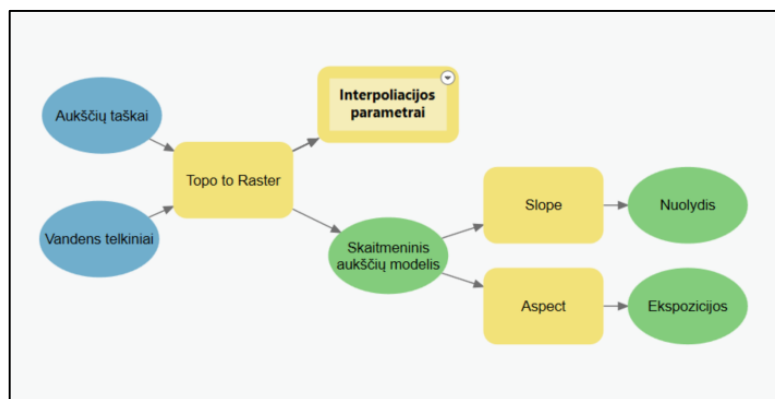
**Lentelė 5. CLC18 žemės dangų klasifikacija**

1 lygis	2 lygis	3 lygis :100 000	
1. Dirbtinės dangos	1.1. Užstatymo teritorijos	1.1.1.	Ištisinis užstatymas
		1.1.2.	Neištisinis užstatymas
	1.2. Pramoniniai, komerciniai ir transporto objektai	1.2.1.	Pramoniniai ar komerciniai objektai
		1.2.2.	Kelių ir geležinkelių tinklas ir su juo susijusi žemė
		1.2.3.	Uostų teritorijos
		1.2.4.	Oro uostai
	1.3. Karjerai, sąvartynai ir statybos	1.3.1.	Naudingųjų iškasenų gavybos vietos
		1.3.2.	Sąvartynai
		1.3.3.	Statybų plotai
	1.4. Apželdintos dirbtinės ne ž. ūkio paskirties teritorijos	1.4.1.	Žalieji miestų plotai
1.4.2.		Sporto ir poilsio vietos	
2. Žemdirbystės teritorijos	2.1. Dirbama žemė	2.1.1.	Nedrėkinamos dirbamos žemės
		2.1.2.	<i>Pastoviai drėkinamos žemės*</i>
		2.1.3.	<i>Ryžių laukai*</i>
	2.2. Daugiametės kultūros	2.2.1.	<i>Vynuogynai*</i>
		2.2.2.	Vaismedžių ir uogų plantacijos
		2.2.3.	<i>Alyvmedžių giraitės*</i>
	2.3. Ganyklos	2.3.1.	Ganyklos
	2.4. Kompleksinės žemdirbystės teritorijos	2.4.1.	Vienmečių kultūrų pasėliai kartu su daugiamečiais kultūromis
		2.4.2.	Kompleksiniai žemdirbystės plotai
		2.4.3.	Dirbamos žemės plotai su natūralios augalijos tarpais
2.4.4.		<i>Agro-miškininkystės teritorijos*</i>	
3. Miškai ir kitos gamtinės teritorijos	3.1. Miškai	3.1.1.	Lapuočių miškas
		3.1.2.	Spygliuočių miškas
		3.1.3.	Mišrus miškas
	3.2. Krūmų ir /arba žolinės augalijos bendrijos	3.2.1.	Natūralios pievos
		3.2.2.	Dykvietės ir viržynai
		3.2.3.	<i>Sklerofilinė augalija*</i>
		3.2.4.	Pereinamosios miškų stadijos ir krūmynai
	3.3. Žemė su reta augaline danga arba jos	3.3.1.	Pliažai, kopos, smėlynai
		3.3.2.	<i>Uolos*</i>
		3.3.3.	<i>Alpinė augalija*</i>
		3.3.4.	Gaisravietės
		3.3.5.	<i>Lėdynai ir amžini sniegynai*</i>
	4. Pelkės	4.1. Kontinentinės pelkės	4.1.1.
4.1.2.			Durpynai
4.2. Pakrančių pelkės		4.2.1.	<i>Druskingos pelkės*</i>
		4.2.2.	<i>Druskožemiai*</i>
		4.2.3.	<i>Užtvindomos seklumos*</i>
5. Vandens telkiniai	5.1. Vidaus vandenys	5.1.1.	Vandens tėkmės
		5.1.2.	Vandens telkiniai
	5.2. Jūrų vandenys	5.2.1.	Pakrančių lagūnos
		5.2.2.	Estuarijos
		5.2.3.	Jūra ir vandenynas

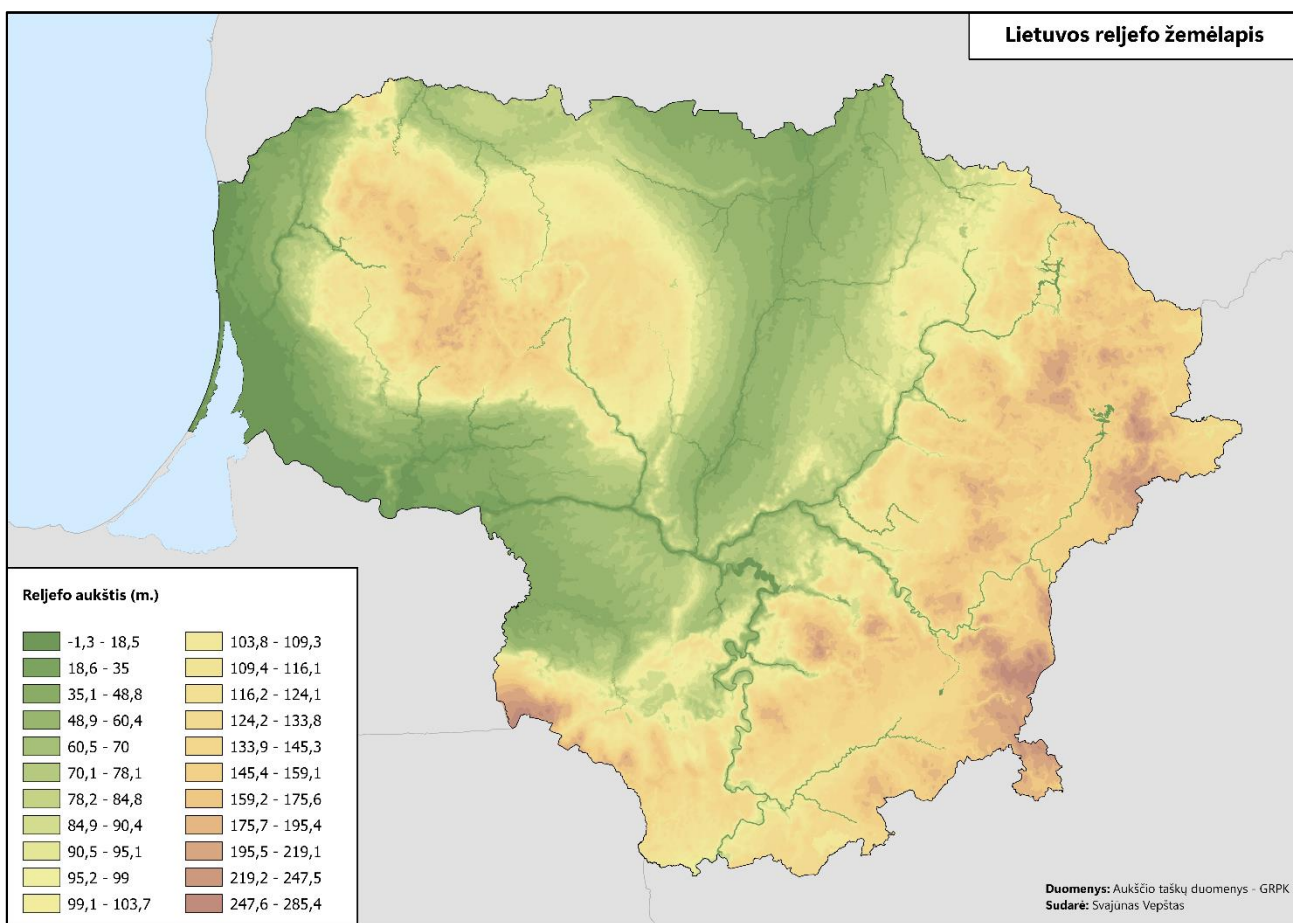
## 2.2. Duomenų saulės elektrinių vietų parinkimui apdorojimas

Šiame poskyryje aprašomas sukauptų pradinių duomenų apdorojimas. Visi duomenys apdorojami su *ArcGIS Pro 2.9* programine įranga. Siekiant automatizuoti duomenų apdorojimo ir paruošimo procesus, *ArcGIS Pro ModelBuilder* aplinkoje sukuriami atskiri modeliai, kurie paruošia duomenis, skirtus galutiniam saulės elektrinių vietų parinkimo modeliui. Svarbu paminėti tai, kad šie duomenys yra tarpiniai, todėl tarpinis duomenų vizualizavimas neturi įtakos galutiniam rezultatui.

Šlaitų polinkių ir ekspozicijų nustatymui panaudojami GRPK aukščių taškų duomenys. Pirmiausiai vykdoma interpoliacija, siekiant sukurti Lietuvos skaitmeninį reljefo modelį (*angl. Digital elevation model - DEM*), kuriame kiekvienai 20 metrų gardelei priskiriamos atitinkamos aukščių vertės. Interpoliacijai naudojamas „Topo to Raster“ metodas. Šis metodas tinkamas, siekiant išgauti hidrologiškai taisyklingus skaitmeninius aukščio modelius. „Topo to Raster“ metodas naudoja iteracinę baigtinių skirtumų interpoliacijos techniką. Jis yra optimizuotas pagal atvirkščiai proporcingo atstumo (*angl. Inverse Distance Weighted – IDW*) interpoliacijos skaičiavimus. Taip pat, tokia interpoliacija yra paremta paviršiaus tęstinumo technikos metodais, tokiais kaip krigingo (*angl. Kriging*) ir splaino (*angl. Spline*) (Esri, 2022). Interpoliacijai panaudoti 64 tūkst. aukščio taškai, ir taip pat į įrankio įvesties parametrus įtraukiami vandens telkiniai (upės, upeliai, ežerai ir kt.), siekiant išgauti dar tikslesnius šlaitų nuolydžius bei ekspozijas (žr. 3 ir 4 pav.).



3 pav. Skaitmeninio reljefo, šlaitų nuolydžių ir ekspozicijų modelis

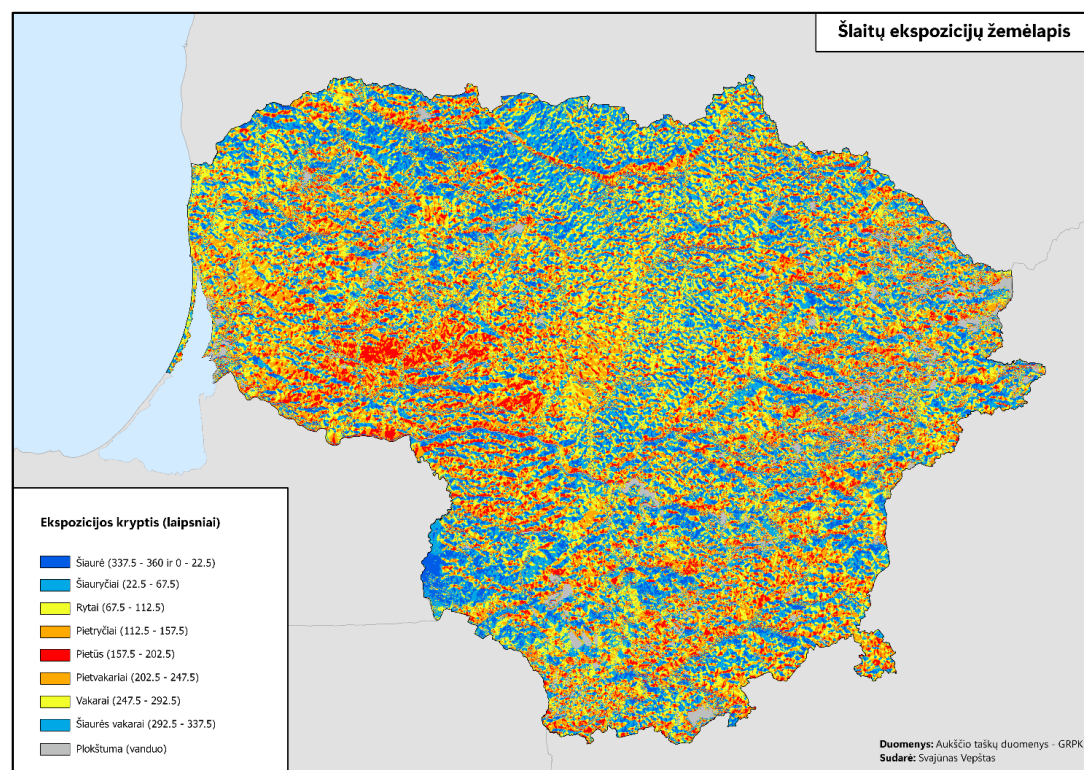


**4 pav. Skaitmeninio reljefo modelio žemėlapis**

Įvykdžius aukščio taškų interpoliavimą yra sukuriami šlaitų nuolydžių (žr. 5 pav.) ir ekspozicijų (žr. 6 pav.) sluoksniai. Iš išvestinio, skaitmeninio aukščių modelio yra apskaičiuojamas šlaitų nuolydis, kaip parametą nurodžius aukščių z-reikšmes (metrais), o rezultato gaunamo rezultato - nuolydžių sluoksnio vertės nustatomos laipsninėmis. Taip pat, apskaičiuojamos ir šlaitų ekspozicijos panaudojant tą patį skaitmeninį reljefo modelį.

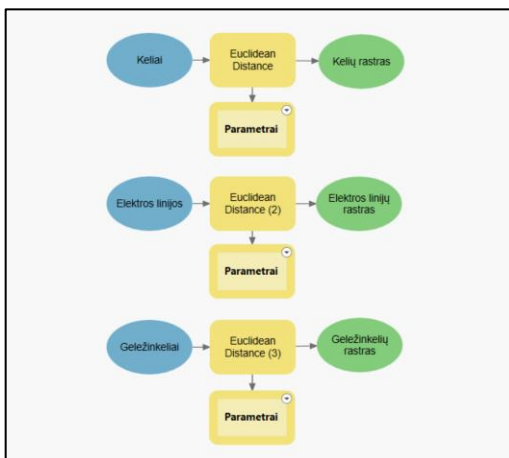


5 pav. Šlaitų nuolydžių žemėlapis

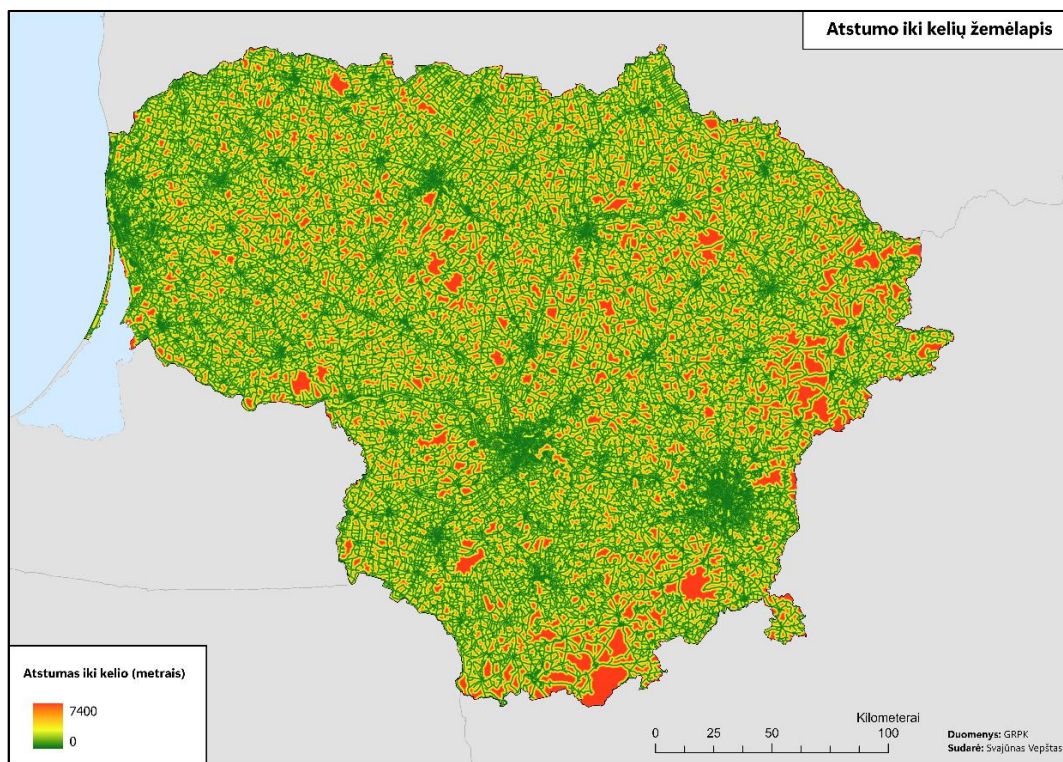


6 pav. Šlaitų ekspozicijų žemėlapis

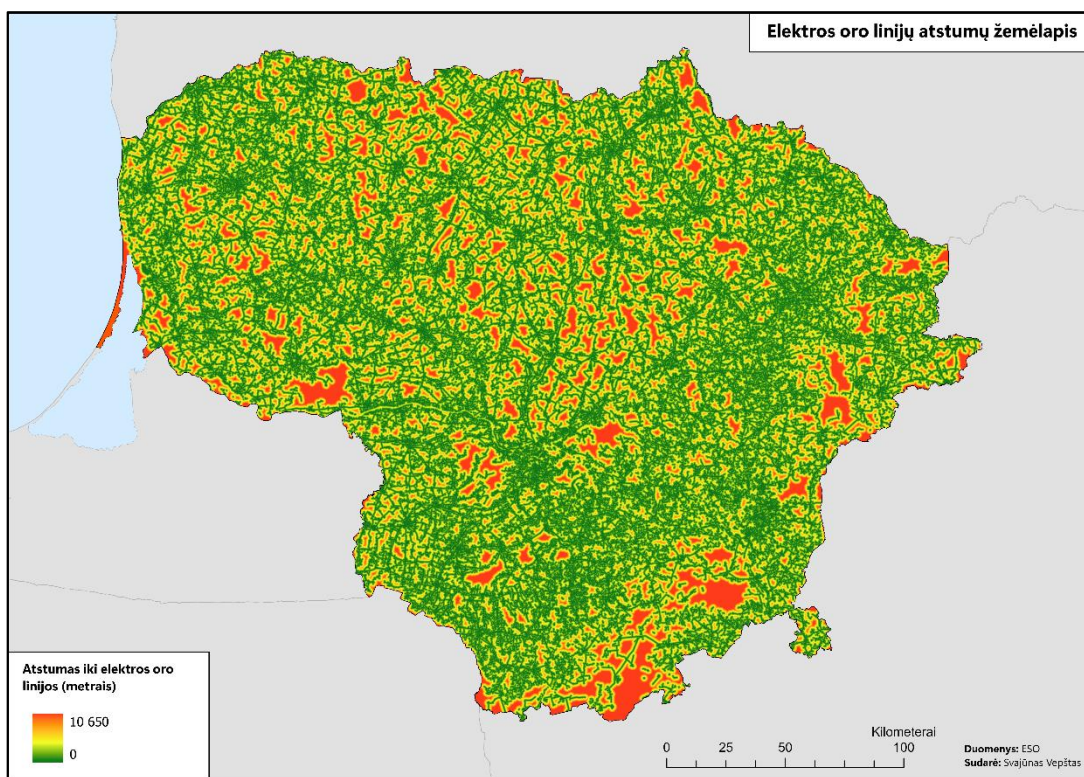
Toliau yra atliekama erdvinė analizė (žr. 7 pav.) keliams (žr. 8 pav.), elektros linijoms (žr. 9 pav.) ir geležinkeliams (žr. 10 pav.) panaudojant *Euclidean Distance* analizės įrankį, kuris apskaičiuoja kiekvieną nutolusią gardelę nuo artimiausio šaltinio (šiuo atveju linijų). Gardelės apskaičiuojamos jas suskirstant po 20 metrų, tai reiškia kiekviena nutolusi celė įgauna tam tikrą vidutinę atstumo reikšmę. Šie duomenys yra svarbūs vėliau apibrėžiant balus pagal distancijas kiekvieno tipo linijai.



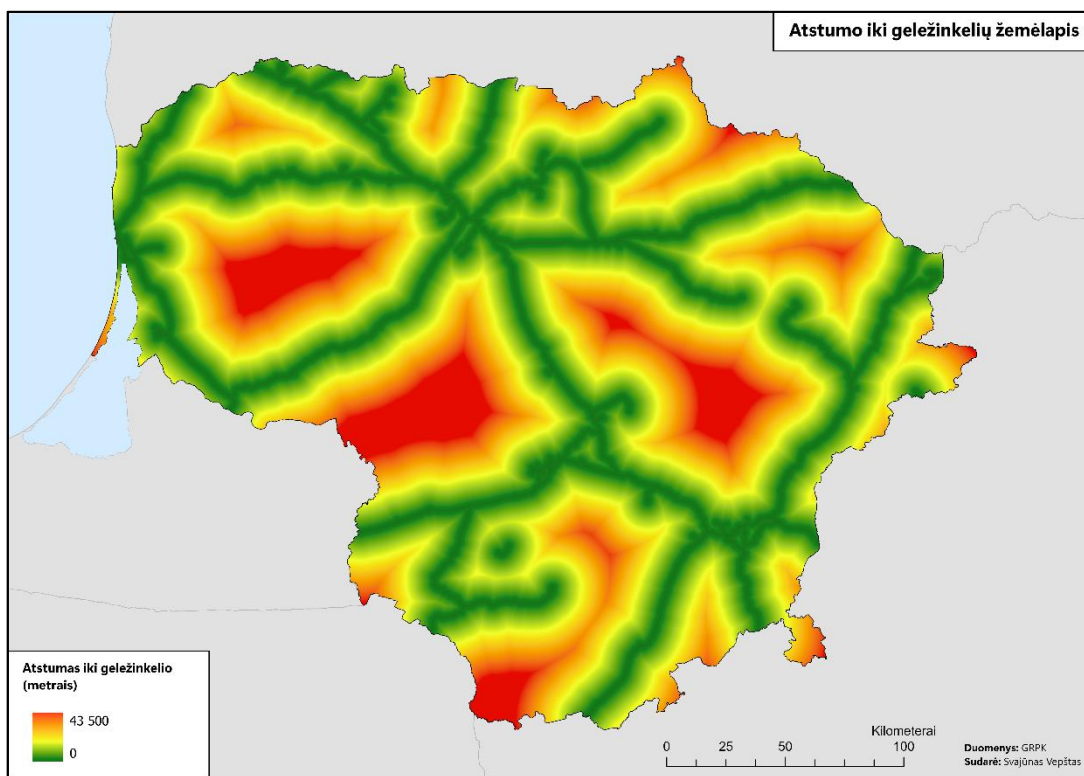
7 pav. Linijinių objektų atstumų apskaičiavimo modelis



8 pav. Atstumo iki kelių žemėlapis



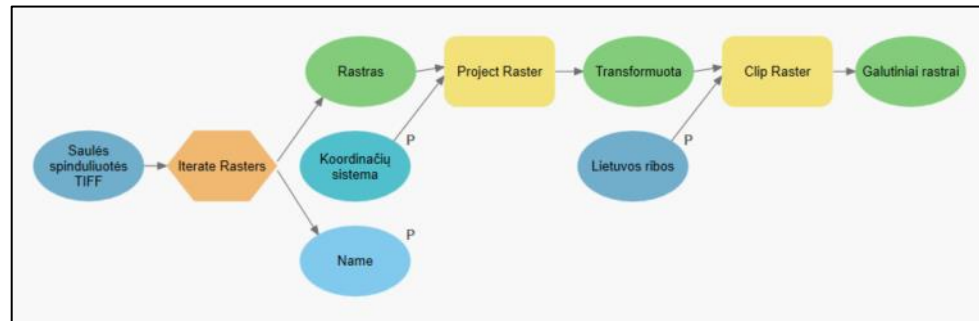
9 pav. Atstumo iki elektros linijų žemėlapis



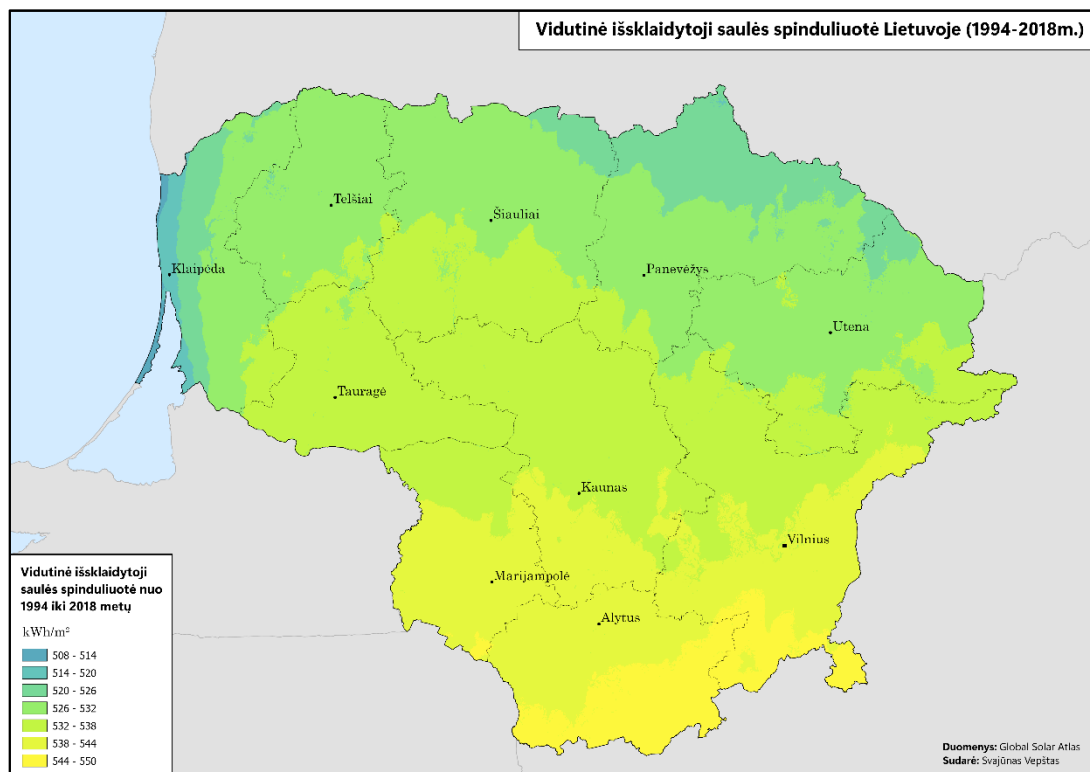
10 pav. Atstumo iki geležinkelių žemėlapis



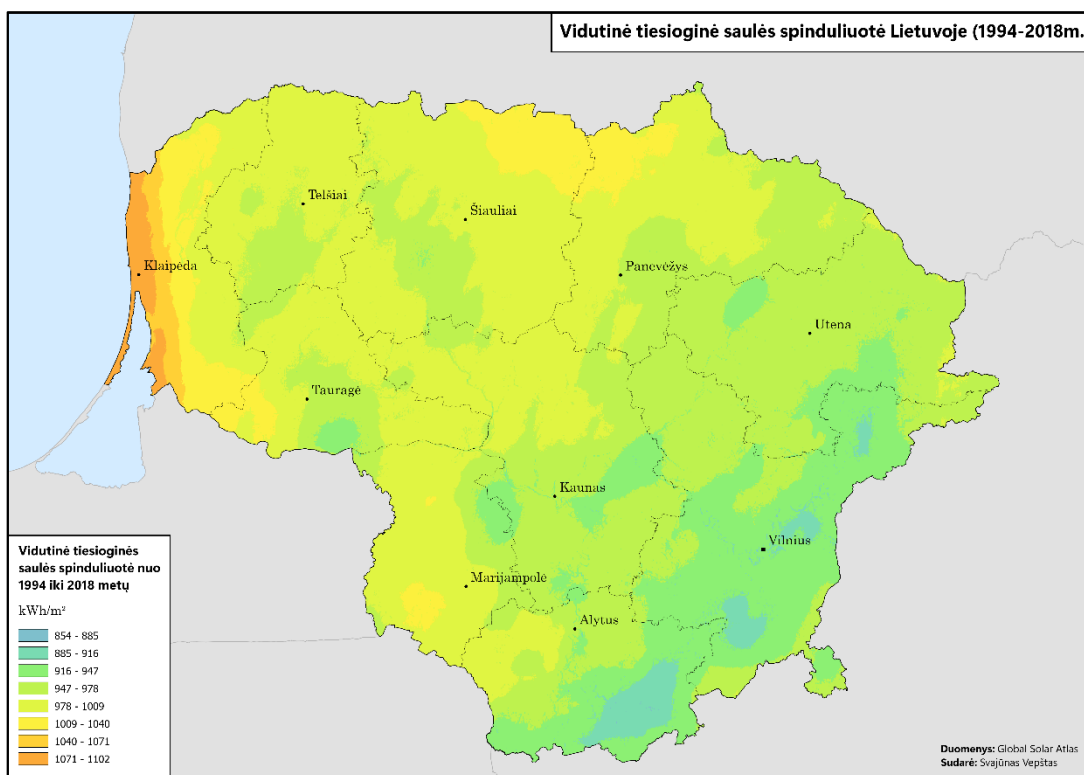
Saulės spinduliuotės duomenų rinkinio duomenims vykdoma iteracija, perkonvertuojant kiekvieno rastro (tiesioginė ir išsklaidytoji saulės spinduliuotės) geografines koordinates iš WGS-1984 į LKS-1994 (žr. 11 pav.), kadangi galutiniam tinkamumo modeliavimui yra reikalingos vienodos koordinatių sistemos. Taip pat, rastriniai sluoksniai yra apkerpami pagal Lietuvos teritoriją. Tuomet gaunami išsklaidytosios (žr. 12 pav.) ir tiesioginės (žr. 13 pav.) saulės spinduliuotės rastriniai sluoksniai.



**11 pav.** Saulės spinduliuotės sluoksnių paruošimas

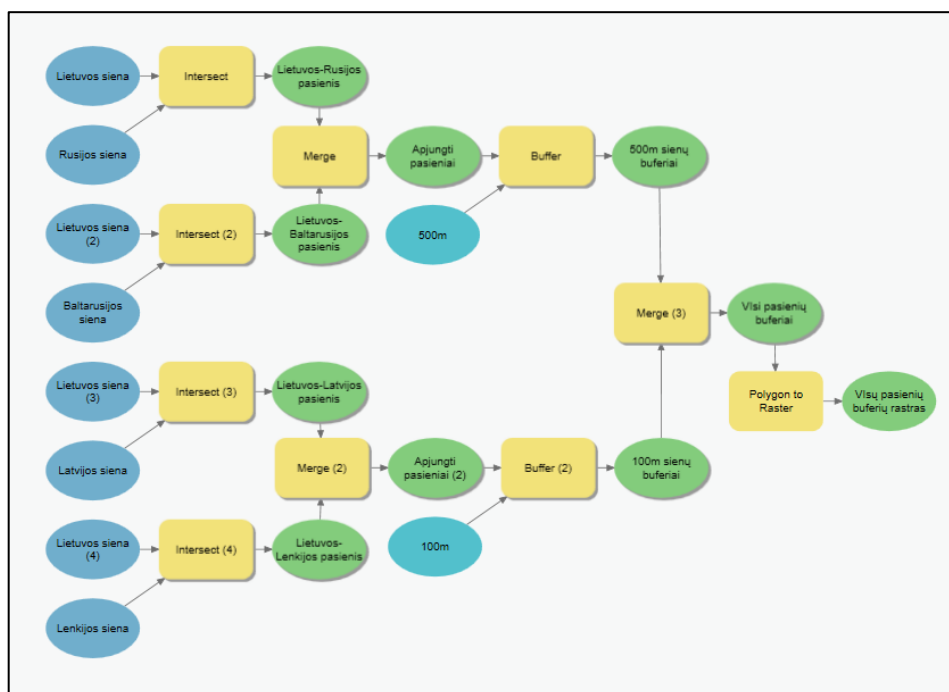


**12 pav.** Vidutinės išsklaidytosios saulės spinduliuotės žemėlapis (1994 – 2018 m.)



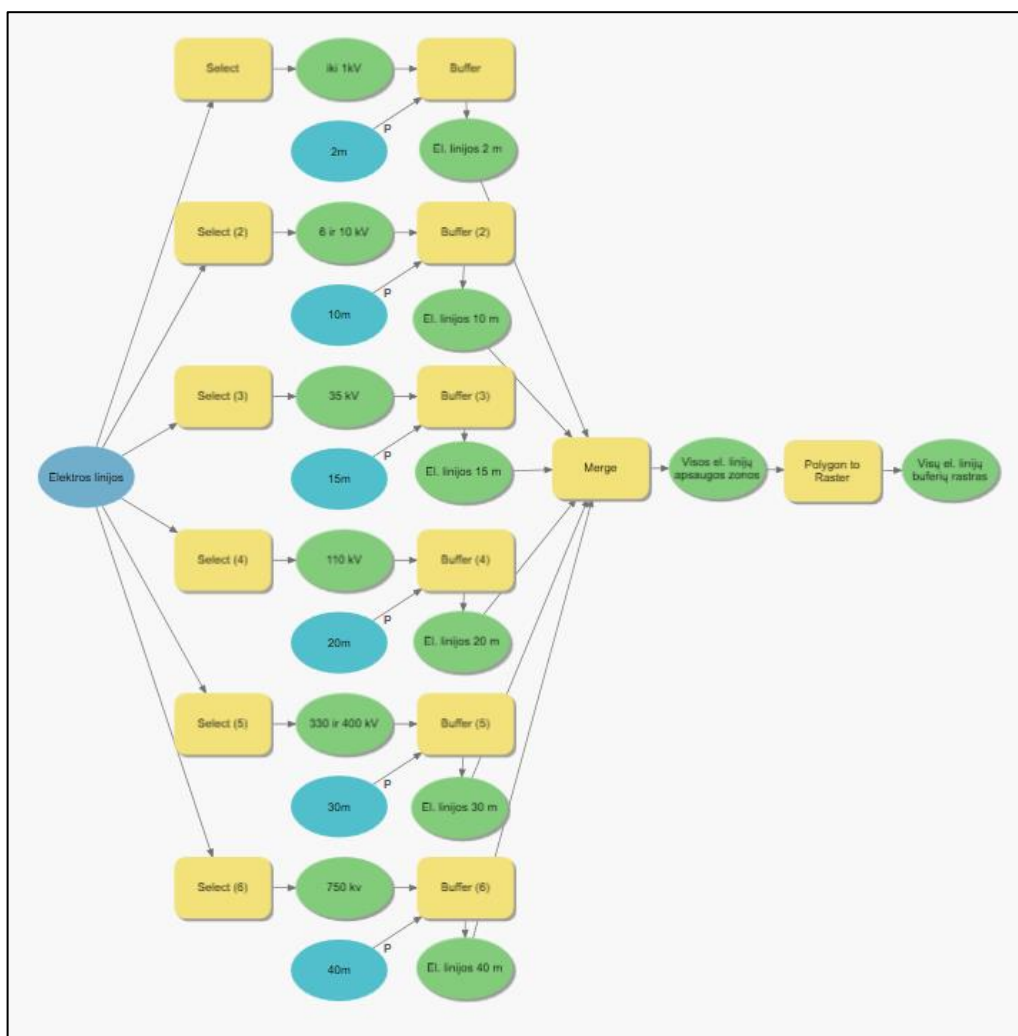
**13 pav.** Vidutinės tiesioginės saulės spinduliuotės žemėlapis (1994 – 2018 m.)

Toliau paruošiami apribojimo kriterijų duomenys. Pagal specialiąsias žemės naudojimo sąlygas yra numatyti tam tikri atstumai, kur apribojimas statinių statymas, įskaitant ir saulės elektrines. Todėl šalies pasieniams, elektros oro linijoms, keliams ir geležinkeliams yra kuriami papildomi buferiai, kurie nusakys saulės elektrinių vietų statymo apribojimą. Kiekvienam kriterijui yra sukuriami atskiri modeliai. Lietuvos pasienių atveju, yra reglamentuojamos skirtingos specialiosios zonos, todėl Latvijos – Lietuvos, ir Lenkijos – Lietuvos pasieniams yra sukuriami 100 metrų buferiai, o Rusijos – Lietuvos ir Baltarusijos – Lietuvos pasieniams sukuriami 500 metrų buferiai į Lietuvos pusę (žr. 14 pav.).



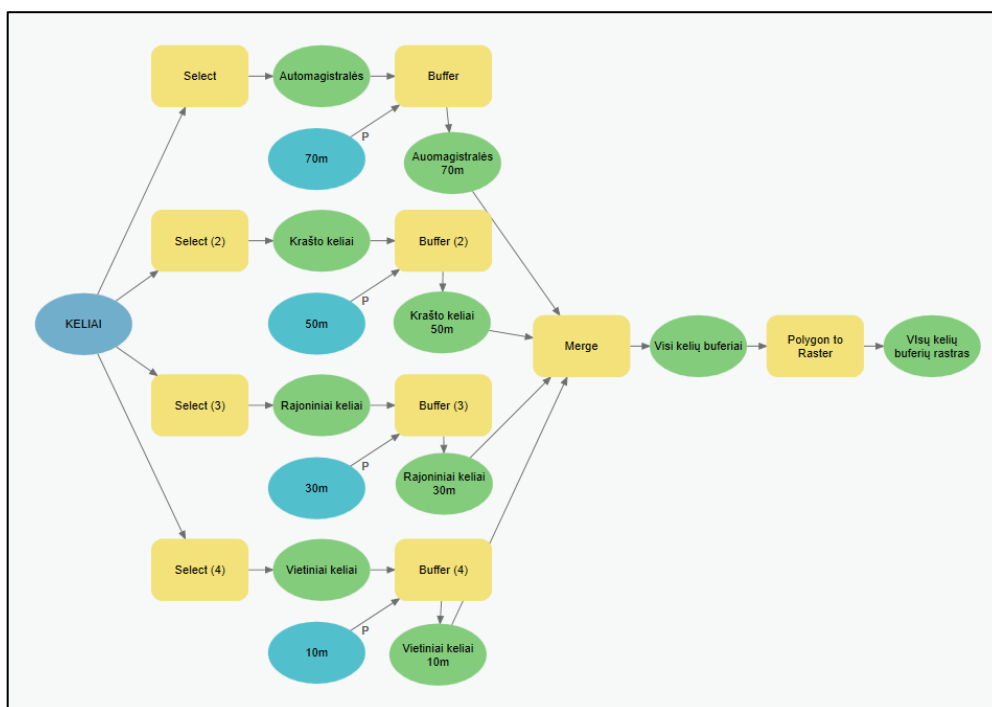
**14 pav.** Valstybių sienų buferių sluoksnio paruošimas

Kiekvienai elektros linijai įtampa apskaičiuojamos skirtingos buferių reikšmės, kurios yra nustatytos specialiose žemės naudojimo sąlygose. Sukuriami buferiai elektros oro linijoms: iki 1 kV – 2 metrai, 6 ir 10 kV – 10 metrų, 35 kV – 15 metrų, 110 kV – 20 metrų, 330 ir 400 kV – 30 metrų, 750 kV – 40 metrų. Buferiai kuriami į abi puses nuo linijos, pavyzdžiui, jei buferis yra 2 metrų, tokiu atveju į abi puses buferio skersmuo bus 4 metrai, tai taikoma visoms elektros oro linijoms (žr. 15 pav.).



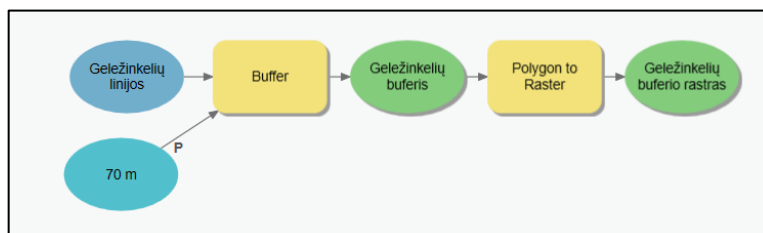
**15 pav.** Elektros oro linijų buferių sluoksnio paruošimas

Kiekvienam skirtingam kelio tipui apskaičiuojamos skirtingos buferių reikšmės. Sukuriami buferiai skirtingiems keliams: automagistralėms – 70 metrų, krašto keliams – 50 metrų, rajoniniams keliams – 30 metrų, vietiniams keliams – 10 metrų. Buferiai kuriami į abi puses nuo kelio linijos, pavyzdžiui, jei buferis yra 70 metrų, tokiu atveju į abi puses buferio skersmuo bus 140 metrų, tai taikoma visų kelių tipams (žr. 16 pav.)



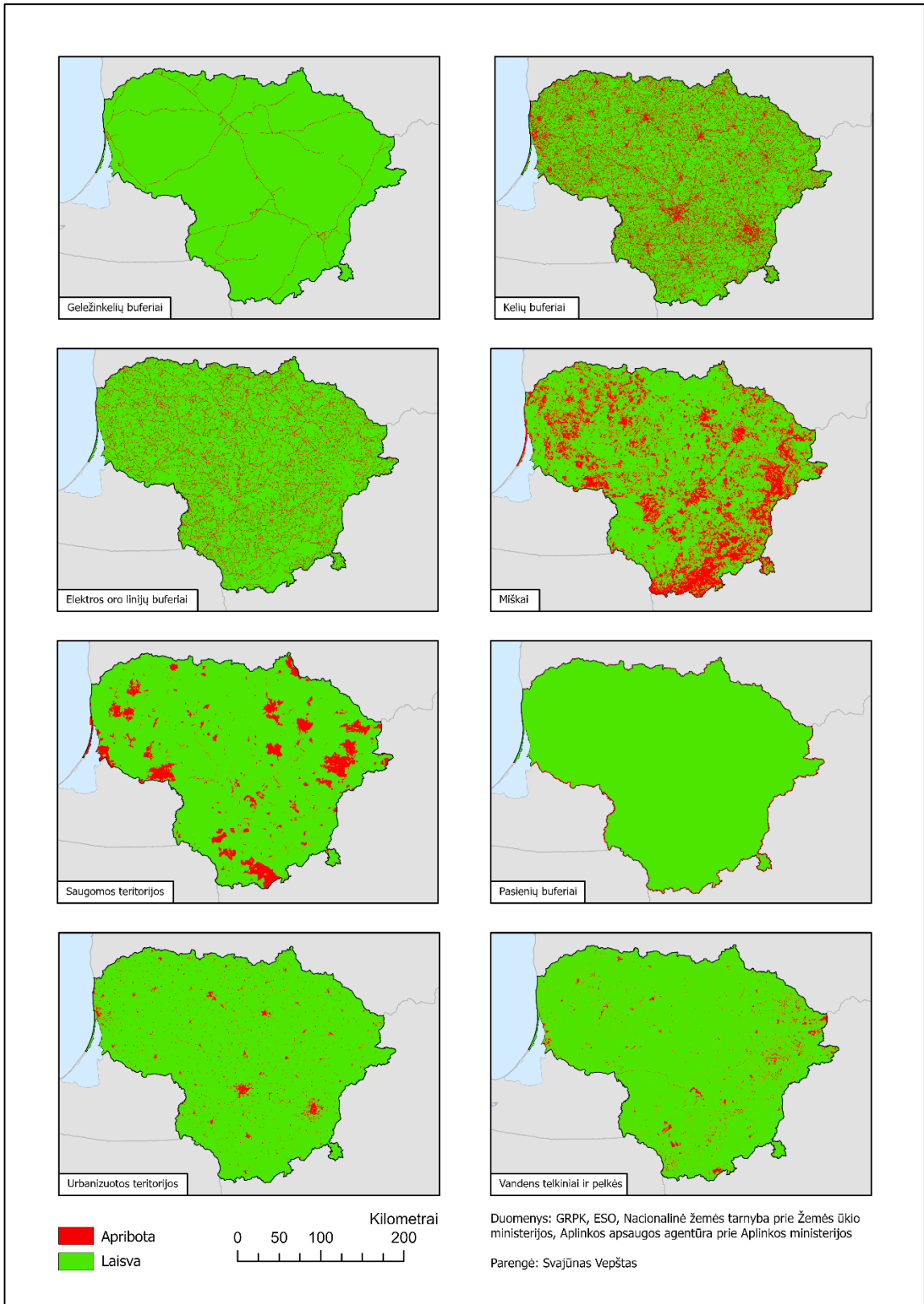
**16 pav.** Kelių buferių sluoksnio paruošimas

Taip pat buferiai sukuriama ir esantiems geležinkeliams. Visoms geležinkelių linijoms sukuriama 70 metrų buferiai į abi puses (žr. 17 pav.).



**17 pav.** Geležinkelių buferių sluoksnio paruošimas

Taip pat išrenkamos ir užstatytos teritorijos, miškai, saugomos teritorijos, vandens telkiniai ir pelkės bei jau pastatytos saulės elektrinės. Atrinkus šiuos duomenis, sluoksniai yra konvertuojami į rastrinius. Apribojimo kriterijai yra apjungiami į vieną sluoksnį, kuris galutiniame modelyje nusako, kuriose vietose teritorijos nėra tinkamos saulės elektrinių statymui, neatsižvelgiant į nustatymo kriterijus. Visiems apribojimo kriterijams parengiamas apibendrinantis žemėlapis (žr. 18 pav.).



18 pav. Apribojimo kriterijų žemėlapiai

### 2.3. Kriterijų atrinkimas ir svorių nustatymas

Atrenkant kriterijus jie suskirstomi į grupes – nustatymo ir apribojimo kriterijai. Nustatymo kriterijai nusako, kur yra tinkama statyti elektrines pagal tam tikrus parinktus parametrus. Nustatymo kriterijų grupei atrinkta (žr. 6 lentelę): tiesioginė saulės spinduliuotė, išsklaidytoji saulės spinduliuotė, šlaitų nuolydis, vidutinis žemės derlingumas, šlaitų ekspozicijos, atstumas iki elektros tinklo, atstumas iki kelių, atstumas iki geležinkelių.

**Lentelė 6.** Nustatymo kriterijai ir jų svoriai

Nr.	Nustatymo kriterijus
1.	Tiesioginė saulės spinduliuotė
2.	Išsklaidytoji saulės spinduliuotė
3.	Šlaitų nuolydis
4.	Ekspozicijos
5.	Vidutinis žemės derlingumas
6.	Atstumas iki elektros tinklo
7.	Atstumas iki kelių
8.	Atstumas iki geležinkelių

Apribojimo kriterijai nurodo, kur elektrinių nederėtų statyti. Apribojimams buvo atrinkti vandens telkiniai ir pelkės, miškai, skirtingo tipo keliai su buferinėmis reikšmėmis, geležinkeliai su buferinėmis reikšmėmis, jau pastatytos elektrinės su buferinėmis reikšmėmis, pasienio ruožai ir apstatytos teritorijos (žr. 7 lentelę).

**Lentelė 7.** Apribojimo kriterijai

Nr.	Apribojimo kriterijus
1.	Vandens telkiniai ir pelkės
2.	Miškai
3.	Saugomos teritorijos (rezervatai, draustiniai ir kt.)
4.	Keliai (skirtingi buferiai)
5.	Geležinkeliai (skirtingi buferiai)
6.	Pastatytos saulės elektrinės (buferis 100 m.)
7.	Esamos elektros linijos (skirtingi buferiai)
8.	Baltarusijos ir Rusijos pasieniai (500 m. buferis) Latvijos ir Lenkijos pasieniai (100 m. buferis)

9.	Apstатыtos teritorijos (urbanizuotos teritorijos, oro uostai, uostų teritorijos, sąvartynai, sporto aikštynai, kapinės, naudingųjų iškasenų zonos ir kt.)
----	---

Įvertinus skirtingų užsienio autorių tyrimus, tyrėjų taikomus metodus (1.3 poskyris), ir jų naudojamus kriterijus (1.4 poskyris) tiriamajai Lietuvos teritorijai, pasirenkami kriterijai, kurie bus vertinami nustatant tinkamas vietas saulės elektrinių statymui Lietuvoje. Išanalizavus mokslinę literatūrą, pastebėta, kad Saulės spinduliuotės kriterijus yra dažniausiai naudojamas tokio tipo darbuose. Siekiant nustatyti efektyviausią saulės energijos gamybą skirtingose vietovėse svarbu įvertinti tiesioginės Saulės spinduliuotės rodiklius bei išsklaidytosios Saulės spinduliuotės rodiklius, nes jie turi didelę įtaką norint sužinoti, koks Saulės spinduliuotės kiekis pasieks elektrines. Dar vienas svarbus kriterijus yra šlaitų ekspozicijos, tai parodo į kurią pasaulio kryptį orientuotas šlaitas. Šis kriterijus yra svarbus saulės spinduliuotės sklaidai nustatyti. Taip pat, svarbu paminėti ir šlaitų nuolydžius, kurie turi įtakos saulės elektrinių statymui ir elektrinių posvyriui. Vidutinis žemės derlingumas svarbus tuo, kad saulės elektrinių nerekomenduojama statyti derlingose žemėse. Teritorijos, kurios pasižymi turtingesniu dirvožemiu turėtų būti naudojamos žemės ūkiui, o mažiau derlingas vietoves galima išnaudoti saulės elektrinių statymui. Šis faktorius turi įtakos, todėl bendram saulės elektrinių parkų teritorijų nustatymui yra įtraukiamas į analizę.

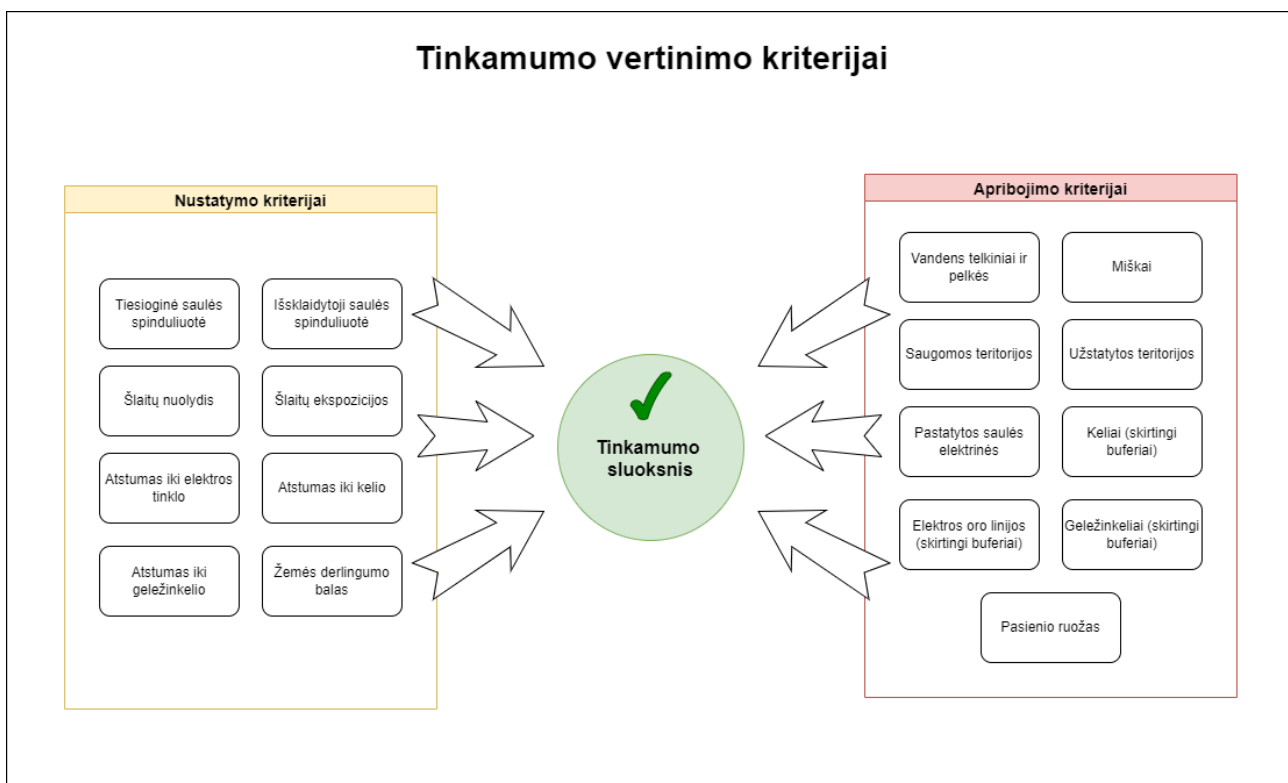
Atliekant tinkamiausių vietovių nustatymo tyrimus labai svarbi yra teisinė bazė, tai yra valstybės reglamentuojami įstatymai, apibrėžiantys specialiąsias žemės naudojimo sąlygas. Teisiniai dokumentai apibrėžia, kokiose šalies teritorijose statymo veikla yra ribojama, šiuo atveju saulės elektrinių kolektorių statymas. Taip pat, atsižvelgiama ir į apstatytas, urbanizuotas teritorijas, kapines, sąvartynus. Nustatomi ir jau pastatytų elektrinių plotai. Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatyme yra išskiriami atstumai iki elektros tinklų, kelių bei geležinkelių. Atstumas iki elektros tinklų yra svarbus veiksnys, kuris nusako kokių atstumu reikės prijungti naujai pastatytą saulės elektrinės parką. Tai daugiausiai yra susiję su išlaidomis bei sudėtingumu tiesiant naują elektros liniją, jei ji kerta privačius sklypus ar saugomas zonas. Taip pat, elektros oro linijos patenka į apsaugos zonas, todėl papildomai skirtingų įtampų linijoms sukuriama skirtingi buferiai. Šie buferiai kriterijų sistemoje yra apribojantys, tai reiškia tose vietose statyti elektrinių nėra galima. Atstumas iki kelių bendroje kriterijų sistemoje yra turintis įtakos veiksnys. Kuo arčiau kelio yra planuojamos elektrinės teritorija, tuo paprasčiau ją pastatyti. Tai yra ne tik su statymo darbais, bet ir su nuolatiniu saulės elektrinės parko eksploatavimu, todėl svarbu, kad parko teritorija nebūtų per daug nutolusi nuo kelių tinklo. Šis kriterijus taip pat yra ir apribojimo veiksnys, kadangi keliai patenka į apsaugos zonas, todėl



priklausomai nuo kelio tipo, šalia kelio tam tikru atstumu elektrinės statyti nėra galimybės. Atstumas iki geležinkelių, taip pat, kaip ir atstumas iki kelių, yra apribojantis ir nustatantis kriterijus.

Pasirenkami kriterijai tinkamiausių vietų nustatymui skiriasi priklausomai nuo šalies gamtinės situacijos, reljefo, temperatūros, todėl nevisi ankstesniuose tyrimuose naudoti kriterijai gali būti pritaikyti Lietuvos teritorijos vertinimui. Aukštis virš jūros lygio bendroje kriterijų vertinimo sistemoje neturi reikšmės, kadangi Lietuvoje maksimalus aukštis virš jūros lygio yra 293,84 m. - Aukštojo kalnas, o Lietuvos reljefo vidutinis aukštis virš jūros lygio siekia vos 100 metrų. Išanalizuotoje literatūroje galima pastebėti, jog į aukštį virš jūros lygio atsižvelgiama tuomet, kai šalies ar tiriamos teritorijos bendras reljefas yra kalnuotas. Lietuvoje palyginti su užsienio šalimis reljefas yra ganėtinai neišraiškingas, todėl šis kriterijus į vertinimo sistemą nėra įtraukiamas. Temperatūros pasiskirstymas yra ganėtinai tolygus visoje Lietuvoje, o atsižvelgiant į rekomenduojamą temperatūrą saulės elektrinių parkams statyti, visa Lietuvos teritorija patenka į rekomenduojamą intervalą. Vidutinė metinė oro temperatūra labiau išsiskiria tik pajūrio regione, tačiau tai turi per mažai įtakos bendrai kriterijų visumai, kad kriterijus būtų įtraukiamas į tyrimą. Atstumas iki gyvenamųjų teritorijų bendroje visumoje turi labai mažai įtakos, kadangi Lietuvos teritorijos apgyvendinimas yra ganėtinai vientisas ir tankus. Taip pat nėra rečiau apgyvendintų teritorijų, kaip užsienio valstybėse, kuriose yra sunkiau pasiekiamų, kalnuotų vietovių. Literatūroje dažniausiai minima, kad šis kriterijus yra svarbus dėl pasiekiamumo ir priežiūros, tačiau Lietuvoje tai beveik neturi įtakos dėl nedidelių distancijų ir tolygaus gyventojų pasiskirstymo.

Darbe didžiausias dėmesys yra skiriamas geografiniams faktoriams, tai yra atstumas iki tam tikrų objektų, ir apribojimo teritorijos, kurios nusako saulės elektrinių statymui netinkamas vietas. Ekonominiai aspektai į tiriamąją darbo aprėptį nėra įtraukiami, nes jie yra svarbūs institucijoms bei verslininkams, kurie planuoja įsigyti saulės elektrinių parką. Šiame tyrime daugiausiai naudojami techniniai bei aplinkos kriterijai.



**19 pav.** Atrinkti kriterijai

Kriterijų svoriai nustatomi pasitelkiant porinį palyginimo (*angl. Pairwise Comparison*) metodą. Šis metodas yra naudojamas, kuomet kriterijus yra sudėtinga sureitinguoti pagal svarbą ir suteikti jiems svorius. Tokiu atveju situaciją yra paprasčiau įvertinti, kuomet kriterijai palyginami poromis, po du, nustatant, kuris kriterijus kiekvienoje kriterijų poroje yra svarbesnis, todėl šiuo atveju kriterijų svoriams nustatyti parinktas porinio palyginimo metodas.

Remiantis šiuo metodu, pirmiausiai yra surašomi visi galimi kriterijai poromis. Kadangi nustatymo kriterijų yra 8, kiekvienas sugrupuojamas su vėliau toje pačioje poroje nepasikartojančiu kriterijumi. Šiuo atveju viso nepasikartojančių porų – 28 (žr. 8 lentelę). Lentelėje nusakoma, kuris iš dviejų esančių kriterijų yra svarbesnis. Pavyzdžiui, tiesioginė saulės spinduliuotė yra svarbesnė už šlaitų polinkį ( $\text{Tiesioginė saulės spinduliuotė} > \text{Šlaitų polinkis}$ ), ir taip pat nustatomas balas, kiek vienas kriterijus svarbesnis už kitą, devynių balų skalėje. AHP skalėje: 1 – vienodos svarbos, 3 – vidutinės svarbos, 5 – didelės svarbos, 7 – labai didelės svarbos, 9 – itin didelės svarbos (2, 4, 6, 8 – tarpinės reikšmės).

**Lentelė 8. Kriterijų porų palyginimas**

Nr.	Kriterijų palyginimas			1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Tiesioginė saulės spinduliuotė	>	Šlaitų polinkis			x						
2.	Tiesioginė saulės spinduliuotė	>	Ekspozicijos			x						
3.	Tiesioginė saulės spinduliuotė	>	Vidutinis žemės derlingumas							x		
4.	Tiesioginė saulės spinduliuotė	>	Atstumas iki elektros tinklo		x							
5.	Tiesioginė saulės spinduliuotė	>	Atstumas iki kelių			x						
6.	Tiesioginė saulės spinduliuotė	>	Atstumas iki geležinkelių								x	
7.	Tiesioginė saulės spinduliuotė	>	Išsklaidytoji saulės spinduliuotė			x						
8.	Šlaitų polinkis	<	Ekspozicijos			x						
9.	Šlaitų polinkis	>	Vidutinis žemės derlingumas					x				
10.	Šlaitų polinkis	=	Atstumas iki elektros tinklo	x								
11.	Šlaitų polinkis	=	Atstumas iki kelių	x								
12.	Šlaitų polinkis	>	Atstumas iki geležinkelių					x				
13.	Šlaitų polinkis	=	Išsklaidytoji saulės spinduliuotė	x								
14.	Ekspozicijos	>	Vidutinis žemės derlingumas			x						
15.	Ekspozicijos	=	Atstumas iki elektros tinklo	x								
16.	Ekspozicijos	>	Atstumas iki kelių			x						
17.	Ekspozicijos	>	Atstumas iki geležinkelių								x	
18.	Ekspozicijos	=	Išsklaidytoji saulės spinduliuotė	x								
19.	Vidutinis žemės derlingumas	<	Atstumas iki elektros tinklo					x				
20.	Vidutinis žemės derlingumas	>	Atstumas iki kelių									
21.	Vidutinis žemės derlingumas	<	Atstumas iki geležinkelių		x							
22.	Vidutinis žemės derlingumas	>	Išsklaidytoji saulės spinduliuotė		x							
23.	Atstumas iki elektros tinklo	>	Atstumas iki kelių		x							
24.	Atstumas iki elektros tinklo	>	Atstumas iki geležinkelių								x	
25.	Atstumas iki elektros tinklo	>	Išsklaidytoji saulės spinduliuotė			x						
26.	Atstumas iki kelių	>	Atstumas iki geležinkelių				x					
27.	Atstumas iki kelių	=	Išsklaidytoji saulės spinduliuotė	x								
28.	Atstumas iki geležinkelių	<	Išsklaidytoji saulės spinduliuotė					x				

Palyginus kiekvieną kriterijų porą yra gaunama santykinė matrica, kurioje:

- K1 - Tiesioginė saulės spinduliuotė
- K2 - Šlaitų polinkis
- K3 - Ekspozicijos
- K4 - Vidutinis žemės derlingumas
- K5 - Atstumas iki elektros tinklo
- K6 - Atstumas iki kelių
- K7 - Atstumas iki geležinkelių
- K8 - Išsklaidytoji saulės spinduliuotė

**Lentelė 9.** Kriterijų vertinimo matrica

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
K1	1	3.00	3.00	7.00	2.00	3.00	8.00	3.00
K2	0.33	1	0.33	5.00	1.00	1.00	5.00	1.00
K3	0.33	3.00	1	3.00	1.00	3.00	8.00	1.00
K4	0.14	0.20	0.33	1	0.20	1.00	3.00	0.33
K5	0.50	1.00	1.00	5.00	1	4.00	8.00	3.00
K6	0.33	1.00	0.33	1.00	0.25	1	4.00	1.00
K7	0.12	0.20	0.12	0.33	0.12	0.25	1	0.20
K8	0.33	1.00	1.00	3.00	0.33	1.00	5.00	1

Poriniams palyginimams yra apskaičiuojamas suderinamumo koeficientas (*angl. consistency ratio - CR*). Jei CR reikšmė yra lygi arba mažesnė už 10%, tokie poriniai palyginimai laikomi tinkamais. Jeigu CR yra didesnis nei 10%, tokie porų palyginimai turėtų būti kartojami, tam kad būtų išlyginti vertinimo nesuderinamumą. Atlikus 10 bandymų, suderinamumo koeficientas vertė nustatyta 4.5 %.

Sudarius kriterijų vertinimo matricą, buvo apskaičiuoti svorių koeficientai. Viso svorių sistemą sudaro 100 %. Apskaičiavus koeficientus, kriterijai surikiuojami pagal svarbą (žr. 10 lentelę). Svarbiausias (1) kriterijus visų kitų atžvilgiu yra tiesioginė saulės spinduliuotė 29.7 %, (2) atstumas iki kelio – 18.1 %, (3) ekspozicijos – 16.7 %, (4) šlaitų polinkis – 11.3 %, (5) išsklaidytoji saulės spinduliuotė – 10.1 %, (6) atstumas iki kelių – 7.5 %, (7) vidutinis žemės derlingumas – 4.5 % ir

mažiausiai svarbiu kriterijumi (8) paskaičiuota, atstumas iki geležinkelių, kurio svoris bendroje vertinimo sistemoje siekė vos 2.1 %.

**Lentelė 10.** Nustatyti kriterijų svoriai

Kriterijus		Svoris	Vieta pagal svorį
K1	Tiesioginė saulės spinduliuotė	29.7%	1
K5	Atstumas iki elektros tinklo	18.1%	2
K3	Ekspozicijos	16.7%	3
K2	Šlaitų polinkis	11.3%	4
K8	Išsklaidytoji saulės spinduliuotė	10.1%	5
K6	Atstumas iki kelių	7.5%	6
K4	Vidutinis žemės derlingumas	4.5%	7
K7	Atstumas iki geležinkelių	2.1%	8

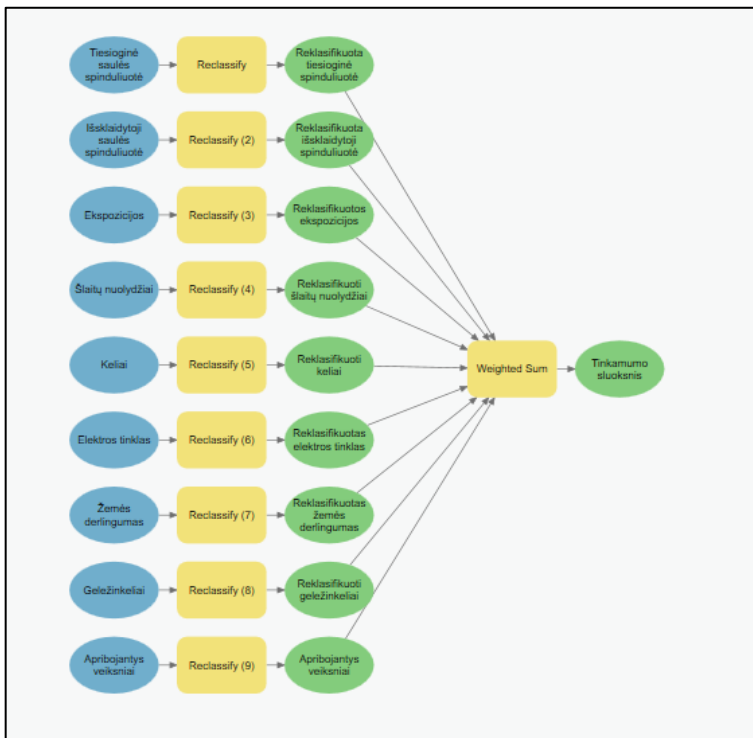
## 2.4. Potencialių saulės elektrinių teritorijų nustatymas

Atlikus kriterijų analizę ir apdorojus visus reikiamus duomenis, sluoksniai yra perklasifikuojami pagal nustatytas reikšmes (žr. 11 lentelę).

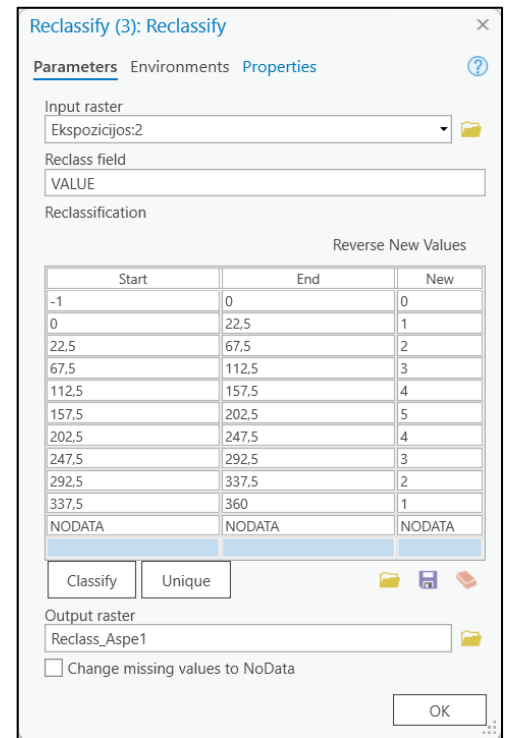
**Lentelė 11.** Nustatymo kriterijai ir jų parametrų vertės

Nr.	Nustatymo kriterijus	Reikšmė	Vertė
1.	Tiesioginė saulės spinduliuotė	1102 - 1040 kWh/m <sup>2</sup>	5
		1040 - 978 kWh/m <sup>2</sup>	4
		978 - 916 kWh/m <sup>2</sup>	3
		916 - 855 kWh/m <sup>2</sup>	2
		< 855 kWh/m <sup>2</sup>	1
2.	Išsklaidytoji saulės spinduliuotė	550 - 538 kWh/m <sup>2</sup>	3
		538 - 520 kWh/m <sup>2</sup>	2
		520 - 508 kWh/m <sup>2</sup>	1
3.	Šlaitų polinkis	0 - 1 %	5
		1 - 2 %	4
		2 - 3 %	3
		3 - 5 %	2
		< 5 %	1
4.	Ekspozicijos	Pietūs (157.5° - 202.5°)	5
		Pietryčiai (112.5° - 157.5°) ir pietvakariai (202.5° - 247.5°)	4
		Rytai (67.5° - 112.5°) ir vakarai (247.5° - 292.5°)	3
		Šiauryciai (22.5° - 67.5°) ir šiaurės vakarai (292.5° - 337.5°)	2
		Šiaurė (0 - 22.5° ir 337.5° - 360.0°)	1
5.	Vidutinis žemės derlingumas	> 32.0	5
		32.0 - 37.0	4
		37.0 - 42.1	3
		42.1 - 47.1	2
		< 47.1	1
6.	Atstumas iki elektros tinklo	0 - 100 m.	5
		100 - 200 m.	4
		200 - 500 m.	3
		500 - 2000 m.	2
		< 2000 m.	1
7.	Atstumas iki kelių	0 - 500 m.	5
		500 - 1000 m.	4
		1000 - 2000 m.	3
		2000 - 5000 m.	2
		< 5000 m.	1
8.	Atstumas iki geležinkelių	0 - 1000 m	3
		1000 - 5000 m.	2
		< 5000 m.	1

Sudaromas bendras GIS modelis, kuriame reikšmės perklasifikuojamos pagal pateiktą lentelę. Kiekvienam nustatymo kriterijaus reikšmių intervalui suteikiama apibendrinanti vertė. Pavyzdžiui, tiesioginės saulės spinduliuotės 1102 - 1040 kWh/m<sup>2</sup> intervalui suteikiami 5 balai. Tai reiškia, kad šis intervalas bendrame kriterijaus vertinimo lygmenyje turės daugiausiai įtakos. Tiesioginei saulės spinduliuotės teritorijoms, kurių vertės mažesnės nei 855 kWh/m<sup>2</sup> suteikiamas 1 balas, tai reiškia, kad šio kriterijaus vertinimo skalėje bus prasčiausias, tačiau vis tiek tinkamas. Tokiu principu pagal sudarytą lentelę perklasifikuojamos visų kriterijų reikšmės (žr. 20 ir 21 pav.).



20 pav. Tinkamumo modelis



21 pav. Reikšmių perskaičiavimas

Kuomet perklasifikuojamos visos reikšmės, sekančiame etape priskiriami kriterijų svoriai, kiekvienam parinktam kriterijui, pagal prieš tai paskaičiuotus svorius. Suvedus visus reikiamus parametrus ir paleidus modelį, gaunamas saulės elektrinių statymo teritorijų tinkamumo modelis.

### 3. TYRIMO REZULTATAI

#### 3.1. Saulės elektrinių teritorijos Lietuvoje

Ištyrus visus apribojimo kriterijus, juos apdorojus ir perdengus į vieną sluoksnį buvo nustatytas netinkamų teritorijų saulės elektrinėms statyti plotas. Į šias netinkamas teritorijas patenka visi prieš tai išvardinti apribojimo kriterijai. Apskaičiuota, kad iš viso netinkamų statyti teritorijų Lietuvoje yra 22 122 km<sup>2</sup>. Tai reiškia, jog tinkamų teritorijų saulės elektrinių parkų statymui lieka 43 178 km<sup>2</sup>, o tai yra 66.12 % visos šalies teritorijos, 33.88 % yra netinkama. Galima pastebėti, jog vertinant apribojimo kriterijus daugiausiai netinkamų teritorijų saulės elektrinėms statyti yra susitelkusių šalies pietinėje, taip pat pietvakarinėse dalyse (žr. 22 pav.). Kiek mažiau, tačiau taip pat išsiskiria ir šalies vakarinė dalis.

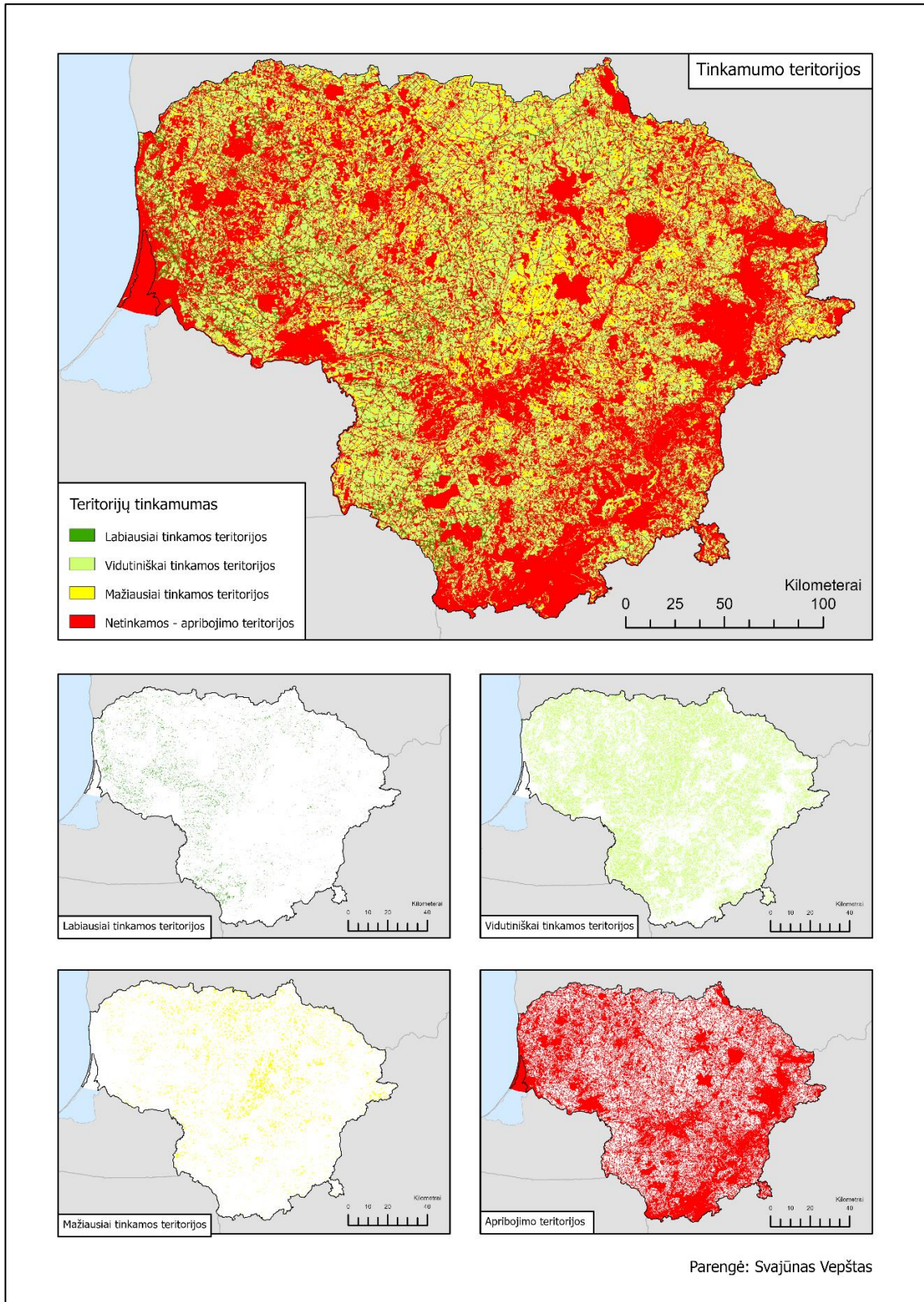
Labiausiai tinkamos teritorijos elektrinių statymui išsiskiria šalies vakarinėje dalyje (tamsiai žalia spalva). Taip pat, didesnė koncentracija teritorijų yra ir šalies pietvakarių ir pietų teritorijose. Vidurio Lietuvoje, tokių teritorijų yra mažiau.

Vidutiniškai tinkamos teritorijos saulės elektrinių statymui pasiskirsčiusios visoje šalyje. Didesnę tokių teritorijų koncentraciją galima pastebėti centrinėje šalies dalyje, tačiau palyginti šis skirtumas nėra didelis. Mažiausiai vidutinio tinkamumo zonų yra šalies rytinėje ir pietrytinėje dalyse, tačiau tai yra susiję su saugomomis teritorijomis, miškais bei kitais apribojimo kriterijais.

Mažiausiai tinkamos teritorijos išsidėsčiusios šalies vidurio bei šiaurinėje dalyse. Šios teritorijos yra labiau derlingos. Dar vienas lemiantis faktorius yra tai, kad šalies šiaurinėje dalyje tiesioginės saulės spinduliuotės kiekis yra mažesnis. Galima pastebėti, kad Lietuvos vakarinėje pusėje mažiausiai tinkamų teritorijų dalis yra mažesnė.

Apibendrinant gautus rezultatus, galima teigti, jog labiausiai tinkamų teritorijų dalis yra mažiausia, vidutiniškai tinkamų teritorijų dalis yra didžiausia. O didžiausią šalies plotą apima netinkamos teritorijos saulės elektrinėms statyti, tai yra apribojimo teritorijos: vandens telkiniai ir pelkės, miškai, skirtingos tipo keliai su buferinėmis reikšmėmis, geležinkeliai su buferinėmis reikšmėmis, jau pastatytos elektrinės su buferinėmis reikšmėmis, pasienio ruožai ir apstatytos teritorijos.





**22 pav.** Saulės elektrinių statymo tinkamumo teritorijos

### 3.2. Saulės elektrinių teritorijų pasiskirstymas savivaldybėmis

Gauti tyrimo rezultatai savivaldybėmis padeda geriau suprasti, kuriose Lietuvos teritorijose yra didesnis potencialas saulės elektrinių statymui. Apskaičiuota kiek kokioje savivaldybėje yra labiausiai tinkamų teritorijų skirtų saulės elektrinių statymui (žr. 12 lentelė). Vertinant procentinę tinkamo statyti saulės elektrines ploto išraišką, galima teigti, jog tinkamiausios yra Lietuvos pietvakariuose-vakaruose esančios savivaldybės. Labiausiai išsiskyrė Kalvarijos savivaldybė - 25.06 % teritorijos savivaldybėje yra palankiausia elektrinių statymui. Taip pat, šiek tiek mažesnes, tačiau palyginti panašus santykinis tinkamas plotas išsiskyrė ir Šilutės – 24.05 % ir Kretingos 22.39 % rajonų savivaldybėse. Toliau pagal tinkamumą seka Šilalės, Pagėgių, Plungės ir Jurbarko rajonų savivaldybės. Galima pastebėti, jog dauguma savivaldybių yra šalies vakarinėje dalyje. Taigi, tinkamiausi saulės elektrinių statymo plotai siejami su tiesioginės saulės spinduliuotės intensyvumu, tai galima pastebėti tiesioginės saulės spinduliuotės žemėlapyje (žr. 1.3 poskyrio, 13 pav.).

Analizuojant mažiausiai tinkamas teritorijas, labiausiai išsiskyrė Neringos savivaldybė, kur bet kokie pastatų statymai, o šiuo atveju ir elektrinių yra apriboti. Taip pat, mažiau labiausiai tinkamų teritorijų yra ir Visagino savivaldybėje - 0.54 %, Kauno m. savivaldybėje – 0.54 %, Kaišiadorių rajono savivaldybėje – 1.00 %. Toliau seka Jonavos, Ukmergės rajonų, ir Elektrėnų savivaldybės. Mažiau labiausiai tinkamų teritorijų yra šalies vakaruose ir centrinėje dalyje. Tai siejama su mažesniu saulės spinduliuotės kiekiu, tankesniu apstatymu, šlaitų nuolydžiais ir ekspozicijomis. Taip pat, mažiau tinkamas teritorijas riboja ir saugomos teritorijos, miškai bei vandens telkiniai.

Pastebėta, kad miestuose, ar arti jų tinkamumo procentas yra didesnis, taip yra todėl, kad netoli urbanizuotų vietovių, šalia gyvenviečių yra geriau išvystyta infrastruktūra, tai yra tankesnis elektros linijų ir kelių tinklas.

Nustatyta, kad labiausiai tinkamų teritorijų visų 60 savivaldybių vidurkis yra 7.47 %. Palyginti šį skaičių su apribotomis teritorijomis, galima pastebėti, jog labiausiai tinkamų teritorijų yra ko ne 4 kartus mažiau, nei teritorijų kuriose statymas yra visiškai apribotas gamtinių ar antropogeninių faktorių.

**Lentelė 12. Labiausiai tinkamų teritorijų statyti statistika savivaldybėmis**

Nr.	Savivaldybės pavadinimas	Savivaldybės plotas (km <sup>2</sup> )	Labiausiai tinkamas statyti plotas (km <sup>2</sup> )	Procentai nuo savivaldybės
1.	Kalvarijos sav.	44026.35	11032.01	25.06
2.	Šilutės r. sav.	168241.15	40460.04	24.05
3.	Kretingos r. sav.	98929.66	22151.29	22.39
4.	Šilalės r. sav.	118804.96	21770.00	18.32
5.	Pagėgių sav.	53542.02	9759.37	18.23
6.	Plungės r. sav.	110549.62	18275.75	16.53
7.	Jurbarko r. sav.	150615.05	24182.16	16.06
8.	Palangos m. sav.	7910.99	1215.60	15.37
9.	Lazdijų r. sav.	130609.18	19965.87	15.29
10.	Raseinių r. sav.	157288.55	23471.86	14.92
11.	Telšių r. sav.	143858.22	19205.99	13.35
12.	Šakių r. sav.	145374.98	18560.71	12.77
13.	Tauragės r. sav.	117866.45	14522.99	12.32
14.	Skuodo r. sav.	91095.00	9701.91	10.65
15.	Klaipėdos m. sav.	9795.16	966.28	9.86
16.	Klaipėdos r. sav.	132336.20	12838.83	9.70
17.	Vilkaviškio r. sav.	126201.08	11326.36	8.97
18.	Marijampolės sav.	75485.95	6753.15	8.95
19.	Kelmės r. sav.	170463.68	14616.18	8.57
20.	Radviliškio r. sav.	163404.13	13890.51	8.50
21.	Kėdainių r. sav.	167662.11	13943.26	8.32
22.	Mažeikių r. sav.	121957.75	10051.53	8.24
23.	Biržų r. sav.	147578.78	11705.30	7.93
24.	Pasvalio r. sav.	128886.75	9930.08	7.70
25.	Alytaus r. sav.	140339.95	10670.72	7.60
26.	Akmenės r. sav.	84378.79	5626.45	6.67
27.	Šiaulių m. sav.	8109.76	513.90	6.34
28.	Kupiškio r. sav.	108007.71	6459.46	5.98
29.	Pakruojo r. sav.	131520.11	7148.29	5.44
30.	Panevėžio r. sav.	217707.47	10454.09	4.80
31.	Rietavo sav.	58561.79	2719.89	4.64
32.	Joniškio r. sav.	115162.67	5084.57	4.42
33.	Vilniaus m. sav.	40045.30	1758.61	4.39
34.	Šiaulių r. sav.	180688.18	7774.86	4.30
35.	Molėtų r. sav.	136682.61	5819.15	4.26
36.	Trakų r. sav.	120732.74	5132.96	4.25
37.	Prienų r. sav.	103252.54	4202.49	4.07
38.	Alytaus m. sav.	3943.47	155.44	3.94
39.	Rokiškio r. sav.	180631.12	7052.25	3.90
40.	Šalčininkų r. sav.	149261.92	5585.74	3.74
41.	Birštono sav.	12172.53	436.01	3.58
42.	Kazlų Rūdos sav.	55452.71	1897.30	3.42
43.	Zarasų r. sav.	133132.99	4466.76	3.36
44.	Vilniaus r. sav.	212899.11	7100.05	3.33
45.	Utenos r. sav.	123019.74	3957.34	3.22
46.	Ignalinos r. sav.	144082.79	4419.37	3.07
47.	Druskininkų sav.	45301.23	1245.63	2.75
48.	Kauno r. sav.	149548.29	3677.44	2.46
49.	Varėnos r. sav.	221585.89	4598.56	2.08
50.	Širvintų r. sav.	90544.24	1558.70	1.72
51.	Švenčionių r. sav.	169148.49	2866.87	1.69
52.	Ankščių r. sav.	176410.83	2887.82	1.64
53.	Panevėžio m. sav.	5015.62	69.37	1.38
54.	Elektrėnų sav.	50869.94	684.75	1.35
55.	Jonavos r. sav.	94352.03	1227.36	1.30
56.	Ukmergės r. sav.	139479.26	1480.94	1.06
57.	Kaišiadorių r. sav.	108665.37	1089.17	1.00
58.	Kauno m. sav.	15688.49	112.22	0.72
59.	Visagino sav.	5807.82	31.31	0.54
60.	Neringos sav.	13 876.77	0	0

## IŠVADOS

1. Europos Sąjungos ir Lietuvos teisiniuose dokumentuose ratifikuojamas atsinaujinančių išteklių naudojimas bei vartojimas apibrėžia saulės elektrinių plėtrą Lietuvoje. Tinkamiausių vietų nustatymas saulės elektrinėms turi remtis šalyje galiojančiais įstatymais, kuriuose apibrėžiamos specialiosios paskirties žemės, netinkamos saulės elektrinių statymui
2. Tiriant vietovių tinkamumą, nustatyta, jog nėra vieno universalaus metodo saulės elektrinių statymo teritorijoms parinkti. Tyrėjai savo darbuose naudoja įvairius metodus, kurie yra pritaikomi pagal konkrečias atvejų problemas. Dažniausiai remiamasi daugiakriteriniu vertinimu pasitelkiant GIS analizės ir vizualizavimo galimybes.
3. Saulės elektrinių statymo vietų nustatymą lemia daugybė kriterijų, kurie priklauso nuo analizuojamos teritorijos. Kriterijai priklauso nuo tiriamos geografinės vietovės. Skirtingose valstybėse yra vertinami skirtingi techniniai, aplinkosaugos, ekonominiai ir socialiai aspektai. Tai priklauso ir nuo teritorijos ar šalies išskirtinių požymių, kurie atspindi pagrindinius nustatymo rezultatus. Taip pat, tiriant vietovių nustatymo kriterijus svarbu yra ir duomenų pasiekiamumas.
4. Atlikus kriterijų analizę, atrinkti kriterijai Lietuvos teritorijos vertinimui. Nustatymo kriterijams buvo atrinkta: tiesioginė saulės spinduliuotė, išsklaidytoji saulės spinduliuotė, šlaitų nuolydis, vidutinis žemės derlingumas, šlaitų ekspozicijos, atstumas iki elektros tinklo, atstumas iki kelių, atstumas iki geležinkelių. Apribojimo kriterijams buvo atrinkta: vandens telkiniai ir pelkės, miškai, skirtingos tipo keliai su buferinėmis reikšmėmis, geležinkeliai su buferinėmis reikšmėmis, jau pastatytos elektrinės su buferinėmis reikšmėmis, pasienio ruožai ir apstatytos teritorijos.
5. Atlikus porinio palyginimo vertinimą nustatyta, kad daugiausiai įtakos kriterijų vertinimo sistemoje turi tiesioginė saulės spinduliuotė, o mažiausiai – atstumas iki geležinkelių.
6. Nustatyta, kad saulės elektrinių statymą riboja tam tikri apribojimo faktoriai. Apskaičiuota, kad netinkamų plotų saulės elektrinių statymui yra 22 122 km<sup>2</sup>, o tai yra 33.88 % Lietuvos teritorijos. Daugiausiai netinkamų teritorijų susitelkę šalies pietinėje ir pietvakarinėje dalyje, kur yra gausiausiai miškų ir saugomų teritorijų.
7. Išnagrinėjus teritorijas skirtas saulės elektrinių statymui, nustatyta, kad labiausiai tinkamos teritorijos yra Lietuvos vakarinėje dalyje. Tai yra siejama su tiesioginės saulės spinduliuotės rodikliais, kurie pajūrio regione yra didžiausi.

## NAUDOTA LITERATŪRA

1. A. Genutis, K. Navickas, G. Rutkauskas, I. Šateikis. Atsinaujinančios ir alternatyviosios energijos naudojimas šilumos gamybai. Kaunas: Technologija, 2003. 112 psl.
2. Abdullah, L., Chan, W., Afshari, A. 2019. Application of PROMETHEE method for green supplier selection: a comparative result based on preference functions, *Journal of Industrial Engineering International*, 15(2), 271–285. doi:10.1007/S40092-018-0289-Z/FIGURES/5.
3. Akkas, O.P. et al. 2017 Optimal Site Selection for a Solar Power Plant in the Central Anatolian Region of Turkey, *International Journal of Photoenergy*, 2017. doi:10.1155/2017/7452715.
4. Garni, H.Z. and Awasthi, A. 2017. Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia, *Applied Energy*, 206, pp. 1225–1240. doi:10.1016/J.APENERGY.2017.10.024.
5. Garni, H.Z., Awasthi, A. 2018. Solar PV Power Plants Site Selection: A Review, *Advances in Renewable Energies and Power Technologies*, 1, pp. 57–75. doi:10.1016/B978-0-12-812959-3.00002-2.
6. Alhammad, A., Sun, Q. and Tao, Y. 2022. Optimal Solar Plant Site Identification Using GIS and Remote Sensing: Framework and Case Study, *Energies* 2022, Vol. 15, Page 312, 15(1), p. 312. doi:10.3390/EN15010312.
7. Almarshoud, A. F. 2016. Performance of solar resources in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 694–701. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.08.040>
8. Asakereh, A., Soleymani, M. and Sheikhdavoodi, M.J. 2017. A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province, Iran, *Solar Energy*, 155, pp. 342–353. doi:10.1016/J.SOLENER.2017.05.075.
9. Baykasoğlu, A. and Gölcük, İ. 2020. Revisiting ranking accuracy within WASPAS method, *Kybernetes*, 49(3), pp. 885–895. doi:10.1108/K-01-2019-0052/FULL/PDF.
10. Boveinis P. 2014. Saulės energijos panaudojimo Lietuvoje sunkumai ir galimybės. <https://epublications.vu.lt/object/elaba:2192680/>
11. Chandio IA, Matori ANB, WanYusof KB, Talpur MAH, Balogun A-L, Lawal DU. 2013. *GIS based analytic hierarchy process as a multicriteria decision analysis instrument: a review*. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-012-0568-8>.
12. Colak, H.E., Memisoglu, T. and Gercek, Y. 2020 Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: A case study of Malatya Province, Turkey, *Renewable Energy*, 149, pp. 565–576. doi:10.1016/J.RENENE.2019.12.078.

13. Coroiu, A.M. 2015. Fuzzy methods in decision making process - A particular approach in manufacturing systems, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 95(1). doi:10.1088/1757-899X/95/1/012154.
14. Čapkauskas, G. 2011. Saulės energetikos plėtra pasaulyje ir jos galimybės Lietuvoje.
15. Deveci, M., Cali, U. and Pamucar, D. 2021. Evaluation of criteria for site selection of solar photovoltaic (PV) projects using fuzzy logarithmic additive estimation of weight coefficients, Energy Reports, 7, pp. 8805–8824. doi:10.1016/J.EGYR.2021.10.104.
16. Eshragh, F., Pooyandeh, M. and Marceau, D.J. 2015. Automated negotiation in environmental resource management: Review and assessment, Journal of Environmental Management, 162, pp. 148–157. doi:10.1016/J.JENVMAN.2015.07.051.
17. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva (ES) 2018/2001 2018 m. gruodžio 11 d. dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją. Žin. 2018, Nr. 328/82.
18. Europos Sąjungos Taryba. 2022. Paryžiaus susitarimas dėl klimato kaitos.
19. Fuzzy methods in decision making process - A particular approach in manufacturing systems. [https://www.researchgate.net/publication/283550852\\_Fuzzy\\_methods\\_in\\_decision\\_making\\_process\\_-\\_A\\_particular\\_approach\\_in\\_manufacturing\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/283550852_Fuzzy_methods_in_decision_making_process_-_A_particular_approach_in_manufacturing_systems)
20. Garni, H. Z., & Awasthi, A. 2017. Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied Energy*, 206, 1225–1240. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2017.10.024>
21. Garni, H. Z., & Awasthi, A. 2017. Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied Energy*, 206, 1225–1240. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2017.10.024>
22. Gašparović, I., Gašparović, M. 2019. Determining Optimal Solar Power Plant Locations Based on Remote Sensing and GIS Methods: A Case Study from Croatia, *Remote Sensing 2019*, Vol. 11, Page 1481, 11(12), p. 1481. doi:10.3390/RS11121481.
23. Georgiou, A. and Skarlatos, D. 2016. Optimal site selection for sitting a solar park using multi-criteria decision analysis and geographical information systems, *Geosci. Instrum. Method. Data Syst*, 5, pp. 321–332. doi:10.5194/gi-5-321-2016.
24. Giamalaki, M. and Tsoutsos, T. 2019. Sustainable siting of solar power installations in Mediterranean using a GIS/AHP approach, *Renewable Energy*, 141, pp. 64–75. doi:10.1016/J.RENENE.2019.03.100.

25. Giamalaki, M., & Tsoutsos, T. 2019. Sustainable siting of solar power installations in Mediterranean using a GIS/AHP approach. *Renewable Energy*, 141, 64–75. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.03.100>
26. GIS-Centras. 2022. Georeferencinio pagrindo kadastras. <https://www.geoportal.lt/geoportal/web/georeferencinio-pagrindo-kadastras-grpk>
27. Goepel, K. 2018. Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(3), 469–487. <https://doi.org/10.13033/IJAHP.V10I3.590>
28. Goh, H.H. 2022. Application of choosing by advantages to determine the optimal site for solar power plants, *Scientific Reports* 2022 12:1, 12(1), pp. 1–16. doi:10.1038/s41598-022-08193-1.
29. Greene, R. 2011. GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis, *Geography Compass*, 5(6), pp. 412–432. doi:10.1111/J.1749-8198.2011.00431.X.
30. Guaita-Pradas, I. 2019. Analyzing territory for the sustainable development of solar photovoltaic power using GIS databases, *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(12), pp. 1–17. doi:10.1007/S10661-019-7871-8/FIGURES/8.
31. Guaita-Pradas, I., Marques-Perez, I., Gallego, A., & Segura, B. 2019. Analyzing territory for the sustainable development of solar photovoltaic power using GIS databases. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(12), 1–17. <https://doi.org/10.1007/S10661-019-7871-8/FIGURES/8>
32. Hashemkhani Zolfani, S., Zavadskas, E.K. and Turskis, Z. 2013. “Design of products with both international and local perspectives based on Yin-Yang balance theory and SWARA method,” *Ekonomiska Istrazivanja*, 26(2), pp. 153–166. doi:10.1080/1331677X.2013.11517613.
33. Heydari, M., Sayadi, M.K. and Shahanaghi, K. 2010. “Extended VIKOR as a new method for solving Multiple Objective Large-Scale Nonlinear Programming problems,” *RAIRO - Operations Research*, 44(2), pp. 139–152. doi:10.1051/RO/2010011.
34. <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/atsinaujinantys-energijos-istekliai/atsinaujinanciu-istekliu-energijos-bendrijos>  
[https://lsa.lt/wp-content/uploads/2018/01/dokumentai\\_metodika\\_aei.pdf](https://lsa.lt/wp-content/uploads/2018/01/dokumentai_metodika_aei.pdf)
35. Huang JP, Poh KL, Ang BW. 1995. Decision analysis in energy and environmental modeling. [http://dx.doi.org/10.1016/0360-5442\(95\)-00036-G](http://dx.doi.org/10.1016/0360-5442(95)-00036-G)

36. Impact of Solar Energy on Wildlife Is an Emerging Environmental Issue | Black & Veatch (2022). <https://www.bv.com/perspectives/impact-solar-energy-wildlife-emerging-environmental-issue> (Accessed: May 15, 2022).
37. Jahangiri, M. 2016a. Finding the best locations for establishment of solar-wind power stations in Middle-East using GIS: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, pp. 38–52. doi:10.1016/J.RSER.2016.07.069.
38. Jahangiri, M., Ghaderi, R., Haghani, A., Nematollahi, O. 2016. Finding the best locations for establishment of solar-wind power stations in Middle-East using GIS: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 38–52. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.07.069>
39. Kadoić, N., Ređep, N.B. and Divjak, B. Decision making with the analytic network process.
40. Kereush, D. and Geomatics, I.P. 2017. Determining criteria for optimal site selection for solar power plants, *Landmanagement and Landscape*, (•), pp. 39–54. doi:10.15576/GLL/2017.4.39.
41. Keršulienė, V., Zavadskas, E.K. and Turskis, Z. 2010. Racionalaus ginčų sprendimo būdo nustatymas taikant naują kriterijų svorių nustatymo metodą, pagrįstą nuosekliu laipsnišku poriniu kriterijų santykinės svarbos lyginimu, *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), pp. 243–258. doi:10.3846/JBEM.2010.12.
42. Khoram, A. R. Site selection for urban planning by means of GIS; a case study. 2014. [https://www.researchgate.net/publication/287300866\\_Site\\_selection\\_for\\_urban\\_planning\\_by\\_means\\_of\\_GIS\\_a\\_case\\_study](https://www.researchgate.net/publication/287300866_Site_selection_for_urban_planning_by_means_of_GIS_a_case_study)
43. Klimato kaita. 2020. Paryžiaus susitarimo tikslas. <https://klimatokaita.lt/aktualijos/duk/paryziaus-susitarimo-tikslas/>
44. Klimešová, D. and Ocelíková, E. (2011) “GIS and Image Processing.”
45. Koc, A., Turk, S., Şahin, G. 2019. Multi-criteria of wind-solar site selection problem using a GIS-AHP-based approach with an application in Iğdir Province/Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(31), 32298–32310. <https://doi.org/10.1007/S11356-019-06260-1/TABLES/10>
46. Kostagiolas, P. (2012) “Measuring libraries’ intellectual capital,” *Managing Intellectual Capital in Libraries*, pp. 87–127. doi:10.1016/B978-1-84334-678-4.50004-9.
47. Li, H. 2005. A GIS-based site selection system for real estate projects. doi:10.1191/1471417505ci101oa.
48. Li, R.J. (1999) “Fuzzy method in group decision making,” *Computers & Mathematics with Applications*, 38(1), pp. 91–101. doi:10.1016/S0898-1221(99)00172-8.



49. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. 2015. Baltijos valstybių Saulės spinduliuotės atlasas. [http://www.meteo.lt/lt/naujienos/-/asset\\_publisher/RrOmWx3nFPCR/content/baltijos-valstybiu-saules-spinduliuotes-atlasas?inheritRedirect=false](http://www.meteo.lt/lt/naujienos/-/asset_publisher/RrOmWx3nFPCR/content/baltijos-valstybiu-saules-spinduliuotes-atlasas?inheritRedirect=false)
50. Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerija. 2020. Lietuvos Respublikos nacionalinis energetikos ir klimato srities veiksmų planas 2021-2030 m. <https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/KLIMATO%20KAITA/Integruotas%20planas/Final%20NECP.pdf>
51. Lietuvos respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas. Žin. 2011, Nr. 62-2936.
52. Lietuvos respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymo nr. Xi-1375 1, 2, 3, 5, 11, 13, 14, 16, 18, 20, 201, 21, 22, 23, 26, 29, 49, 50, 55, 56, 57, 63 straipsnių, dvyliktojo skirsnio pavadinimo pakeitimo, 54 straipsnio pripažinimo netekusiu galios ir įstatymo papildymo 151 straipsniu įstatymas. Žin. 2022. Nr. 2022-07250.
53. Lietuvos Respublikos elektros energetikos įstatymas. Žin. 2000, Nr. 66-1984
54. Lietuvos Respublikos energetikos įstatymas. Žin. 2002, Nr. 56-2224.
55. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. 2021. Atsinaujinančių išteklių energijos bendrijos.
56. Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimų įstatymas. 2019. Žin. 2019. Nr. 9862.
57. Lietuvos savivaldybių asociacija. 2017. Atsinaujinančių išteklių energijos naudojimo plėtros veiksmų planų rengimo metodika.
58. Lindberg, O. et al. (2021) “PV park site selection for utility-scale solar guides combining GIS and power flow analysis: A case study on a Swedish municipality,” *Applied Energy*, 282, p. 116086. doi:10.1016/J.APENERGY.2020.116086.
59. Løken, E. 2007. Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(7), 1584–1595. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2005.11.005>
60. Marques-Perez, I. et al. 2020. Territorial planning for photovoltaic power plants using an outranking approach and GIS, *Journal of Cleaner Production*, 257, p. 120602. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2020.120602.
61. Marques-Perez, I., Guaita-Pradas, I., Gallego, A., Segura, B. 2020. Territorial planning for photovoltaic power plants using an outranking approach and GIS. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120602. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.120602>
62. Mokarram, M., Mokarram, M. J., Khosravi, M. R., Saber, A., Rahideh, A. 2020. Determination of the optimal location for constructing solar photovoltaic farms based on multi-criteria

- decision system and Dempster–Shafer theory. *Scientific Reports* 2020 10:1, 10(1), 1–17.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-65165-z>
63. Nutarimas dėl atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo energijai gaminti skatinimo tvarkos aprašo patvirtinimo. *Žin.* 2012, Nr. 81-4239.
64. Nutarimas dėl nacionalinės atsinaujinančių energijos išteklių plėtros strategijos patvirtinimo. *Žin.* 2010, Nr. 73-3725.
65. Oficialiosios statistikos portalas. 2020. Lietuvos aplinka, žemės ūkis ir energetika.  
<https://osp.stat.gov.lt/liuovos-aplinka-zemes-ukis-ir-energetika-2020/energetika/atsinaujinantys-energijos-istekliai>
66. Pan, Z. and Pan, Z. 2019. A Review of Prospect Theory, *Journal of Human Resource and Sustainability Studies*, 7(1), pp. 98–107. doi:10.4236/JHRSS.2019.71007.
67. Podvezko, V. and Podvezko, A. 2014. Kriterijų reikšmingumo nustatymo metodai, Lietuvos matematikos rinkinys, 55(B), pp. 111–116. doi:10.15388/LMR.B.2014.21.
68. Rahim, R. 2018. TOPSIS Method Application for Decision Support System in Internal Control for Selecting Best Employees, *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, 1028. doi:10.1088/1742-6596/1028/1/012052.
69. Rimkus, E. 2011. Meteorologijos įvadas.
70. Rumbayan M, Nagasaka K. 2012. *Prioritization decision for renewable energy development using analytic hierarchy process and geographic information system.*  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6329677>
71. Samoška, A. 2019. Saulės fotomodulių optimizatorių darbo charakteristikų tyrimas.  
<https://epubl.ktu.edu/object/elaba:37882976>
72. Saulės spinduliuotės duomenys: <https://globalsolaratlas.info/download/lithuania>
73. Sengupta M, Habte A, Kurtz S, Dobos A, Wilbert S, Lorenz E. 2015. Best practices handbook for the collection and use of solar resource data for solar energy applications.
74. Sirvydas, A. ir kiti. 2011. Daugiakriterinės analizės metodo taikymas parenkant Ignalinos AE V1 pastato įrengimų išmontavimo būdą. 1. Kiekybinių kriterijų įvertinimas,” *Energetika*, 57(4). 195–206. doi:10.6001/ENERGETIKA.V57I4.2085.
75. Sun, L. 2021. A GIS-based multi-criteria decision making method for the potential assessment and suitable sites selection of PV and CSP plants, *Resources, Conservation and Recycling*, 168, p. 105306. doi:10.1016/J.RESCONREC.2020.105306.
76. Suprova, N. T., Zidan, R., Rashid, A.R.M.H. 2020. Optimal Site Selection for Solar Farms Using GIS and AHP: A Literature Review.

77. Suuronen, A. 2017. Optimization of photovoltaic solar power plant locations in northern Chile, *Environmental Earth Sciences*, 76(24). 1–14. doi:10.1007/S12665-017-7170-Z/TABLES/6.
78. Türk, S., Koç, A., Şahin, G. 2021. Multi-criteria of PV solar site selection problem using GIS-intuitionistic fuzzy based approach in Erzurum province/Turkey, *Scientific Reports* 2021 11:1, 11(1). 1–23. doi:10.1038/s41598-021-84257-y.
79. Vasarevičius D. 2012. Fotovoltinių Saulės energijos šaltinių elektroninės valdymo sistemos tyrimas ir tobulinimas. Vilnius: VGTU. /Daktaro disertacija/.
80. Vasarevičius, D., Pikutis, M. 2016. Solar radiation model for development and control of solar energy sources, *Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania*, 8(3). 289–295. doi:10.3846/MLA.2016.932.
81. Vinogradova, I. 2012. Neapibrėžtumo įtaka AHP metodo vertinimams, *Lietuvos matematikos rinkinys*, 53(B). 243–248. doi:10.15388/LMR.B.2012.44.
82. Visuotinė lietuvių enciklopedija. 2022. Saulės spinduliuotė. <https://www.vle.lt/straipsnis/saules-spinduliuote/>
83. Zambrano-Asanza, S., Quiros-Tortos, J., Franco, J. F. 2021. Optimal site selection for photovoltaic power plants using a GIS-based multi-criteria decision making and spatial overlay with electric load,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143. doi:10.1016/J.RSER.2021.110853.
84. Zavadskas, E.K., Turskis, Z. 2010. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making, *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159–172. doi:10.3846/TEDE.2010.10.
85. Zhang, M.M., Zhou, P., Zhou, D.Q. 2016. A real options model for renewable energy investment with application to solar photovoltaic power generation in China, *Energy Economics*. 213–226. doi:10.1016/J.ENERCO.2016.07.028.

## **SANTRAUKA**

### **Svajūnas Vepštas**

#### **Daugiakriterinio vertinimo taikymas saulės elektrinių teritorijų parinkimui (Lietuvos teritorijos pavyzdžiu)**

Saulės energija yra viena svarbiausių iš atsinaujinančių energijos išteklių šaltinių. Daugiakriterinis vertinimas ir GIS analizės priemonės leidžia efektyviai iširti tinkamas ir netinkamas teritorijas saulės elektrinėms statyti. Tyrimo objektas yra Saulės elektrinių parkų teritorijos sausumos vietovėse. Tikslas – įvertinti Lietuvos teritoriją saulės elektrinių statymo tinkamumui.

Darbui atlikti panaudoti įvairūs metodai: literatūros analizė, erdvinių duomenų interpoliacija, modeliavimas, porinis palyginimas ir kartografinis metodas. Darbą sudaro įvadas, darbo metodika ir pradiniai duomenys, rezultatų skyrius, išvados, literatūros sąrašas, santrauka lietuvių ir anglų kalbomis.

Darbe yra nustatomi saulės elektrinių teritorijų parinkimo kriterijai. Kriterijai yra suskirstomi į apribojimo ir nustatymo. Nustatymo kriterijų grupei atrinkta: tiesioginė saulės spinduliuotė, išsklaidytoji saulės spinduliuotė, šlaitų nuolydis, vidutinis žemės derlingumas, šlaitų ekspozicijos, atstumas iki elektros tinklo, atstumas iki kelių, atstumas iki geležinkelių. Apribojimo kriterijams buvo atrinkti vandens telkiniai ir pelkės, miškai, skirtingos tipo keliai su buferinėmis reikšmėmis, geležinkeliai su buferinėmis reikšmėmis, jau pastatytos elektrinės su buferinėmis reikšmėmis, pasienio ruožai ir apstatytos teritorijos. Nustatymo kriterijams yra apskaičiuojami reikšmingumo svoriai. Nustatyta, kad reikšmingiausias kriterijus yra tiesioginė saulės spinduliuotė, o mažiausiai reikšmingas atstumas iki geležinkelių linijų.

Tyrime nustatyta, kad daugiausiai netinkamų teritorijų statymui yra Lietuvos pietinėje ir pietvakarinėje dalyse, kur gausiausia miškų ir saugomų teritorijų. Apskaičiuota, jog 33.88 % šalies teritorijos, yra netinkama saulės elektrinėms statyti. Taip pat, nustatyta, kad daugiausiai potencialo saulės elektrinių statymui yra Kalvarijos, Šilutės ir Kretingos rajonų savivaldybėse.

Tyrimo rezultatai yra svarbūs įmonėms, kurios planuoja elektrinių statymą, ir prognozuoja saulės elektrinių energetinį potencialą. Tyrimo rezultatai suteiks naudos elektrinių statytojams, kurie lanksčiai pritaikys galutinį rezultatą įkuriant naujus elektrinių parkus.

## **SUMMARY**

### **Svajūnas Vepštas**

#### **Site Selection For Solar Power Plants Using Multi-Criteria Evaluation (Case Study Of Lithuania Territory)**

Solar energy is one of the most important sources of renewable energy. Multi-criteria assessment and GIS analysis tools allow efficient investigation of suitable and unsuitable areas for construction of solar power plants. The object of research is the land areas of the Solar Power Parks. The aim of the work is to evaluate the territory of Lithuania for the suitability of solar power plant construction.

Various methods were used to perform the research: literature analysis, interpolation of spatial data, modeling, pairwise comparison and cartographic methods. The work consists of an introduction, literature analysis, research methodology, results, conclusions, references, summary in Lithuanian and English.

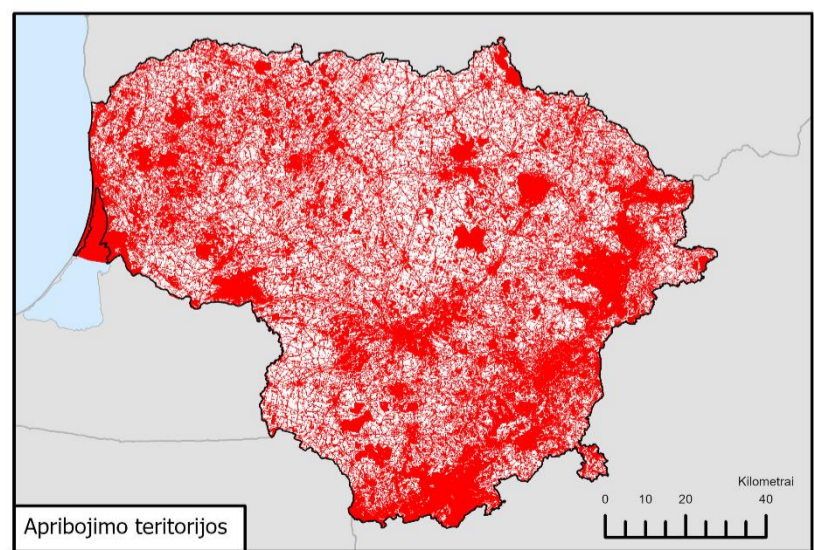
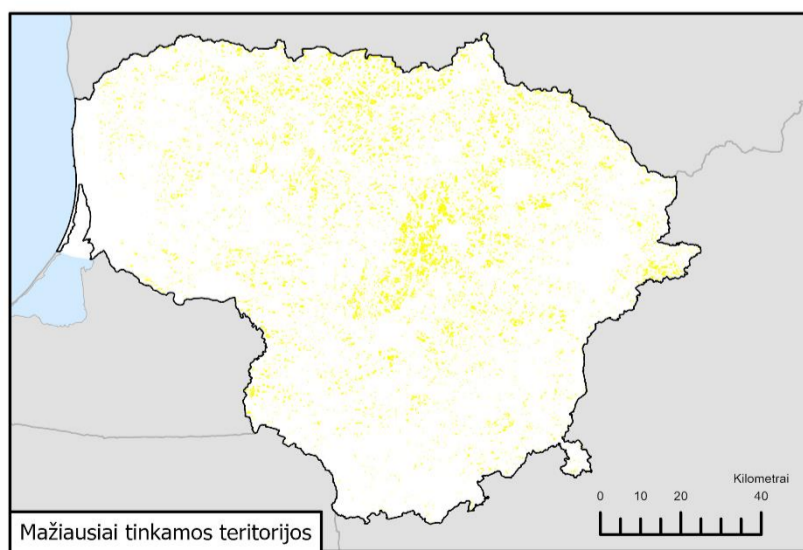
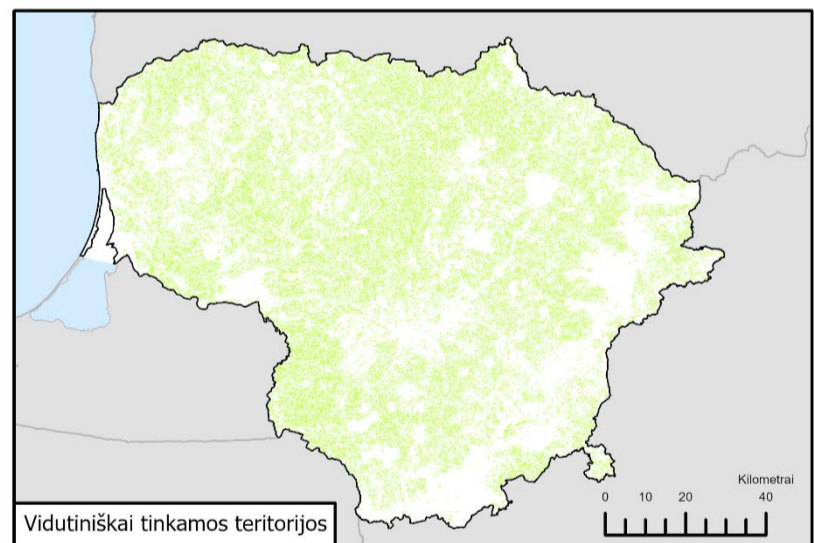
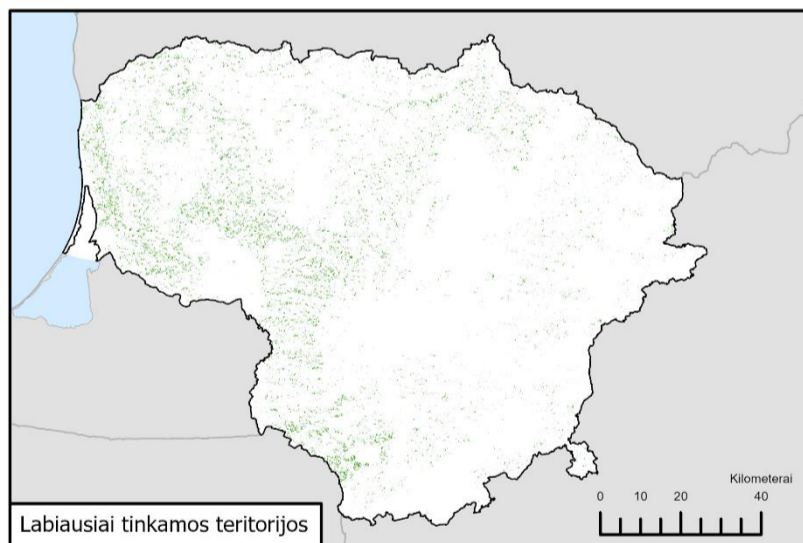
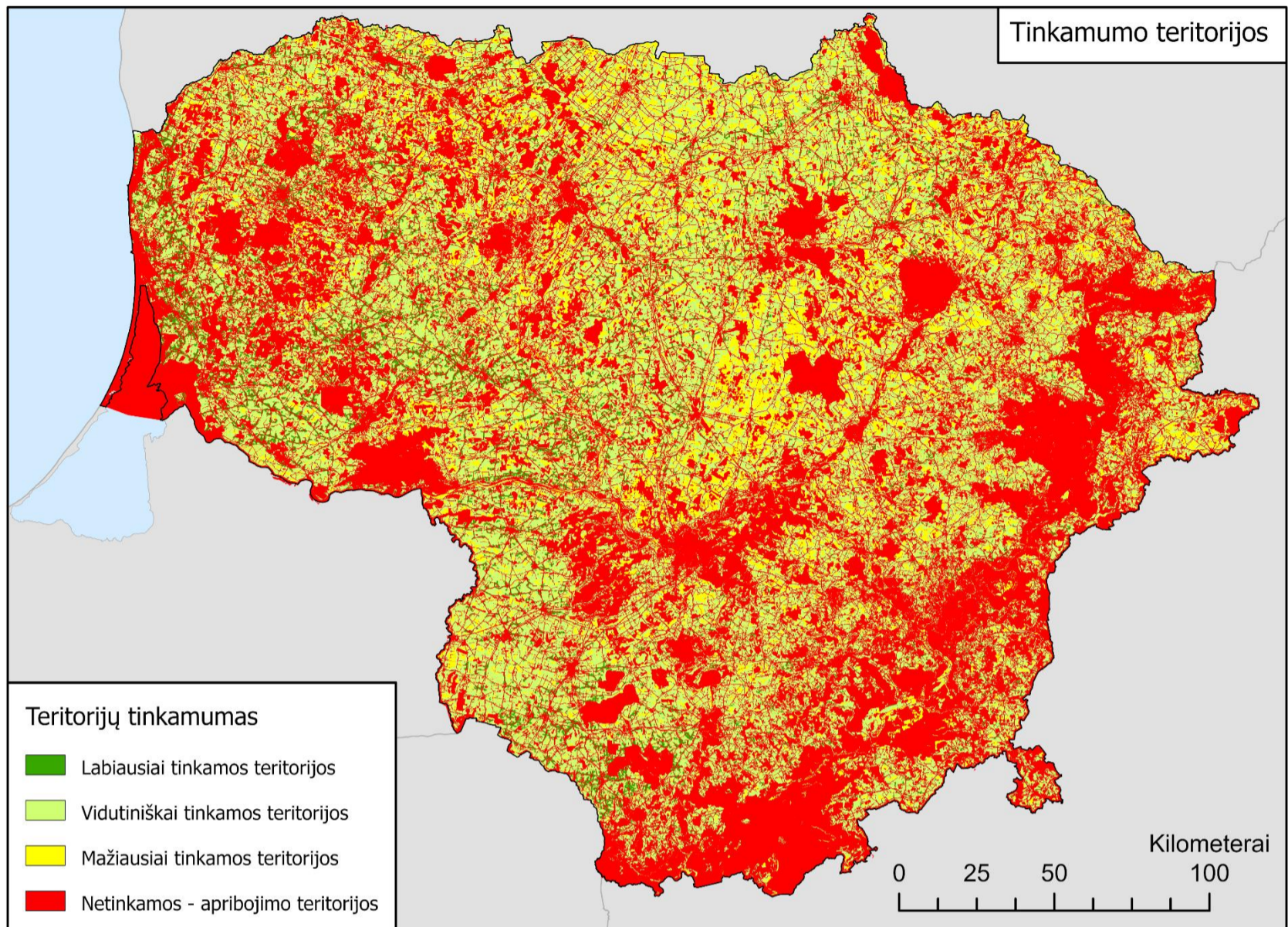
The criteria for selection of solar power plant areas are established in the study. The criteria are divided into restriction and determination criteria. The following criteria were selected for the group of determination criteria: direct solar radiation, diffuse solar radiation, average land fertility, slope exposures, distance to electrical networks, distance to roads, distance to railways. Water bodies and wetlands, forests, different types of roads with buffer values, railways with buffer values, power plants with buffer values, border sections and built-up areas were selected for the restriction criteria. Significance weights are calculated for the determination criteria. The most significant criterion was found to be direct solar radiation and the least significant distance to railway lines.

The study found that the most improper areas for construction are in the southern and southwestern parts of Lithuania, where forests and protected areas are the most abundant. It is estimated that 33.88% of the country's territory is unsuitable for construction of solar power plants. Also, the results showed that the greatest potential for the construction of solar power plants is in Kalvarija, Šilutė and Kretinga district municipalities.

Results of the analysis are significant for companies that are planning to build power plants and predict the energy potential of solar power plants. Results of the research will benefit power plant builders, who will have the flexibility to adapt the end result when establishing new power plant parks.

PRIEDAI

1 priedas. Tinkamumo žemėlapis.



Parengė: Svajūnas Vepštas