



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
GEODEZIJOS KATEDRA

Dominykas Preibys

**VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO MODELIAVIMAS TAIKANT GIS
TECHNOLOGIJĄ
APPLY GIS TECHNOLOGY FOR WIND FARM SITE MODELLING**

Baigiamasis magistro darbas

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX036

Geografinių informacinių sistemų specializacija

Matavimų inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2020

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Aplinkos inžinerijos fakultetas
Geodezijos katedra

ISBN ISSN

Egz. sk. 2

Geodezijos ir kartografijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Vėjo elektrinių parko modeliavimas GIS technologija**

Autorius **Dominykas Preibys**

Vadovas prof. dr. **J. Sužiedelytė-Visockienė**

Kalba

☒ X

Lietuvių

☐

Užsienio

Anotacija

Darbo tikslas - nustatyti palankias vietas vėjo elektrinių parkų įrengimui Tauragės apskrityje remiantis gamtiniais ir socio-ekonominiais veiksniais, taikant GIS erdvinę analizę. Tyrimo objektu pasirinkta Tauragės apskrities teritorija. Darbe tinkamų vietų vėjo jėgainių parkams parinkimui buvo taikomas GIS erdvinio modeliavimo metodas pasitelkiant ESRI programinės įrangos ArcMap 10.1 programinį paketą. Darbo rezultatams pasiekti buvo išskirtos 2 kriterijų grupės: ribojantys ir eliminuojantys. Ribojantys kriterijai smulkiau suskirstyti į gamtinius (3 kriterijai) ir socioekonominius (5 kriterijai). Išskirtiems kriterijams buvo sudaryti informaciniai sluoksniai ir atliekamas tinkamumo vertinimas bei vykdoma sluoksnių perdengimo analizė. Analizės galutinis rezultatas – žemėlapis, kuriame nurodyti potencialūs plotai vėjo jėgainių parkams.

Atliktas Tauragės apskrities aplinkos vertinimas parodė, kad vėjo jėgainių parkams netinkamos teritorijos rajone sudaro 66 %, o itin tinkamų plotų dalis sudaro 15 % visos tiriamojo objekto teritorijos.

Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, literatūros apžvalga, taikomi metodai ir priemonės, vėjo elektrinių parko kriterijų vertinimas, išvados ir siūlymai, naudota literatūra ir šaltiniai

Darbo apimtis – 50 p. teksto be priedų, 26 iliustr., 9 lent., 62 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: GIS, erdvinis modeliavimas, tinkamumo modelis, vėjo elektrinė, tinkamos vietos

Vilnius Gediminas Technical University
Environmental Engineering faculty
Geodezy department

ISBN ISSN

Copies No. 2

Geodezy and Cartography study programme master thesis.

Title: Apply GIS technology for wind farm site modelling

Author **Dominykas Preibys** Academic supervisor prof. dr. **J. Sužiedelytė-Visockienė**

Thesis language

☒ X Lithuanian

☐ Foreign (English)

Annotation

The main objective of this study was to develop a methodology of land suitability analysis for the allocation of potential wind farm sites employing GIS techniques and to apply it to a study area. The methodology of land suitability analysis was applied to Tauragė district located in the southwestern part of Lithuania. To determine the most feasible sites for wind farms as evaluation and data editing the Geographic Information Systems (GIS) tool was used. In this study two criteria groups were identified: limiting and eliminating. Limiting criteria group was split to environmental and socioeconomic criteria groups. For each criteria was created GIS file which containing attribute information important for further land suitability analysis was created. According to literature and sustainable development, all criteria were reclassified by creating a scoring scale with rate from 0 to 3. All reclassified criteria layers were conducted by data overlay process and as a result was compile a map which includes optimal sites for wind farms. According to final Tauragė district land suitability model for wind farm sites, it comes that unsuitable areas cover 66 % of study area. 15 % of study area is the most suitable and well recommended for wind farm installation.

Structure: introduction, review, methods used, wind farm criteria evaluation system, conclusions and suggestions, references.

Thesis consist of: 50 p. text without appendixes, 26 pictures, 9 tables, 62 bibliographical entries.

Keywords: GIS, spatial analysis, suitability model, wind farm, land suitability

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	5
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	6
IVADAS.....	7
I. LITERATŪROS APŽVALGA	9
1.1. GIS taikymas pasaulio praktikoje.....	9
1.2. GIS taikymas ir jo galimybės Lietuvoje	12
II. VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO MODELIAVIMAS TAIKANT GIS TECHNOLOGIJĄ	
METODAI IR PRIEMONĖS	14
III. VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO MODELIAVIMO KRITERIJŲ VERTINIMAS.....	20
3.1. Eliminuojančių kriterijų vertinimas.....	20
3.1.1. Saugomos teritorijos	20
3.1.2. Naudingosios iškasenos.....	20
3.1.3. Hidrografija	21
3.1.4. Infrastruktūra	22
3.1.5. Žemėnauda	24
3.1.6. Krašto apsaugos bei aviacijos teritorijos	24
3.2. Ribojančių gamtinių kriterijų vertinimas.....	26
3.2.1. Reljefas	26
3.2.2. Vėjo greitis	27
3.3. Ribojančių socioekonominių kriterijų vertinimas	30
3.3.1. Atstumas iki pastatų	30
3.3.2. Atstumas iki elektros linijų.....	31
3.3.3. Atstumas iki kelių.....	32
3.4.1. Nuogulų sudėtis	34
3.4.2. Šlaitų polinkis.....	35
3.5 Tinkamų plotų vėjo jėgainių parkams GIS erdvinis modeliavimas	37
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI	43
NAUDOTA LITERATŪRA IR ŠALTINIAI.....	44
PRIEDAI	50

LENTELIŲ SĄRAŠAS

2.1 lentelė. Informaciniai sluoksniai bei duomenų šaltiniai	16
2.2 lentelė. Tinkamumo skalės bei balų apibūdinimas kriterijų reikšmės atžvilgiu.....	17
3.1 lentelė. Reljefo vertinimas pagal tinkamumo skalę.....	27
3.2 lentelė. Vėjo greičio vertinimas pagal tinkamumo skalę.....	29
3.3 lentelė. Atstumo iki pastatų vertinimas pagal tinkamumo skalę	30
3.4 lentelė. Atstumo iki el. linijų vertinimas pagal tinkamumo skalę	31
3.5 lentelė. Atstumo iki kelių vertinimas pagal tinkamumo skalę.....	33
3.6 lentelė. Nuogulų geotechninių savybių ir tinkamumo vertinimas	34
3.7 lentelė. Šlaitų vertinimas pagal tinkamumo skalę.	36

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

2.1 pav. Tyrimo objektas	14
2.2 pav. GIS erdvinio modeliavimo darbų seka	15
2.3 pav. Kriterijų suskirstymo schema	15
2.4 pav. Pergrupavimo principo schema	17
2.5 pav. Perdengimo analizės skaičiavimo principo schema.....	18
2.6 pav. Kriterijų vertinimo struktūrinė schema.....	19
3.1 pav. Saugomos teritorijos tyrimo objekte.....	20
3.2 pav. Naudingosios iškaskenos tyrimo objekte.....	21
3.3 pav. Paviršiniai vandens telkiniai (jų apsaugos zonos), vandenvietės (jų apsaugos zonos) Tauragės apskrityje	22
3.4 pav. Infrastruktūros apsaugos zonos Tauragės apskrityje	23
3.5 pav. Žemėnauda Tauragės apskrityje	24
3.6 pav. Teritorijos, kuriose gali būti ribojami vėjo elektrinių statybos darbai.....	25
3.7 pav. Vėjo jėgainių statybos ir projektavimo darbų apribojimai	26
3.8 pav. Reljefas Tauragės apskrityje	27
3.9 pav. Vėjo greičio kitimas kalnuotoje vietovėje	28
3.10 pav. Vėjo greitis Tauragės apskrities teritorijoje.....	29
3.11 pav. Atstumas iki pastatų Tauragės apskrities teritorijoje.....	31
3.12 pav. Atstumas iki elektros linijų pagal tinkamumo skalę Tauragės apskrityje	32
3.13 pav. Atstumas iki kelių pagal tinkamumo skalę Tauragės apskrityje.....	33
3.14 pav. Nuogulos pagal tinkamumo skalę Tauragės apskrityje	35
3.15 pav. Šlaitų polinkis pagal tinkamumo skalę Tauragės apskrityje.....	36
3.16 pav. Teritorijos tinkamumo gamtinis modelis.....	37
3.17 pav. Teritorijos tinkamumo socioekonominis modelis	38
3.18 pav. Teritorijos tinkamumo gamtinis modelis.....	39
3.19 pav. Teritorijos tinkamumo gamtinis modelis.....	40
3.20 pav. Vėjo elektrinių pasiskirstymas tinkamumo modelyje.....	41

IVADAS

Pastaraisiais dešimtmečiais vis aktualesnė energijos gamybos sritis yra atsinaujinanti energetika. Pasaulinės organizacijos yra susirūpinusios gamtinių išteklių eikvojimu, nes jie yra riboti, o energijos poreikis su kiekvienais metais sparčiai auga, dėl gyventojų skaičiaus augimo. Darnus vystymasis kaip pagrindinė ilgalaikė visuomenės vystymosi ideologija įteisintas pasaulio viršūnių susitikime Rio de Žaneire 1992 metais, kai Jungtinių Tautų Aplinkos ir plėtros konferencijoje buvo suformuluotos pagrindinės darnaus vystymosi nuostatos (Pikturnienė, 2012). Darniosios plėtros kontekste didelis dėmesys yra skiriamas tvariai energetikai. Dideli anglies dvideginio bei kitų cheminių medžiagų išmetimai į aplinką (deginant kurą) taip pat skatina ieškoti alternatyvių energijos gamybos krypčių. Saulės energija, vėjo energija, bioenergija, hidroenergija ir kt. sritys yra priskirtos atsinaujinantiems energijos šaltiniams, tačiau labiausiai pastebimas vėjo pagaminamos energijos gamybos augimas.

Lietuva įstojusi į Europos Sąjungą priėmė įsipareigojimą, jog atsinaujinančių išteklių energijos dalis, palyginti su šalies bendruoju galutiniu energijos suvartojimu, 2020 metais sudarytų ne mažiau kaip 23 % (2019 metų Lietuvos vėjo elektrinių asociacijos duomenimis siekia 26 %) ir ši dalis toliau būtų didinama, tam panaudojant naujausias ir veiksmingiausias atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo technologijas ir skatinant energijos vartojimo efektyvumą (Lietuvos Respublikos atsinaujinančių..., 2011).

Lietuvoje potencialiausia – vėjo energetika. Tai reiškia, kad vėjo jėgainių parkuose pagaminama elektros energija sudaro lygiai pusę visos iš atsinaujinančių energijos išteklių pagaminamos elektros energijos arba 40% visos šalies vietinės elektros energijos generacijos. (Lietuvos vėjo elektrinių asociacija, 2019).

Planuojant statyti vėjo jėgainių parkus sausumoje susiduriama su gamtinėmis ir socioekonominėmis problemomis: laisvų tinkamų plotų trūkumu, gyventojų pasipriešinimu ir kt. Siekiant išvengti šių problemų ar bent jau jas sumažinti yra rengiamos galimybių studijos, atliekami poveikio aplinkai ir visuomenei vertinimai. Šios procedūros dažniausiai taikomas ir Lietuvoje.

Darbo naujumas. Šiame tyrime, planuojant teritorijas pritaikyti metodai yra vieni iš tinkamiausių sprendimų pasaulio praktikoje per pastarąjį dešimtmetį. Remiantis atsinaujinančios energetikos plėtra, kuri paremta darnaus vystymosi principais, atrenkamos optimalios vietos vėjo elektrinių parkams įrengti, atsižvelgiant į aplinkosauginius ir socioekonominius kriterijus. Lietuvoje vėjo elektrinių parkų įrengimo vietoms įvertinti tokio pobūdžio analizė iki šiol nebuvo atlikta ar publikuota.

Tyrime analizuojami dažnai teritorijų planavime naudojami ir pritaikomi metodai, atliekamas gamtinių, socioekonominių kriterijų parinkimas bei vertinimas, atliekama erdvinė analizė tinkamumo

modeliams sudaryti. **Darbo tikslas** – nustatyti palankias vietas Tauragės apskrityje vėjo elektrinių parkams įrengti, remiantis teritorijų planavimo tikslams parengta vertinimo metodika, taikant geografinių informacinių sistemų (GIS) erdvinę analizę.

Darbo uždaviniai:

1. Išskirti reikšmingus gamtinius ir socioekonominius veiksnius, turinčius įtaką parenkant vėjo jėgainių parkų vietas.
2. Išanalizuoti teisinę bazę, reglamentuojančią teritorijų planavimo ir vėjo jėgainių parkų statybą.
3. Parengti ir pritaikyti darnaus vystymosi principais paremtą aplinkos vertinimo metodiką, kuria galima būtų vadovautis priimant sprendimus dėl tinkamų vietų vėjo jėgainių parkų parinkimo, kai naudojamas GIS erdvinis modeliavimas.
4. Atlikti duomenų erdvinę analizę bei sudaryti gamtiniu ir socioekonominiu požiūriu tinkamų vietų vėjo jėgainių parkams įrengti žemėlapius.

2015 m. tyrimo rezultatai pristatyti GIS švietimo ir mokslo konferencijoje (Vilniuje), tema – „Optimalių vietų vėjo jėgainių parkams parinkimas pagal gamtinius ir socioekonominius kriterijus“. 2016 m. Jūros ir krantų tyrimai konferencijoje (Klaipėdoje), parengtas ir pristatytas stendinis pranešimas „Aplinkos tinkamumo vertinimas vėjo elektrinių parkų įrengimui taikant GIS erdvinį modeliavimą“.

I. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. GIS taikymas pasaulio praktikoje

Gamtinės aplinkos vertinimas užima reikšmingą poziciją planuojant bei vystant naujas teritorijas, siekiant užtikrinti darnų gamtos resursų ir ekosistemų išsaugojimą. Minėtas vertinimas yra neatsiejamas nuo GIS. Ši aplinkos ir teritorijų planavimo uždaviniams spręsti skirta priemonė yra efektyvi parenkant tinkamas vietas, įvertinant ir prognozuojant galimus nuostolius bei grėsmes gamtai ir žmogui. Priemonė apima erdvinės informacijos ir su ja susijusios požymių (atributinės) informacijos valdymą, tvarkymą ir analizavimą (Weerakoon, 2002). Svarbus skiriamasis GIS bruožas yra tas, jog priemonė teikia galimybę atlikti įvairių erdvinių duomenų (žemės naudojimo, topografijos, hidrologijos, ir kt.) bei jų požymių (aprašomosios informacijos) integruotą analizę, kuri gali padėti atsakyti į klausimus susijusius su geografinių duomenų vertinimo problemomis (Malczewski, 2004).

GIS istorijos pradžia siekia 1960 metus, kai žemėlapiai buvo pradėti naudoti skaitmeninėje formoje. 1970–1990 metais GIS technologijos pasiekė didžiulį perversmą, prasidėjo masinė GIS technologijų plėtra, skaitmeninių duomenų rinkimas bei duomenų bazių kūrimas. Šiuo laikotarpiu buvo įkurta, dabar jau tarptautinė kompanija platinanti GIS programinę įrangą bei kurianti įvairius duomenų modelius – ESRI. Šis GIS plėtros ir integracijos į įvairias sritis bei technologijas laikotarpis paskatino kurti naujus metodus erdvinės analizės uždaviniams spręsti, kartu įgalino GIS potencialą labiau pritaikyti paprastam vartotojui (Malczewski, 2004).

Vienas iš labiausiai naudojamų pasaulyje metodų spręsti žemės tinkamumo uždavinius yra GIS erdvinis modeliavimas. GIS erdvinis modeliavimas buvo aprašytas ir pradėtas taikyti McHarg'o vadovyje „Dizainas su gamta“ ir per pastaruosius 51 metus tapo vienu išsamiausių žemės planavimo metodų (Hopkins, 1977; Collins, Steiner ir Rushman, 2001). Pirmieji erdviniai modeliai buvo pritaikyti tais pačiais 1969 metais, kai žmogaus ir gamtos resursų informaciniai sluoksniai buvo perdengiami, atvaizduojami ir vertinami pagal tinkamumo skalę žemės naudojimo tikslams spręsti (aukštas tinkamumas – šviesi spalva, žemas tinkamumas – tamsi spalva); taip atsirado pirmieji tinkamumo žemėlapiai. Pagrindinis žemės tinkamumo analizės tikslas yra tinkamų tam tikrai ūkinei veiklai vietų vystyti parinkimas, pagal daugybinius kriterijus (Malczewski, 2004).

Pradėjus taikyti GIS erdvinį modeliavimą žemės tinkamumo analizėse išryškėjo keli šio metodo privalumai ir trūkumai. GIS erdvinė analizė leidžia vienu metu generuoti didelį gamtinės aplinkos duomenų kiekį, o tai leidžia sutaupyti laiko teritorijų planuotojams (Malczewski, 2004). Dar vienas

svarbus šio metodo privalumas yra nesudėtingas ir lankstus jo pritaikomumas, t.y. metodas sukurtas taip, kad jį būtų galima naudoti ir integruoti planuojant daugelio šalių teritorijas (Malczewski, 2004).

Vienas iš GIS trūkumų yra duomenų bei jų atributinės informacijos netikslumai įvedant juos į GIS duomenų bazines (Zhou and Civco, 1996). Kai kurie mokslininkai bandė šią problemą išspręsti šiam metodui pritaikydami informacinių duomenų jautrumo analizę (Lodwick, Monson and Svoboda, 1989). Kitas šio metodo trūkumas tas, jog nėra nustatyta, kokie kriterijai turi būti vertinami, nėra nustatytos jų tinkamumo reikšmės bei taisyklės (Baseer et al., 2017). Analizuojant skirtingus kriterijų rinkinius arba keičiant jų tinkamumo vertinimus yra gaunami skirtingi rezultatai, t.y. sugeneruojami skirtingi žemės tinkamumo modeliai (Malczewski, 2004). Tačiau nepaisant visų abejonų dėl GIS erdvinio modeliavimo metodo tikslumo, yra priimta, jį laikyti vienu iš efektyviausių žemės tinkamumo analizės uždaviniams spręsti.

GIS erdvinis modeliavimas šiais laikais, gali būti pritaikytas daugelyje sričių įskaitant kraštovaizdžio vertinimą ir planavimą (Miller, Collins, Steiner and Cook, 1998), poveikio aplinkai vertinimą (Moreno ir Seigel, 1988) bei viešojo ir privataus sektoriaus objektams tinkamų vietų parinkimą. Viena iš GIS erdvinio modeliavimo metodo taikymo sričių yra optimalių vietų vėjo jėgainių parkams nustatymas (Harrison, 2012). Panaudojus šį metodą išskiriami tinkami arba netinkami plotai vėjo jėgainių parkams įrengti pagal pasirinktą tinkamumo skalę. Taip pat šis metodas gali būti pritaikytas parenkant kitų inžinerinių statinių, skirtų energiją gaminti panaudojant atsinaujinančius šaltinius, vietas, saulės elektrinėms įrengti (Janke, 2010). Per paskutiniuosius 10 metų šį metodą itin sparčiai imta taikyti parenkant vietas naujo tipo hibridiniams parkams, kur vykdoma ne tik vėjo, bet ir saulės jėgainių energijos gamyba (Ali et al., 2019). Panaudojus erdvinio modeliavimo metodą, buvo išskirtos labiausiai tinkamos vietos atskirai vėjo jėgainėms, ir saulės elektrinėms. Be to, buvo sumodeliuotos vietos, tinkamos tiek saulės, tiek vėjo energijos gamybai (Aydin, Kentel and Duzgun, 2013).

Siekiant padidinti tinkamų vietų parinkimo proceso skaidrumą ir formalizuoti ekspertinį vertinimą, į erdvinį modeliavimą buvo pradėti integruoti daugiakriteriai sprendimų priėmimo metodai (angl. *Multi-criteria decision making*). Daugiakriteris vertinimas pasaulyje dažnai naudojamas ekspertų norint įvertinti kriterijų svorį (Bennui et al., 2007). Latinopoulou ir Kechagia, (2015) pritaikė GIS erdvinį modeliavimą bei daugiakriterį vertinimą Graikijoje ir pagal nustatytus kriterijus išskyrė 6 skirtingas plotų grupes su skirtingais tinkamumo indeksais vėjo jėgainėms įrengti. Šis metodas buvo panaudotas modeliuojant tinkamas vietas vėjo jėgainių parkams Ekvadore pagal 9 kriterijus (gamtinius bei ekonominius) (Villacreses et al., 2017), o Omane buvo sumodeliuoti keli žemės tinkamumo scenarijai vėjo elektrinėms įrengti (Gigovic et al., 2017).

Dar keli plačiai naudojami metodai sprendžiant žemės tinkamumo uždavinius – neapibrėžtų aibių metodas (angl. *Fuzzy*) bei determinacinis analitinis hierarchinis procesas (angl. *AHP*). Šie metodai leidžia įvertinti bei užtikrina ekspertinio vertinimo reikšmių suderinamumą (kaip kriterijai veikia vienas kitą ir veikia patį rezultatą) (Poškas, Sirvydas ir Šimonis, 2012). Nigerijoje buvo atlikta žemės analizė panaudojant neapibrėžtų aibių metodą kartu įvertinant ekonominius, socialinius bei aplinkos kriterijus bei išskirtos teritorijos, labiausiai tinkamos elektrinių parkų vystymui (Ayodele et al., 2018). Panašiu principu buvo išanalizuotas žemės tinkamumas Irane, į analizę įtraukiant 6 skirtingus kriterijus, to pasekoje išskirtos daugiau ir mažiau tinkamos teritorijos vėjo elektrinėms įrengti (Moradi et al., 2020). Šie metodai per pastarąjį penkmetį pradėti taikyti ne tik sausumoje, bet ir atviroje jūroje. Štai Pietų Korėjoje dėl didelio sausumos teritorijų užstatymo bei palankesnių aplinkos sąlygų buvo išskirtos vietos vėjo elektrinių parkams įrengti atviruose vandens telkiniuose (Kim, Jang and Yun Kin, 2018).

Be jau aukščiau paminėtų žemės tinkamumo uždaviniams spręsti skirtų metodų pastaraisiais dešimtmečiais taip pat imta taikyti sprendimų paramos sistemas (angl. *Decision support systems*) (Torresan et al., 2016). Tokios sistemos, integruojančios kriterijus ir padedančios planuoti teritorijas yra taikomos daugelyje aplinkos vertinimo ir žemės analizės sričių. Vienas tokio taikymo pavyzdžių yra sistema DESYCO, skirta klimato kaitos poveikio kranto zonai vertinimui, sukurta Europos bei Viduržemio jūros klimato kaitos centro. DESYCO yra atviro kodo programa integruojanti GIS ir daugiakriterius sprendimo priėmimo metodus. Šios sistemos galutinis produktas yra poveikio bei tinkamumo žemėlapiai, kurie apibendrina pasirinktų gamtinių bei socioekonominių kriterijų informaciją. Sistema buvo pritaikyta šiaurinės Adrijos jūros pakrantės zonai Italijoje, išskiriant labiausiai pažeidžiamas pakrantės ruožus (Torresan et al., 2016). Pritaikius šiuos metodus buvo atliktas žemės panaudojimo vertinimas atsinaujinančiai energetikai rytų Makedonijos teritorijose vystyti, parenkant efektyviausias vietas vėjo elektrinių įrengimui (Konstantinos, Georgios and Garyfalos, 2019).

Dar vienas plačiai naudojamas sprendimų paramos sistemų modelis yra duomenų apvalkalo analizė (angl. *Data envelopment analysis*). Šis modelis pasitelkia linijinį programavimą ir leidžia išspręsti bei įvertinti kelių sprendimų efektyvumą (kriterijus bei jų scenarijus). Panaudojant šį metodą bei jungiant jį su žemės tinkamumo metodu buvo įvertintos Indonezijos teritorijos skirtos vėjo energijos gamybai (Pambudi and Nananukul, 2019).

Prie žemės tinkamumo analizės vertinimui skirtų sistemų galima priskirti ir automatinę žemės tinkamumo sistemą (angl. *Automated land evaluation system*). Ši sistema taip pat leidžia įvertinti gamtinius veiksnius ir atlikti žemės tinkamumo analizę planuojant žemės ūkiui skirtas teritorijas (Ritung et al., 2007). Šis modelis pastaruoju dešimtmečiu labiau pritaikomas žemės ūkio srityje. Panaudojant šį

modeli dažnai vertinami konkrečių teritorijų dirvožemiai, jų panaudojimo galimybės (Mardiany et al., 2020).

1.2. GIS taikymas ir jo galimybės Lietuvoje

GIS technologijos Lietuvoje plačiau pradėtos taikyti tik XX a. paskutinio dešimtmečio pabaigoje. Kraštotvarkos, registrų tvarkymo, inžineriniais ir kt., tikslais buvo sukurtos pirmosios, gamtinių ir techninių objektų, turinčių erdvinius parametrus, geoduomenų bazės (GDB). Pirmosios GDB dažnai buvo kuriamos skubotai, nebuvo visiškai užbaigtos, tačiau turėjo revoliucinio pobūdžio poveikį teritorijų tvarkymo, nuosavybės įteisinimo, kartografijos ir kitose su erdviniais duomenimis susijusiose srityse (Tučas, 2010).

1990 metais prie valstybinės geodezijos tarnybos Vilniuje įsteigta VĮ „GIS-Centras“ per dvejus metus parengė skaitmeninio žemėlapiu M1:200000 duomenų bazę pagal to paties mastelio topografinius žemėlapius. VĮ „GIS-Centras“ yra atsakinga už Lietuvos erdvinės informacijos portalo (www.geoportal.lt) ir valstybinio georeferenciniu pagrindu sudaryto kadastro tvarkymą ir vystymą, valstybinių georeferencinių erdvinio duomenų tvarkymą ir duomenų teikimą visuomenei. 2001 metais buvo sukurta geoinformacinių paslaugų svetainė (www.maps.lt). Ši svetainė skirta interaktyviai navigacijai teritorijoje, geografinės vietos paieškai žemėlapiuose, įvairiems verslo sprendimams.

Su kiekvienais metais GIS poreikis vis didėjo, vartotojų skaičius augo, tad buvo pradėtos leisti įvairios mokomosios knygos, programos, vadovai. Tarp pirmųjų išleistų pradžiamokslių galima paminėti Paršeliūno „Geoinformacinės sistemos: technologija“, Mozgerio, Dumbrasuko ir Jonikavičiaus „Geoinformacinių sistemų pagrindai“, Viliuvienės, Sikorskytės ir Mineikytės „Geografinės informacijos sistemos“. Šiose knygose, vadovuose, didelis dėmesys skiriamas būtent erdvinei analizei ir jos pritaikymo galimybėms.

Atsiradę mokomieji vadovai, publikacijos, skirtoms GIS technologijoms platinti, paspartino per paskutinį dešimtmetį ypatingai didelį dėmesį skirti ir teritorijų planavimui bei žemės naudojimui, taip pat siekiant išvengti žemės naudojimo problemų Lietuvoje (žemės paskirties konfliktų ir kt.), susijusių su nevienodomis gamtinėmis ir geografinėmis sąlygomis, kurios reikalauja kompleksinio ir darnaus vertinimo. Čia didelį vaidmenį atlieka GIS technologijos ir taikymas. GIS ir kitų technologijų pažanga sudarė sąlygas vystyti sprendimų palaikymo sistemas, kurios padeda planuojant teritorijas. Pritaikant palaikymo sistemas, pagal įvairius kriterijus ir jų svarbą, galima analizuoti alternatyvius vystymosi scenarijus, galima apskaičiuoti ir palyginti skirtingų planavimo scenarijų vykdymą. Tokia žemės panaudojimo, natūralių

išteklių, saugomų teritorijų ir daugelio panašių dalykų analizė atliekama pagal projektuotojo ar planuotojo apibrėžtus kriterijus (Gurklys, 2008).

Lietuvoje GIS įrankį taip pat sparčiai imta naudoti gamtinės aplinkos vertinime. Sukurti gamtinių resursų vertinimo modeliai ir sistemos leido įvertinti ir išskirti ekogeologiniu požiūriu naujų sąvartynų tinkamas ir netinkamas vietas (Pinskuvienė, Valiūnas ir Bagdanavičiūtė, 2013), atlikti tarptautiniu mastu paplitusią ir plačiai naudojamą CORINE žemės dangos analizę, leidžiančią išanalizuoti kraštovaizdžio struktūros pokyčius bei sudaryti taršos emisijos modelius (Vaitkus, 2005). Įdiegiant GIS erdvinio modeliavimo metodus buvo sudaryti Lietuvos žemės paviršiaus erozijos modeliai (Denas ir kt., 2006), atlikti Šilutės rajono užliejamų plotų vertinimai, išskiriant teritorijas, labiausiai tinkamas ūkininkauti ir generuojančia didžiausią naudą (Riaukaitė, 2014).

GIS imta naudoti įvairių biologinių rūšių tyrimams (jų paplitimui, aplinkos įtakai vertinti). Kuršių mariose buvo ištirtos dvigeldžių auginimui palankios vietovės (Bagdanavičiūtė ir kt., 2018).

Taip pat nemažai tyrimų ir analizių atlikta pritaikant GIS miškotyros ir vandentyros srityje, išskiriant Kauno apskrities teritorijas, kuriose įstatymiškai galimas ir efektyviausias miško įveisimas, atliekant Lietuvos miško paviršinio sluoksnio (paklotės) storio kaitos ir paplitimo dėsningumus (Juknelienė ir Mozgiris, 2015). Neseniai publikuoti tyrimai, susiję su dirbtinai suformuotų šlapžemių paviršinio vandens kokybės gerinimu, t.y. parenkamos tinkamos vietos vandens kokybės gerinimo įrenginiams statyti (Dumbrauskas, Bastienė ir Punys, 2015). Taip pat publikuoti tyrimai susiję su šlapžemių panaudojimu žemės ūkio tikslams (Punys ir kt., 2019).

GIS erdvinės analizės modeliai gali būti pritaikomi transporto srautų intensyvumui nustatyti, kartografavimui ir urbanizuotų teritorijų tyrimams. Panaudojant GIS erdvinę analizę Vilniaus mieste buvo išskirtos teritorijos, kuriose transporto srautai patys intensyviausi, įvertinant ne tik gamtinius, bet ir ekonominius veiksnius (Jakimavičius ir Burinskiene, 2009). Taip pat atlikti Kauno miesto urbanizuotumo laipsnio tyrimai (Zagorskas, 2008). Sujungiant GIS bei nuotolinius tyrimų metodus buvo išanalizuoti Klaipėdos ir Kaliningrado kranto zonos sričių urbanizacijos lygio pokyčiai (Gadal, 2010). Atlikus daugiakriterį vertinimą identifikuotos jautrios kranto zonos, veikiamos aplinkos veiksmų (Bagdanavičiūtė, Kelpšaitė ir Soomere, 2015).

Kaip efektyvus erdvinės analizės įrankis (GIS) pritaikytas vertinant vėjo elektrinių parkų vietas, kartu į vertinimą įtraukiant jautrias gyvūnų ir paukščių rūšių paplitimo vietas bei išskiriant konfliktines zonas Lietuvos teritorijoje (Morkūnė ir kt., 2020). Didelis dėmesys skiriamas jūros vėjo elektrinių parkams, kaip neišnaudotam potencialui. Atliktas Baltijos šalių tyrimas, kuriame išskirtos potencialios vietos šių parkų įrengimui Baltijos jūroje (Chaouachi, Covrig and Ardelean, 2017).

II. VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO MODELIAVIMAS TAIKANT GIS TECHNOLOGIJĄ METODAI IR PRIEMONĖS

Teritorijų planavimo sprendimai yra tipiški daugiakriteriai uždaviniai priklausantys nuo daugelio gamtinių ir socioekonominių veiksnių, kurie iš principo neturi vieno teisingo sprendimo. Būtent todėl, metodologiniu atžvilgiu būtina optimizuoti vertinimo procedūrą, kurią dažniausiai apsunkina kriterijų prieštaravimas bei neretai pasitaikantis jų nesuderinamumas (Konstantinos, Georgios ir Garyfalos, 2019).

Šiame darbe buvo parengta metodika skirta parinkti vėjo jėgainių parkams tinkamas vietas, taikant GIS erdvinio modeliavimo metodą. Tinkamų vietų nustatymas vėjo elektrinių įrengimui, kurios pasiektų didesnius rezultatus su mažesniais ištekliais ar kaštais, yra sunkus ir kruopščios analizės reikalaujantis procesas, kurio tvarumas ir patikimumas tampa svarbiausiu prioritetu (Pambudi ir Nananukul, 2019). Kadangi vėjo energetikos potencialas sausumos teritorijoje yra didžiausias vakarų Lietuvoje (Marčiukaitis, Marčiukaitienė ir Tumosa, 2009), tačiau šiame regione itin dideli plotai yra griežtai ribojami dėl įvairių apsaugos zonų, šio tyrimo objektas – Tauragės apskrities teritorija (2.1 pav.). Šią apskritį sudaro 4 savivaldybės: Tauragės rajono, Šilalės rajono, Jurbarko rajono, Pagėgių rajono. Tyrimo objektas užima 4 408 km² arba 6,7 % visos Lietuvos teritorijos. Tauragės apskrities teritorijoje Lietuvos statistikos departamento duomenimis gyventojų skaičius 2019 metų pradžioje siekė 93 719 arba 3,8 % viso šalies gyventojų skaičiaus.

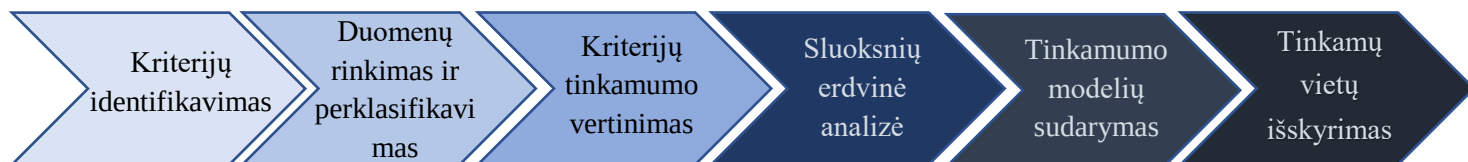


2.1 pav. Tyrimo objektas

Tauragės apskrities teritorijoje vidutinis metinis vėjo greitis 1981–2010 m. laikotarpiu siekė 3,5 m/s, o visoje Lietuvos teritorijoje vyraavo vakarinių ir pietinių rumbų vėjai, išskyrus Klaipėdą, kurioje

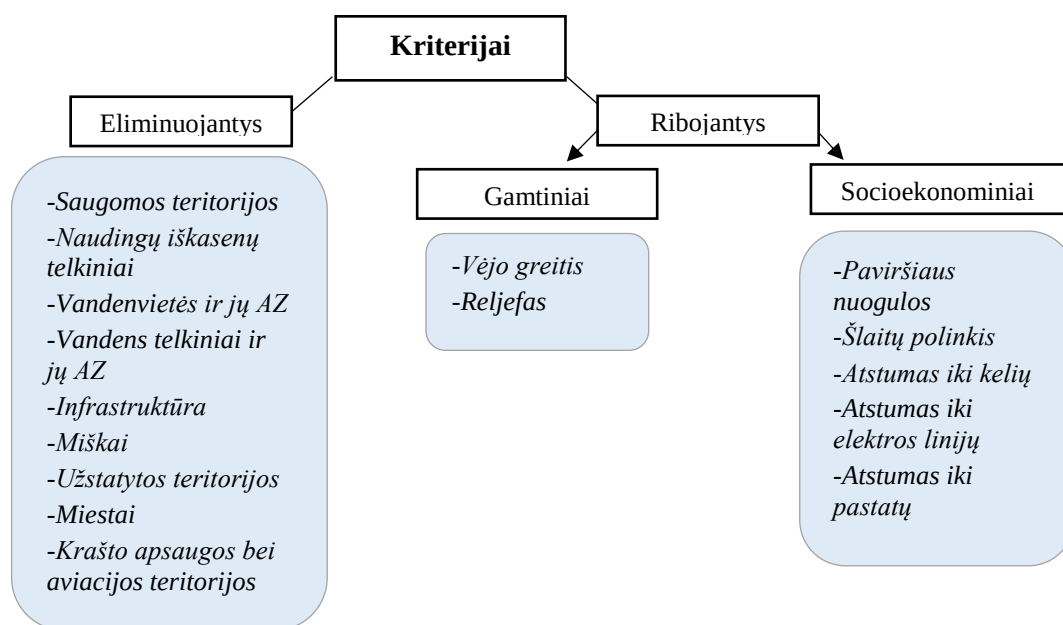
gana dažnai fiksuoti ir rytinių rumbų vėjai (Strolytė ir Rimkus, 2012). Lietuvos teritorijoje vyrauja nedideli reljefo aukščiai, tad reljefo požiūriu Jurbarko apskrities teritorija yra mažiau tinkama vėjo jėgainių statybai nei rytinė Lietuvos teritorijos dalis. Didžiausios aukštumos čia siekia tik apie 167 m.

Šiame darbe parengtą specialią metodiką, naudojant GIS erdvinio modeliavimo procedūrą būtų galima suskirstyti į eilę nuoseklių žingsnių (2.2 pav.).



2.2 pav. GIS erdvinio modeliavimo darbų seka

Pirmiausia, buvo atliekama literatūros analizė, kuri leido įvertinti, kokie kriterijai yra lemiami parenkant vietas vėjo jėgainių parkams, kada atsižvelgiama į tyrimų teritorijoje esančias gamtines ir socioekonominės sąlygas. Parenkant tinkamas vietas planuojamiems vėjo jėgainių parkams buvo naudojami gamtiniai ir socioekonominiai kriterijai, kurie buvo suskirstyti į 2 grupes: eliminuojantys ir ribojantys (2.3 pav.)



2.3 pav. Kriterijų suskirstymo schema

Pirmajai grupei priskiriami veiksniai, panaikinantys galimybę tam tikrame plote įrengti vėjo jėgainių parkus (pagal tinkamumo skalę – netinkami). Tai plotai, kuriuose pagal Lietuvos Respublikos įstatymus draudžiama vykdyti ūkinę veiklą (pvz., įrengti vėjo elektrinių parkus) (Lietuvos Respublikos

saugomų., 2001; Lietuvos Respublikos atsinaujinančių., 2011; Lietuvos Respublikos specialiosios., 1992). Antrajai grupei priskiriami gamtiniai ir socioekonominiai veiksniai, galintys riboti vėjo jėgainių įrengimą, pvz., sukelti eksploatacinius sunkumus, problemas. Taip pat šie kriterijai gali paveikti vėjo elektrinių parkų įrengimo kainą.

Eliminuojantys veiksniai panaikina bet kokią galimybę tam tikroje vietoje išnaudoti teritoriją. Tai yra plotai, kuriuose remiantis įvairiais įstatymais ir įstatymo lydimaisiais teisės aktais gamtinės aplinkos naudojimas draudžiamas, siekiant ją apsaugoti nuo nepageidaujamo antropogeninio poveikio.

Duomenų rinkimui ir GIS duomenų bazės sudarymui, atsižvelgiant į anksčiau minėtus kriterijus buvo panaudota ArcGIS 10.1 programinė įranga. Informacija apie vėjo greitį gauta iš Lietuvos energetikos instituto (2.1 lentelė). Surinkti vektoriniai duomenys apie pasirinktus kriterijus pirmiausia buvo pertvarkyti iš vektorinio modelio į rastrinį, kur teritorija yra padalinta į vienodo dydžio ląsteles su priskirta reikšme. Visi duomenys buvo atvaizduoti rastriniame duomenų modelyje pasirinktas 10 x 10 m ląstelės dydis.

2.1 lentelė. Informaciniai sluoksniai bei duomenų šaltiniai

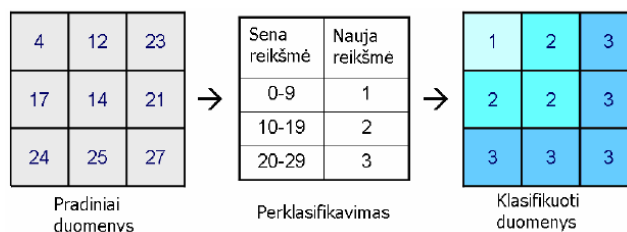
Pradinis informacinis sluoksnis	Šaltinis
Saugomos teritorijos	Lietuvos Respublikos saugomų teritorijų valstybės kadastras (2020–03–02)
Infrastruktūra: keliai, elektros linijos, geležinkelių linijos, dujotiekiai, naftotiekiai	Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:10 000 georeferencinių erdvinių duomenų bazė (2020–02–23)
Hidrografija: upės, ežerai, tvenkiniai, pelkės	Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:10 000 georeferencinių erdvinių duomenų bazė (2020–02–23)
Žemėnauda: miškai, miestai	Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:10 000 georeferencinių erdvinių duomenų bazė (2020–02–23)
Vandenvietės ir jų sanitarinės apsaugos zonos	Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:10 000 specialiųjų žemės naudojimo sąlygų duomenų bazė (2018–01–01)
Gyvenamieji ir kiti pastatai	Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:10 000 georeferencinių erdvinių duomenų bazė (2020–02–23)
Naudingųjų iškasenų telkiniai	Lietuvos Respublikos teritorijos M1:10 000 specialiųjų žemės naudojimo sąlygų duomenų bazė (2018–01–01)
Krašto apsaugos bei aviacijos teritorijos	Lietuvos Respublikos krašto apsaugos ministerija, 2016
Nuogulų sudėtis	Lietuvos geologijos tarnyba, 2020
Vėjas	Ignitis Lietuva, 2020
Atstumas iki pastatų, atstumas iki elektros linijų, atstumas iki kelių	Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:10 000 georeferencinių erdvinių duomenų bazė (2020–02–23)
Reljefas, slaitai, šiurkštumas	Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:50 000 georeferencinių erdvinių duomenų bazė (2020–02–23)

Ribojančios grupės kriterijai nepanaikina galimybės konkrečiam naudojimui panaudoti pasirinktų plotų, tačiau riboja galimybę tokius plotus įsisavinti norimu būdu, nes lemia būtinybę atsižvelgti į kylančią didesnę riziką pažeisti gamtinės aplinkos pusiausvyrą. Dažniausiai, norint pritaikyti šiuos plotus numatytam panaudojimui ir siekiant užtikrinti galimų natūralių pavojų prevenciją žymiai išauga sąnaudos, palyginus su teritorija, kuriai šie kriterijai netaikomi. Ribojantys kriterijai buvo suskirstyti į gamtinius ir socioekonominius. Jiems taikytas papildomas tinkamumo vertinimas pagal pasirinktą tinkamumo skalę (2.2 lentelė), nes įvairūs kriterijų komponentai turi skirtingą įtaką teritorijos tinkamumo vertinimui.

2.2 lentelė. Tinkamumo skalės bei balų apibūdinimas kriterijų reikšmės atžvilgiu (pagal Bagdanavičiūtę ir Valiūną, 2013)

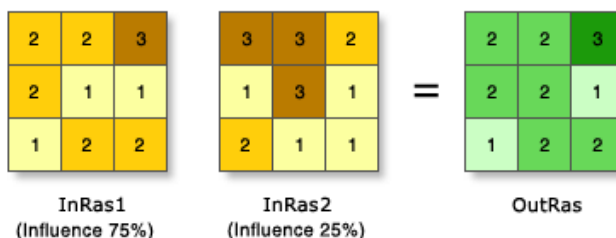
Tinkamumo skalė	Tinkamumo balas	Kriterijaus vertinimas		
		Gamtinė reikšmė	Socialinė reikšmė	Ekonominė reikšmė
Netinkami	0	Negrižtamas poveikis aplinkai	Negrižtamas poveikis visuomenei	Ekonomiškai neefektyvu, per dideli finansiniai kaštai
Mažai tinkami	1	Žymus poveikis aplinkai	Žymus poveikis visuomenei	Žemas ekonominis efektyvumas, reikalingi dideli finansiniai kaštai
Vidutiniškai tinkami	2	Nežymus poveikis aplinkai	Nežymus poveikis visuomenei	Vidutinis ekonominis efektyvumas, galimi papildomi finansiniai kaštai
Labai tinkami	3	Poveikio aplinkai nėra	Poveikio visuomenei nėra	Didelis ekonominis efektyvumas

Vertinant teritoriją gamtinių kriterijų požiūriu, vėjo greičio sluoksnis buvo skaitmenizuotas (duomenys iš Ignitis Lietuva) taikant pergrupavimo funkciją. Tauragės apskrities teritorija buvo sugrupuota pagal tinkamumo skalę, išskirtos labiausiai tinkamos ir mažai tinkamos teritorijos gamtinių kriterijų požiūriu.



2.4 pav. Pergrupavimo principo schema (ESRI, 2020)

Atlikus visų kriterijų duomenų redagavimą ir pergrupavimą kiekvienam kriterijui buvo suteikiamas santykinis svoris (pvz.: kriterijus 1 – 75%, kriterijus 2 – 25%) (2.4 pav.). Suredagavus duomenis bei priskyrus jiems vertes, buvo atlikta pagrindinė informacinių sluoksnių perdengimo analizė (angl. *Weighted overlay*) (2.5 pav.).



2.5 pav. Perdengimo analizės skaičiavimo principo schema (ESRI, 2020)

Tokiu būdu, programa kiekvienoje ląstelėje suskaičiuoja reikšmes (X) padaugina jas iš svorio koeficiento (S) ir gauną bendrą visų kriterijų tinkamumo reikšmę (C) pagal kurią išskiriami labai tinkami ir mažai tinkami plotai vėjo jėgainių parkų statybai (Bennui ir kt., 2007).

$$X_1 * S_1 + X_2 * S_2 \dots X_n * S_n = C$$

kur, X_1 – kiekvienos ląstelės reikšmė, S_1 – svorio koeficientas, n – eilės numeris C – bendra kriterijų tinkamumo reikšmė. Remiantis užsienio literatūra ir įvertinus kriterijų reikšmes pagal tinkamumo balo skalę buvo priskirtas kiekvieno kriterijaus svoris procentais.

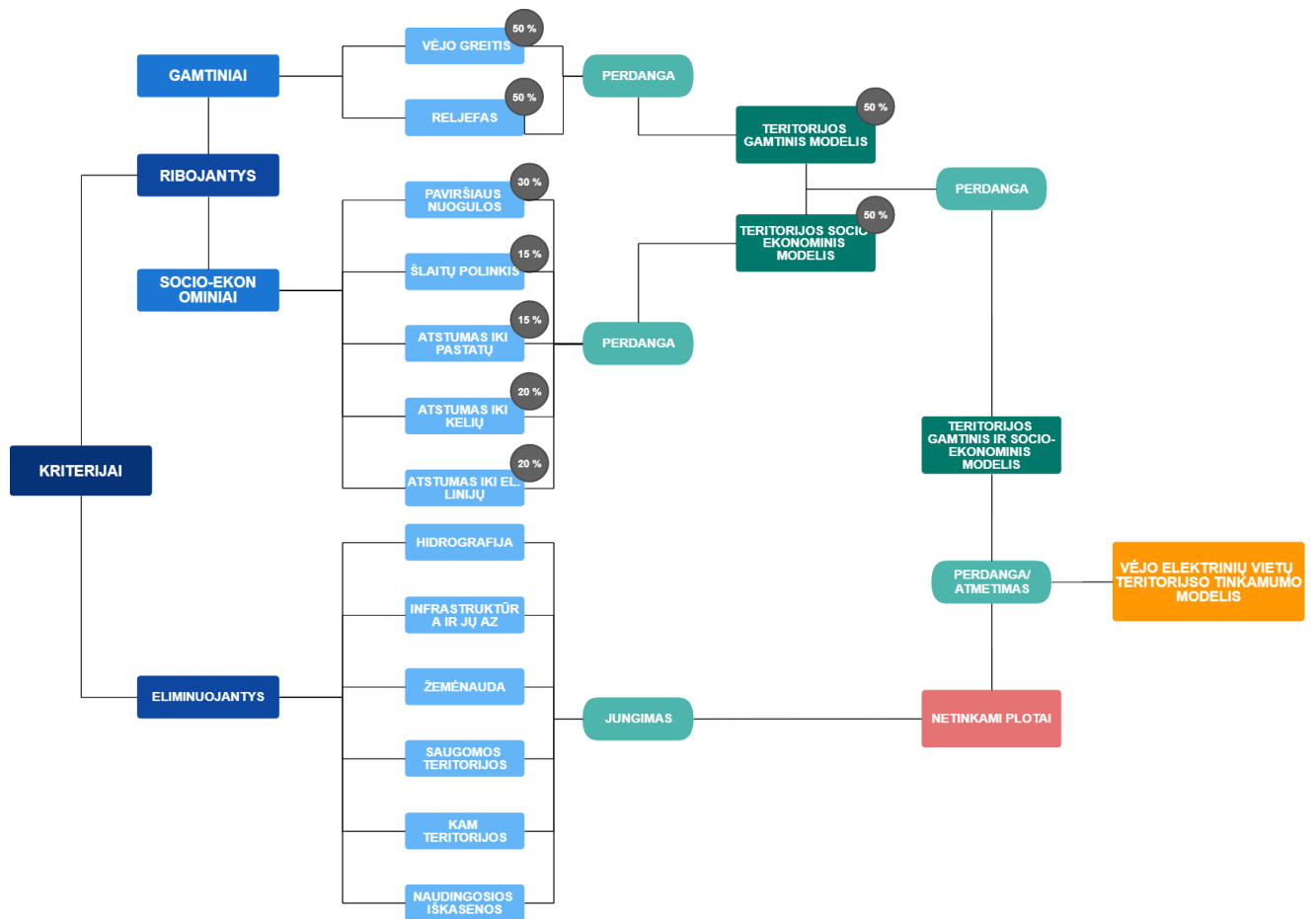
Priskyrus kriterijų svorius buvo galima atlikti teritorijos tinkamumo vertinimą, t.y. kriterijų informacinių sluoksnių perdengimą. Perdengimo analizės metu yra gaunami vėjo elektrinėms įrengti tinkamumo plotai, kurie atvaizduojami žemėlapiu (rastrinis teritorijos modelis).

Tokiu metodu yra atliekamos kelios perdengimo analizės su skirtingomis kriterijų grupėmis ir sudaromi keli skirtingi modeliai. Būtina paminėti, jog perdengimo metu, kai skirtingi kriterijai turi skirtingus svorius, tinkamumo skalė turi būti identiška, kitaip programa neatpažįsta reikšmių ir jas gali priskirti nėra duomenų neturinčių arba netinkamų plotų grupei, o tai gali padidinti modelio netikslumą.

Šiuo konkrečiu atveju buvo sudaryti modeliai, kuriuose plotai atvaizduojami pagal 3 lygių sudarytą tinkamumo skalę:

- gamtinis tinkamumo modelis (panaudojant tik gamtinius kriterijus);

- socioekonominis tinkamumo modelis (panaudojant tik socioekonominius kriterijus);
- gamtinis ir socioekonominis tinkamumo modelis (kuriame įvertinti ir gamtiniai ir socioekonominiai kriterijai);



2.6 pav. Kriterijų vertinimo struktūrinė schema

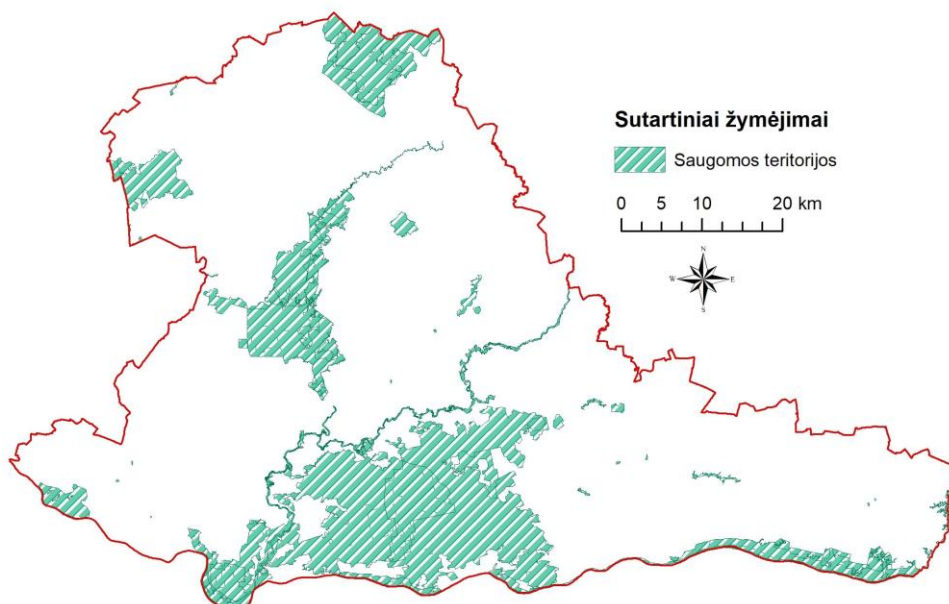
Panaudojant teritorijos gamtinio ir socioekonominio modelio rastrą buvo atliktas konvertavimas į vektorinį formatą. Į šį vektorinį teritorijos modelį įvedami netinkami plotai susidarę iš eliminuojančių kriterijų grupės. Tokiu būdu gaunamas vėjo elektrinių vietų teritorijos tinkamumo modelis (žemėlapis).

III. VĖJO ELEKTRINIŲ PARKO MODELIAVIMO KRITERIJŲ VERTINIMAS

3.1. Eliminuojančių kriterijų vertinimas

3.1.1. Saugomos teritorijos

Į Tauragės apskrities teritoriją patenka 167 saugomos teritorijos, kurių plotas – 135 716, 78 ha arba 30 % visos tiriamosios teritorijos (3.1 pav.). Tiesa, plotas yra apytikslis, nes nemaža dalis saugomų teritorijų persidengia.



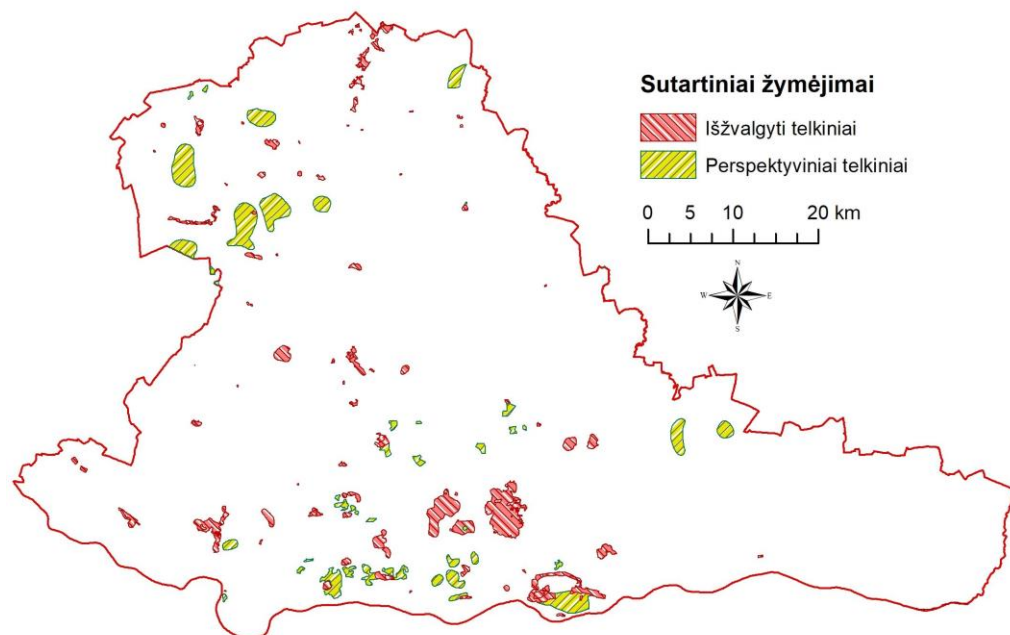
3.1 pav. Saugomos teritorijos tyrimo objekte

Daugelis saugomų teritorijų (draustiniai, nacionaliniai bei regioniniai parkai, rezervatai) buvo pašalinti iš Tauragės apskrities teritorijos, nes vėjo jėgainių parkų įrengimas tokiose teritorijose yra draudžiamas (Lietuvos Respublikos saugomų..., 2001).

3.1.2. Naudingosios iškasenos

Tauragės apskrities teritorijoje yra 113 naudingųjų iškasenų telkinių (3 akmens druskos, 34 durpių, 19 molio, 7 naftos, 2 opokos, 7 sapropelio, 20 smėlio, 5 smėlio ir žvyro, 34 žvyro). Bendras šių telkinių plotas – 18 172, 29 ha (7 pav.). Iš jų 96 telkiniai yra išžvalgyti, ištekliai yra patvirtinti Lietuvos geologijos tarnybos. Šiuose plotuose vėjo jėgainių parkų įrengimas yra neleistinas (Lietuvos Respublikos specialiosios..., 1992), o likusieji 35 telkiniai yra priskiriami neišžvalgytiems. Telkiniai priskiriami

perspektyviniams, juose gamybinių statinių ir įrenginių statymas nėra uždraustas, tačiau reikalauja daug papildomų derinimų.



3.2 pav. Naudingosios iškaskenos tyrimo objekte

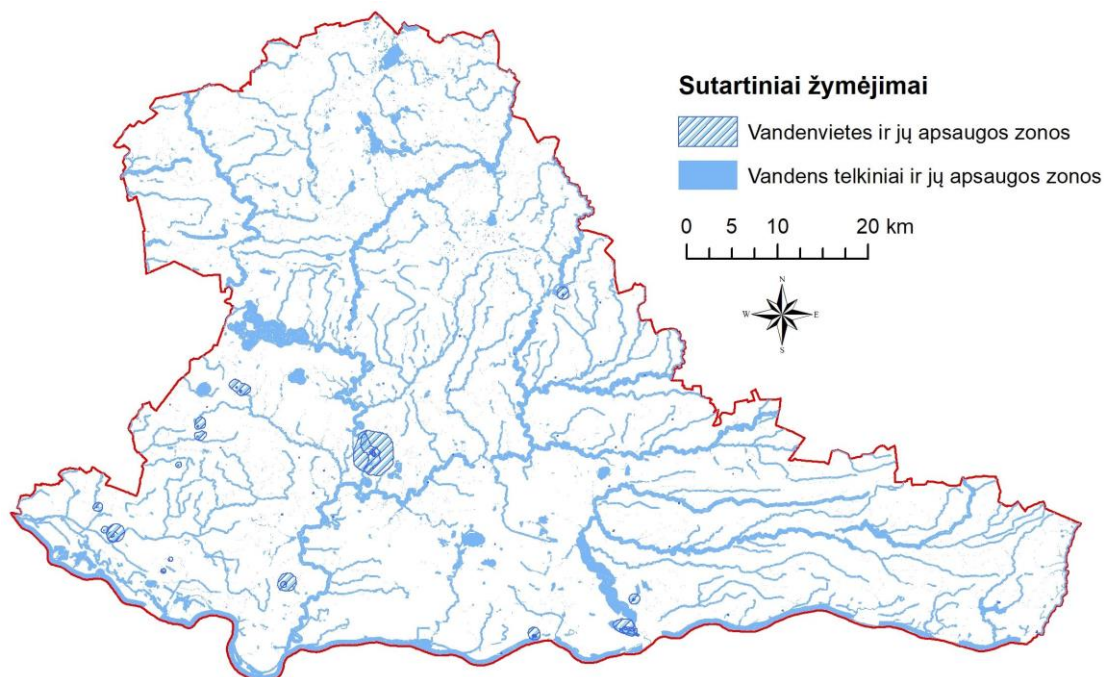
Netolimoje ateityje perspektyviniai plotai (3.2 pav.) gali būti patvirtinti, juose gali būti pradėta naudingųjų iškasenų gavyba, o tai gali sukelti papildomų trukdžių vėjo jėgainių parkų įrengimui, todėl juose įrengimas nerekomenduojamas.

3.1.3. Hidrografija

Plotai, kuriuose yra upės, ežerai, tvenkiniai buvo pašalinti galutiniame modeliavimo etape iš tyrimo rajono, kadangi juose vėjo jėgainių parkų įrengimas yra neleistinas (Lietuvos Respublikos specialiosios., 1992). Pagal minėtą įstatymą, visi paviršiniai telkiniai turi reglamentuotas ir nustatytas apsaugos juostas ir zonas, kuriose negalima jokia naujų statinių ir įrenginių statyba išskyrus hidrotechninius statinius. Paviršinių vandens telkinių apsaugos juostos ir zonos yra skirtingos. Jos išskiriamos pagal vandens telkinio kategoriją, reikšmę ir kitus veiksniai.

Remiantis specialiosiomis žemės naudojimo sąlygomis (1992) draudžiama sausinti pelkes ir šaltinius, transformuoti juos į žemės ūkio naudmenas, keisti jų hidrologinį režimą. Šios teritorijos taip pat buvo pašalintos galutiniame vertinimo etape modeliuojant teritorijos tinkamumą, kadangi vėjo

jėgainėms reikia stabilaus ir tvirto grunto, o tai būtų galima padaryti tik sausinant ar keičiant pelkės ir šaltinio režimą.



3.3 pav. Paviršiniai vandens telkiniai (jų apsaugos zonos), vandenvietės (jų apsaugos zonos) Tauragės apskrityje

Kaip matyti iš žemėlapių (3.3 pav.), vėjo elektrinių parkų įrengimas požeminių vandens telkinių (vandenviečių) sanitarinėse apsaugos zonose yra apribotas (Lietuvos Respublikos specialiosios..., 1992). Pirmojoje, griežto režimo apsaugos zonoje, įrenginius statyti draudžiama.

3.1.4. Infrastruktūra

Vėjo jėgainių parkų įrengimas yra negalimas ryšių linijų, elektros linijų, kelių, geležinkelių, magistralinių dujotiekių bei naftotiekių apsaugos zonose. Jos yra nustatytos ir nurodytos Lietuvos Respublikos specialiosiose žemės naudojimo sąlygose (1992).

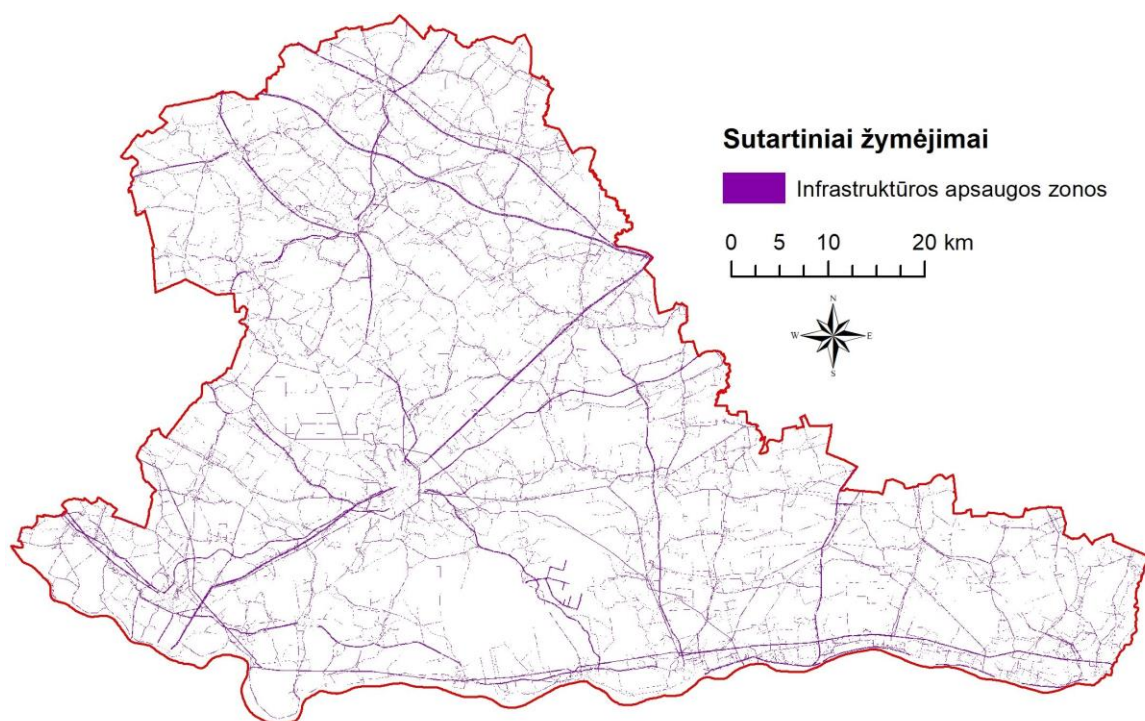
Įvertinus įstatyminę bazę, buvo sugeneruotas bendras infrastruktūros sluoksnis, kuriame sujungtos kelių, geležinkelių, elektros linijų, ryšių linijų, magistralinių dujotiekių ir naftotiekių apsaugos zonos. Visos šios zonos, aptartos žemiau, galutiniame modeliavimo etape taip pat buvo pašalintos.

Ryšio linijų apsaugos zonoje (žemės juostoje, kurios plotis po 2 metrus abipus požeminio kabelio trasos arba orinės linijos kraštinių laidų ir 3 metrai aplink požeminį ar antžeminį stiprinimo punktą).

Kadangi keliai reikalauja įvairių rekonstrukcijų, o teritorijų plėtra skatina plėsti kelių tinklą yra nustatytos abipus kelio apsaugos zonos, kurios užtikrina saugias eismo sąlygas (Lietuvos Respublikos specialiosios., 1992). Kelių apsaugos zonos yra nustatomos pagal kelio kategoriją: magistralinių kelių po 70 metrų, krašto kelių po 50 metrų, rajoninių kelių po 20 metrų, vietinės reikšmės kelių po 10 metrų.

Geležinkelių infrastruktūra (3.4 pav.) taip pat reikalauja reglamentuota saugumo atžvilgiu, todėl geležinkelio naudojamų kelių ir jų įrenginių apsaugos zona miestuose yra po 20 metrų abipus kraštinių kelių ašių, o kaimo vietovėse – po 45 metrus abipus kraštinių kelių ašių (Lietuvos Respublikos specialiosios., 1992).

Elektros oro tiekimo linijos vėjo jėgainių parkams yra svarbios eksploataciniu atžvilgiu, tačiau pagal linijos galingumą taip pat yra išskiriamos apsaugos zonos: iki 1 kV – po 2 metrus abipus linijos; 6, 10 kV – po 10 m; 35 kV – po 15 m; 110 kV – po 20 m; 330 kV – po 30 m; 750 kV – po 40 m. Šiose zonose statinių įrengimas yra draudžiamas (Lietuvos Respublikos specialiosios., 1992).

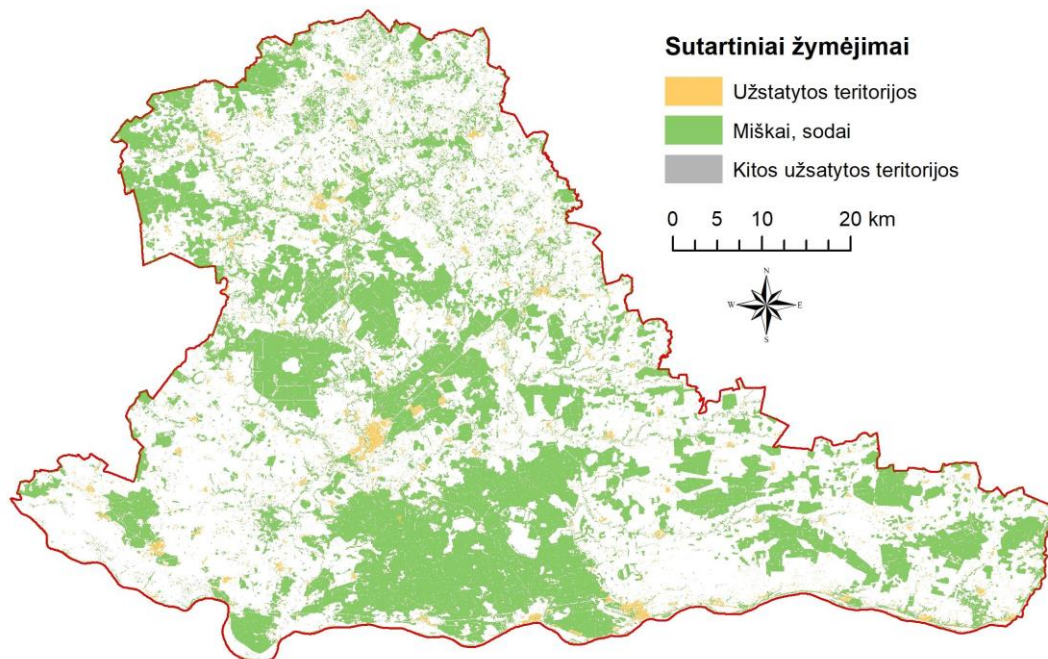


3.4 pav. Infrastruktūros apsaugos zonos Tauragės apskrityje

Specialiųjų žemės naudojimo sąlygų būtina laikytis naudojantis žeme, esančia magistralinių dujotiekių ir naftotiekių bei jų įrenginių apsaugos zonoje. Apsaugos zonos magistraliniams naftotiekams ir dujotiekams yra po 50 metrų abipus vamzdžio ašies, o žemės ir miškų ūkiui naudojamose žemėse apsaugos zonos plotis siekia 25 metrus (Lietuvos Respublikos specialiosios., 1992).

3.1.5. Žemėnauda

Miško žemėje statyti statinius ir įrenginius yra draudžiama, o žemės keitimo procedūra yra labai problemiška ir sudėtinga (Lietuvos Respublikos miškų..., 1994).



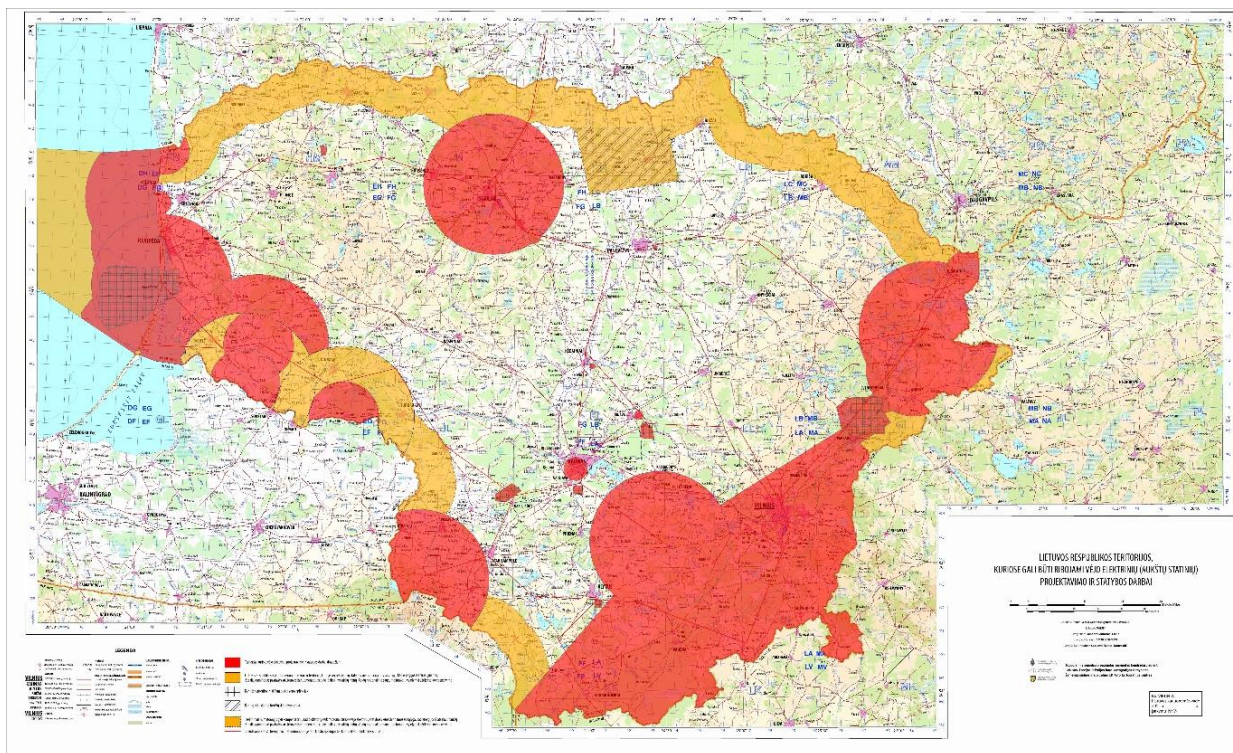
3.5 pav. Žemėnauda Tauragės apskrityje

Įrengtas vėjo jėginių parkas netoli miško būtų neefektyvus, čia susidarytų vėjo kliūtys, kurios ženkliai sumažintų vėjo greitį. Miestuose statyti vėjo jėginių parkus draudžiama, todėl gyvenamaisiais ir kitais pastatais, užstatytos teritorijos pašalintos galutiniam modeliavimo etape (3.5 pav.). Dalį pašalintų teritorijų užima: kapinės, stadionai, gamybinės teritorijos, sąvartynai, atliekų surinkimo aikštelės ir kt.

3.1.6. Krašto apsaugos bei aviacijos teritorijos

Dar vienas ribojantis veiksnys vėjo jėginių parkų įrengimui yra įvairūs aviacijai bei krašto apsaugai skirti poligonai, oro uostai, aerodromai, radiolokatoriai bei kiti įrenginiai ar teritorijos. Šios teritorijos, objektai yra saugomi bei prižiūrimi ne tik Lietuvos Respublikos krašto apsaugos ministerijos, bet ir Lietuvos Respublikos energetikos ministerijos. Atsižvelgiant į nacionalinio ir tarptautinio saugumo reikalavimus, kurie nuolat atnaujinami oro uostams bei karinių poligonų teritorijoms yra nustatomos įvairios sanitarinės apsaugos, buferinės apsaugos ir kiti apribojimai.

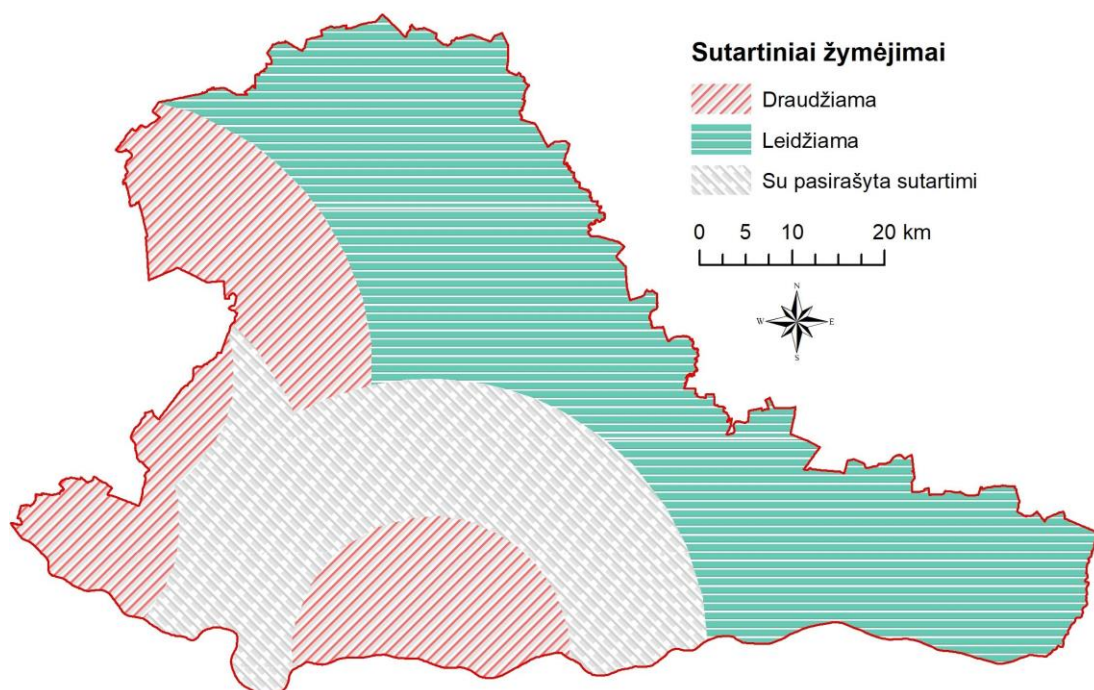
Lietuvos vyriausybės nutarimu yra nustatyta, jog statinių ir įrenginių, kurių aukštis, juos baigus statyti, rekonstruoti ar įrengti virš žemės paviršiaus yra 100 metrų ir daugiau (pasienio ruože 30 m), statybos, rekonstravimo ar įrengimo darbai Lietuvos Respublikos teritorijoje turi būti suderinti su civilinės aviacijos administracija bei valstybės sienos apsaugos tarnyba (Aviacijai galinčių...2012).



3.6 pav. Teritorijos, kuriose gali būti ribojami vėjo elektrinių statybos darbai (Dėl Lietuvos..., 2016)

Siekiant sustiprinti aukštų pastatų bei kitų įrenginių reguliavimą, tokių kaip vėjo jėgainės, ryšio bokštai ar kt., buvo priimtas Lietuvos kariuomenės vado įsakymas dėl jų statybos (Dėl Lietuvos..., 2016) (3.6 pav.). Juo patvirtintos teritorijos, kuriose ribojami vėjo elektrinių projektavimo ir statybos darbai.

Atlikus teritorijos skaitmenizavimą Tauragės apskrities teritorijoje buvo išskirti plotai, kuriuose vėjo jėgainių įrengimas leidžiamas arba draudžiamas, bei plotai, kuriuose gavus leidimą, tokius įrenginius statyti galima. Į Tauragės apskrities teritoriją patenka plotai kuriuose vėjo jėgainės statyti draudžiama (užima 112213,30 ha arba 21 % visos tyrimo objekto teritorijos) ir kurie galutiniame modeliavimo etape bus eliminuoti. Teritorijos, kuriose vėjo jėgainės leidžiama statyti tik gavus leidimą ir sudarius sutartį sudaro (26 %) teritorijos, kas atitinka 115541, 72 ha. Likusi teritorijos dalis (48 %) Tauragės apskrities teritorijos yra be apribojimų (213019, 43 ha plote).



3.7 pav. Vėjo jėginių statybos ir projektavimo darbų apribojimai

Tolimesnėje analizėje šis kriterijus bus vienas svarbiausių teritoriją vertinant vėjo elektrinių parkų įrengimo požiūriu.

3.2. Ribojančių gamtinių kriterijų vertinimas

3.2.1. Reljefas

Reljefo veiksnys taip pat nulemia vėjo jėginių parkų vietas. Kuo reljefo reikšmė didesnė, tuo vėjo greitis bei turbulencija bus didesni (vėjas mažiau atsimuša į įvairias kliūtis). Marčiukaičio (2009) teigimu, 5 % siekiantis reljefo pakilimas gali 5 % pakeisti vidutinę vėjo greičio reikšmę vėjaračio aukštyje ir vėjo pagalba išgaunamas energijos kiekis gali padidėti iki 15 %.

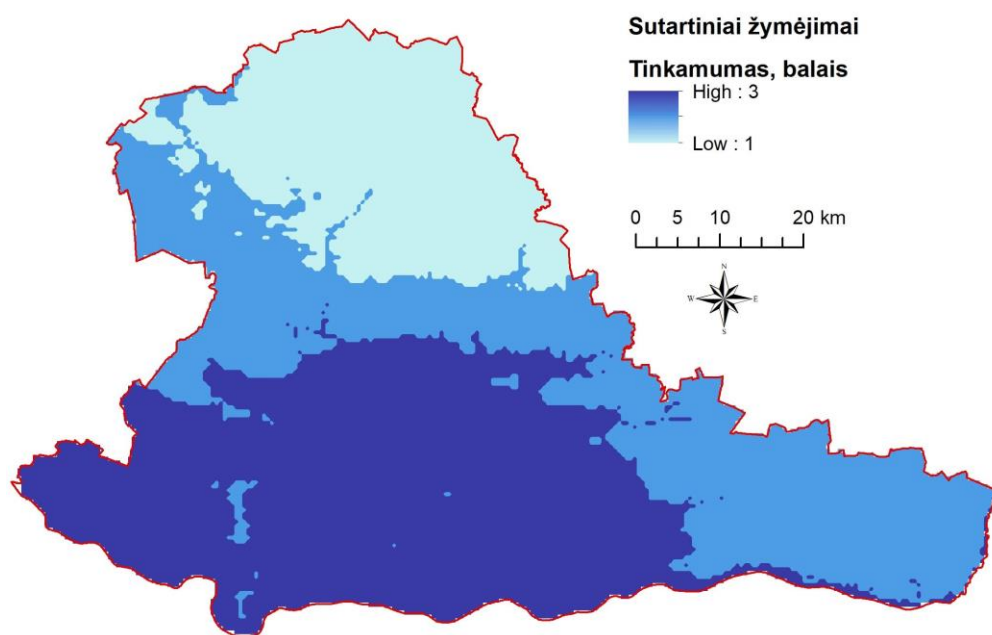
Dar vienas aukštesnių vietovių teigiamas bruožas yra tas, jog dažniausiai tokios vietovės yra retai apgyvendinamos, nekyla vietos gyventojų preištaramai. Tačiau tokios vietovės reikalauja daugiau priežiūros ir papildomų kaštų tiesiant elektros linijas, kelius ir kt.

Reljefui įvertinti buvo panaudoti GDR50LT duomenų bazės duomenys, t.y. aukščių izohipsės, kurios buvo transformuotos į rastrą. Galiausiai pagal tinkamumo skalę sudarytas Tauragės apskrities reljefo žemėlapis (3.1 lentelė.).

3.1 lentelė. Reljefo vertinimas pagal tinkamumo skalę

Tinkamumo skalė	Tinkamumo balas	Kriterijaus reikšmė
Mažai tinkami	3	0–50 m
Vidutiniškai tinkami	2	50–100 m
Labai tinkami	1	100–210 m

Kaip matyti iš žemėlapių (3.8 pav.), tyrimo objekte plotai vertinami pagal aukščiau pateiktą skalę, pasiskirstę gana vienodai. 1/3 visos teritorijos yra 0–50 m aukštyje.



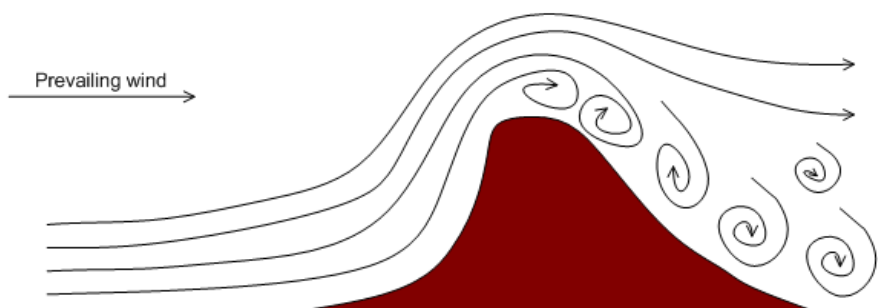
3.8 pav. Reljefas Tauragės apskrityje

Labai panaši dalis teritorijos priskiriama plotams, kurių reljefo aukštis siekia nuo 50 iki 100 m, likusioje teritorijos dalyje aukštis siekia daugiau nei 100 m. Čia vėjo greitis būtų didžiausias, tačiau įrengimo ir eksploatacijos kaštai, palyginus, išaugtų labai stipriai.

3.2.2. Vėjo greitis

Vėjo greitis nėra pastovus meteorologinis reiškiny. Jo greitį bei kryptį nuolatos veikia įvairūs veiksniai: geografinė padėtis, reljefas, žemės paviršiaus šiurkštumas ir įvairios sutinkamos kliūtys. Atsižvelgiant į jėgainės geografinę padėtį, vėjo elektrinių parkus geriausia įrengti 40°–50° pietų platumoje, o ne ramiuose regionuose prie ekvatoriaus (Australian wind energy association [AWEA], 2004).

Kalvos, gūbriai, kalnai ir kiti aukštesni reljefo nelygumai gali sustiprinti vėjo greitį. Yra manoma, jog gūbrių virtinės ar kalnai veikia vėjo greitį kaip barjerą, todėl atrodo jog tokios vietos ekonomiškai yra netinkamos (3.9 pav.).



3.9 pav. Vėjo greičio kitimas kalnuotoje vietovėje (AWEA, 2004)

Vyraujantis vėjas, atsimušdamas į kalvą, kyla į viršų, o turbulencija ir greitis padidėja, todėl atsižvelgiant į vėjo greitį ir jo jėgą, tokia vietovė gali būti tinkama vėjo elektrinėms įrengti (AWEA, 2004).

Labai lygus paviršius, kaip jūra ar ledas, turi labai mažą poveikį vėjo greičiui. Vėjo elektrinių parkams įrengti itin tinkamos vietos yra pakrantės zonos arba jūra. Tokiose vietovėse vėjas turi nedidelę turbulenciją, o vėjo greitis yra didesnis nei tipiškoje sausumos vietovėse, esančiose toliau nuo jūros.

Marčiukaitis (2009) taip pat pastebi ir bendrus vėjo srautų kaitos dėsningumus Lietuvoje: kuo didesnis paviršiaus šiurkštumas, tuo vėjo šlytis (skirtumas tarp vėjo greičio ir krypties per trumpą atstumą) didesnis, o vėjo greitis mažesnis. Iš to aiškėja, jog šiurkštesni paviršiai gali sumažinti vėjo greitį ir padidinti vėjo turbulentiškumą, kuris sumažintų vėjo jėgainės galimybes pagaminti maksimalų kiekį elektros energijos (AWEA, 2004).

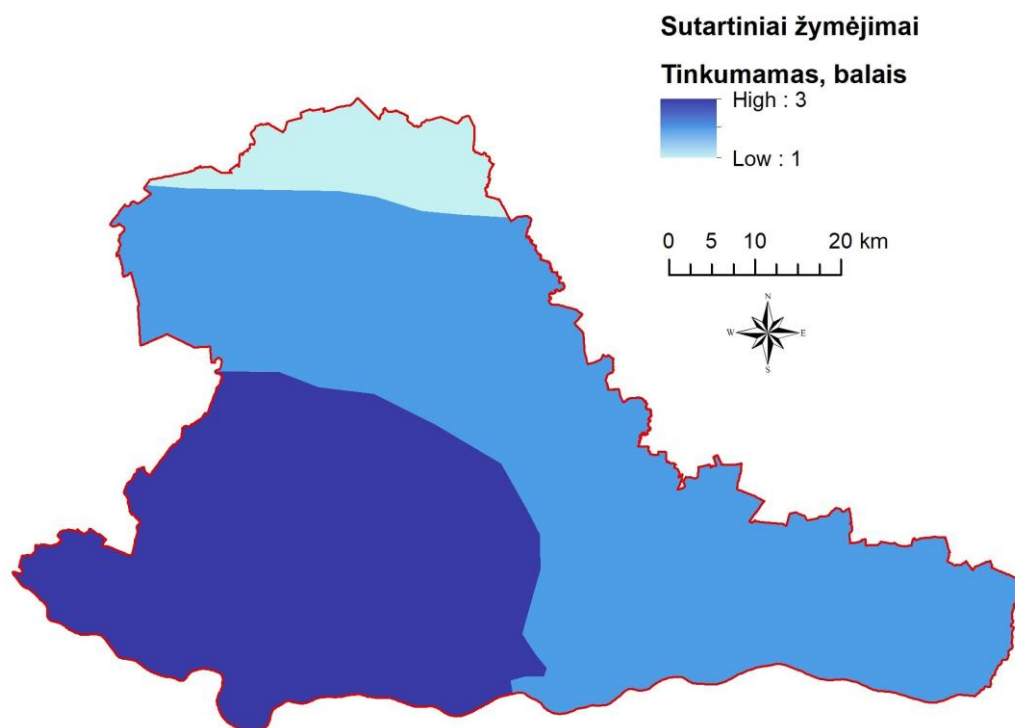
Vėjo greitį gali sumažinti kliūtys pasitaikančios vėjo kelyje (pvz. pastatai, medžiai, miškai, įrenginiai), todėl atliekant žemės tinkamumo vėjo jėgainių parkui analizę, turi būti įvertintos visos esančios ir galinčios atsirasti aplinkinės kliūtys (AWEA, 2004; Rodman and Meentemeyer, 2006). Rekomenduojama, jog aplink vėjo jėgainių parkus 500 m spindulio atstumu aukštesnių nei 10 metrų kliūčių būtų kuo mažiau (Baban and Parry, 2001).

Pateikti vėjo greičiai yra sumodeliuoti prie 50 m aukščio. Šio kriterijaus informacinio sluoksnio gardelės dydis – 10 x 10 m. Panaudojus pergrupavimo funkciją, vėjo greitis buvo sugrupuotas pagal tinkamumo skalę (3.2 lentelė).

3.2 lentelė. Vėjo greičio vertinimas pagal tinkamumo skalę

Tinkamumo skalė	Tinkamumo balas	Kriterijaus reikšmė
Mažai tinkami	1	4,5 m/s
Vidutiniškai tinkami	2	4,5–5,0 m/s
Labai tinkami	3	5,0–6,0 m/s

Būtina paminėti, jog kuo didesniame aukštyje matuojami vėjo greičiai, tuo tikslesni rezultatai. Vėjo greitis analizės metu yra vienas svarbiausių kriterijų. Dažnu atveju, kiekviena privati įmonė prieš investuodama, atlieka tokius matavimus. Kiekvienai grupei priskyrus tinkamumo balą, buvo sudarytas vėjo greičio tinkamumo žemėlapis (3.10 pav.), kuriame atvaizduojami plotai su vidutiniais vėjo greičiais 50 m aukštyje.



3.10 pav. Vėjo greitis Tauragės apskrities teritorijoje

Iš žemėlapio matyti, jog didžiausi vėjo greičiai yra pasiekiami pietvakarinėje tyrimo teritorijos dalyje (37 % visos teritorijos), kur vėjo greitis siekia nuo 5 iki 6 m/s. Mažiausi vėjo greičiai – rytinėje Tauragės apskrities dalyje ir siekia – 4.5 m/s (šie plotai sudaro tik 7 % visos teritorijos). Didžiojoje tyrimo objekto teritorijos dalyje vėjo greitis siekia 4,5–5 m/s ir užima 56 % visos teritorijos.

3.3. Ribojančių socioekonominių kriterijų vertinimas

3.3.1. Atstumas iki pastatų

Dažniausiai vėjo elektrinių parkams įrengti yra parenkamos retai apgyvendinamos vietovės, nes šie parkai užima didelius plotus, skleidžia triukšmą, vibraciją bei lemia didesnių šešėlių atsiradimą (AWEA, 2004). Jeigu vėjo jėgainių parkams pasirenkamos tankiai apgyvendinamose teritorijose, dažniausiai kyla gyventojų pasipriešinimas, kuris pasunkina parkų įrengimą. Konfliktai kyla dėl privačių žemių išpirkimo, taip pat dėl vietiniams gyventojams atsirandančios baimės poveikio sveikatai klausimu ir kt. (Harrison, 2012).

Įvertinant vietas, tinkamas vėjo jėgainių parkams, būtina nustatyti mažiausią saugų atstumą tarp jėgainės ir gyvenamųjų bei visų kitų pastatų. Vėjo jėgainės sukelia triukšmą bei šešėliavimą, todėl buvo sukurtos 3 apsauginės zonos pagal tinkamumo skalę (3.3 lentelė) vertinant atstumą tarp jėgainės ir visų kitų artimiausių jai pastatų.

3.3 lentelė. Atstumo iki pastatų vertinimas pagal tinkamumo skalę

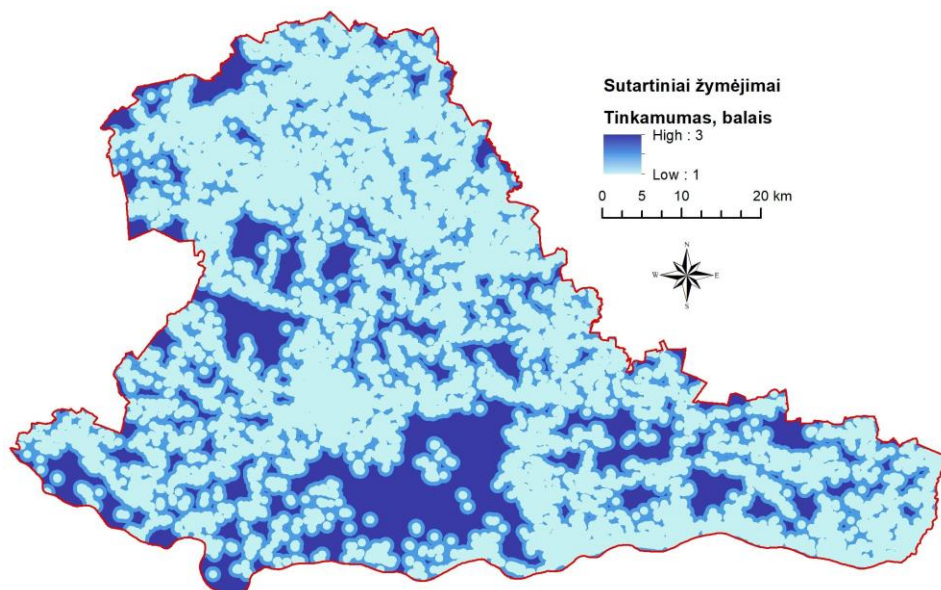
Tinkamumo skalė	Tinkamumo balas	Kriterijaus reikšmė
Mažai tinkami	1	0–500 m
Vidutiniškai tinkami	2	500–1000 m
Labai tinkami	3	>1000 m

Šis veiksnys yra vienas jautriausių ir sukeliančių didžiausią visuomenės dėmesį. Neretai yra atliekami papildomi vertinimai (būtent poveikio visuomenės sveikatai ir aplinkai), siekiant įrodyti institucijoms, jog poveikis šioms grupėms nėra didelis, taip pat norint informuoti klausimu suinteresuotą visuomenės dalį.

Saugus atstumas nuo gyvenamųjų namų yra daugiau negu 1 km, o mažiausiai tinkama atstumo riba siekia 500 m. Numatant tokį vėjo jėgainių parko atstumą iki gyvenamųjų pastatų būtų galima tikėtis didelio gyventojų pasipriešinimo. Pagal tinkamumo skalę buvo sudarytas atstumo iki pastatų kriterijaus žemėlapis (3.11 pav.).

Didžiausią dalį Tauragės apskrities teritorijos užima mažai šiuo atžvilgiu tinkami plotai, sudarantys net 59 % visos tyrimo teritorijos. Tai reiškia, jog didelę dalį tyrimo objekto užima plotai, kuriuose daug gyvenamųjų ir kitų pastatų. Mažiausią tyrimo objekto dalį užima labai tinkami plotai, kur

atstumas tarp jėgainės ir gyvenamųjų pastatų siekia daugiau kaip 1 kilometrą (16 %). Likusi teritorijos dalis arba 25 % priklauso vidutiniškai tinkamų plotų grupei.



3.11 pav. Atstumas iki pastatų Tauragės apskrities teritorijoje

Apibendrinus galime teigti, jog tyrimo objekto teritorija yra nemažai apgyvendinta ir galimas gyventojų ar kitų juridinių asmenų pasipriešinimas dėl kylančio didesnio neigiamo poveikio aplinkai bei sveikatai.

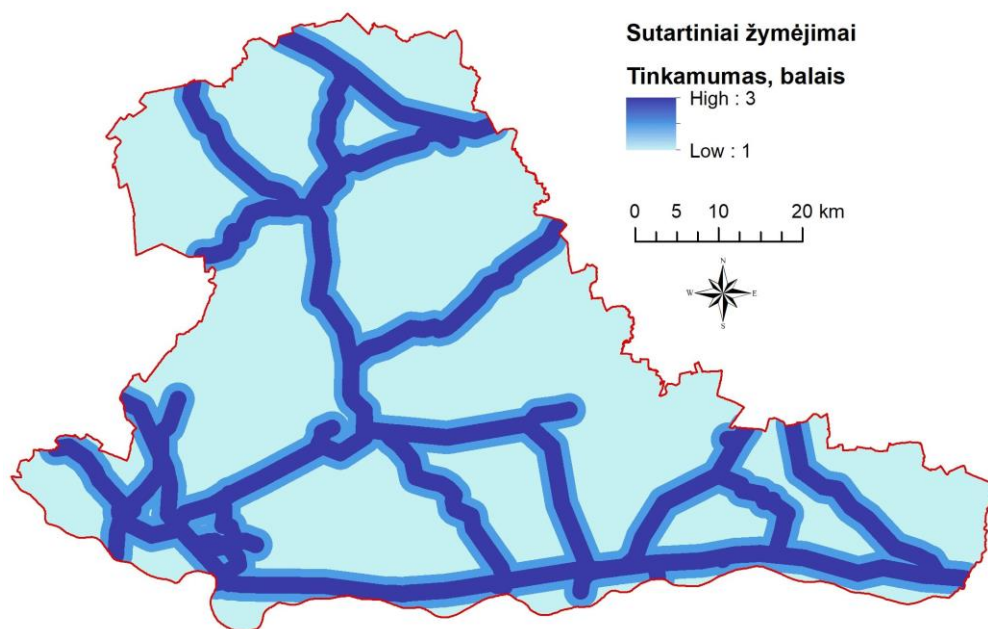
3.3.2. Atstumas iki elektros linijų

Elektros linijos yra svarbus veiksnys, lemiantis vėjo jėgainių parkų vietas. Kuo elektros linijos arčiau naujai, planuojamo vėjo elektrinių parko (35 kV, 110 kV ir 330 kV), tuo mažiau kaštų yra sunaudojama naujų įrenginių statytumui bei kabelių tiesimui (AWEA, 2004). Elektros energijos praradimas taip pat siejamas su atstumu nuo vėjo elektrinių parkų iki elektros energijos vartotojų. Kuo atstumas mažesnis tuo mažiau elektros energijos yra netenkama (Haaren and Fhtenakis, 2012). Pagal tinkamumo skalę buvo sudaryta 3 atstumo zonos bei atliktas duomenų pergrupavimas (3.4 lentelė).

3.4 lentelė. Atstumo iki el. linijų vertinimas pagal tinkamumo skalę

Tinkamumo skalė	Tinkamumo balas	Kriterijaus reikšmė
Mažai tinkami	1	>2000 m
Vidutiniškai tinkami	2	1000–2000 m
Labai tinkami	3	0–1000 m

Remiantis šia vertinimo sistema teritorija suskirstoma į: labai tinkamą, jei vėjo jėginių parkas būtų nutolęs ne didesniu kaip 1000 m atstumu iki elektros linijos, o netinkamą arba ekonomiškai nenaudingą, jei būtų nutolęs – 2000 metrų ir daugiau.



3.12 pav. Atstumas iki elektros linijų pagal tinkamumo skalę Tauragės apskrityje

Kaip matyti iš žemėlapių (3.12 pav.) didžiąją dalį tyrimo objekto užima mažai tinkami plotai (net 42 % visos teritorijos). Pagal šį kriterijų, tokiose teritorijose įrengti vėjo elektrinės būtų mažiausiai naudinga, kadangi išaugtų elektros linijų tiesimo kaštai. Vidutiniškai ir labai tinkami plotai sudarė 48 % tyrimo objekto teritorijos. Elektros linijų apsaugos zonos, kuriose vėjo jėginių parkų įrengimas – draudžiamas, buvo pašalintos galutinio modeliavimo etape.

3.3.3. Atstumas iki kelių

Socioekonominiai kriterijai yra svarbūs parenkant vietas, tinkamas vėjo jėginių parko įrengimui. Vienas iš tokių veiksnių yra atstumas iki kelių. Geras privažiavimas prie vėjo elektrinių parko yra svarbus ne tik parko įrengimo metu, bet ir tolesnei jo priežiūrai. Įrengimo metu, vėjo jėgainės yra gabenamos ir montuojamos panaudojant milžiniškus sunkvežimius, kranus.

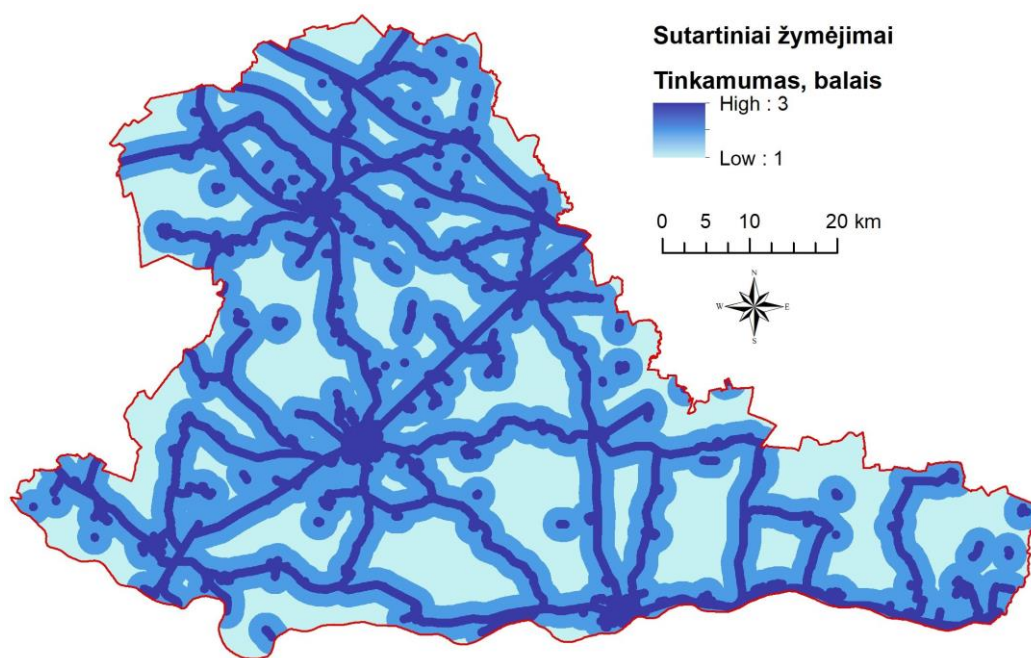
Būtina pažymėti, jog naujų kelių tiesimas yra labai brangus, o privažiavimas reikalingas prie kiekvienos parkuose įrengtos vėjo jėgainės. Šlapesnėse vietovėse dažniausiai žemės paviršius yra suspaudžiamas ir užpilamas žvyro sluoksniu, kad būtų sumažintas slidumas ir padidintas stabilumas (Haaren and Fhtenakis, 2012). Arti būsimos vėjo jėgainės esantys, geros būklės keliai, gali ženkliai

sumažinti kaštus ir palengvinti įrengimo darbus. Pagal tinkamumo skalę buvo sudarytos 3 skirtingo atstumo zonos bei atliktas duomenų pergrupavimas (3.5 lentelė).

3.5 lentelė. Atstumo iki kelių vertinimas pagal tinkamumo skalę

Tinkamumo skalė	Tinkamumo balas	Kriterijaus reikšmė
Mažai tinkami	1	>2000 m
Vidutiniškai tinkami	2	500–2000 m
Labai tinkami	3	0–500 m

Vertinant plotų tinkamumą kelių atžvilgiu, atrinkti keliai su asfalto danga (jie yra patys tinkamiausi tiek įrengiant vėjo jėginių parkus, tiek eksploataciniu laikotarpiu). Kelių zonos, kuriose vėjo jėginių parkų įrengimas yra draudžiamas, buvo pašalintos galutinio modeliavimo etape. Kelių su asfalto danga tinklas pasiskirstęs gana tolygiai per visą Tauragės apskrities teritoriją, todėl galime teigti, kad tyrimo objektas pagal tokių kelių tankumą yra tinkamas vystyti vėjo elektrinių veiklą.



3.13 pav. Atstumas iki kelių pagal tinkamumo skalę Tauragės apskrityje

Žemėlapyje matyti (3.13 pav.), jog skirtingai nei pagal atstumą iki elektros linijų, čia didesnę dalį teritorijos sudaro vidutiniškai tinkami plotai, užimantys – 49 % visos tiriamojo objekto teritorijos. Toliau

seka mažai tinkami plotai, užimantys – 28 %, ir labai tinkami plotai, pagal atstumo iki kelių kriterijų užimantys – 23 % visos teritorijos.

3.4.1. Nuogulų sudėtis

Vertinant vėjo elektrinių parko vietą, būtina išanalizuoti paviršiaus nuogulų sudėtį ir struktūrą tiriamoje vietovėje. Vėjo elektrinės reikalauja stipraus įrengimo pamato, kad būtų galima apsaugoti konstrukcijos nuo stiprių vėjų bei vandens erozijos. Esant audroms, uraganams, kur vėjo greitis siekia 30 m/s ar daugiau gali būti pažeistos vėjo elektrinės konstrukcijos. Iškritus dideliame kritulių kiekiui gali suaktyvėti vandens erozija, galinti paveikti vėjo jėgainės pamatus ir sukelti įvairių techninių trikdžių (AWEA, 2004).

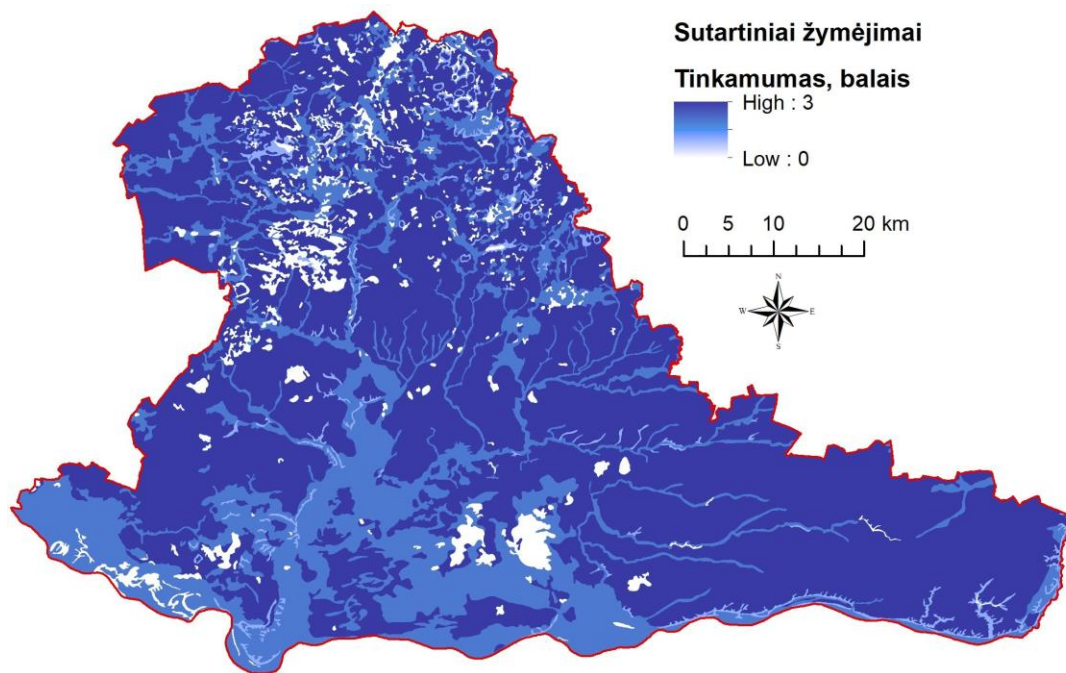
Tauragės apskrityje vyrauja 14 litologinių nuogulų tipų. Visos nuogulos pagal jų stiprumą buvo suskirstytos į 4 grupes remiantis tinkamumo skale (3.6 lentelė).

3.6 lentelė. Nuogulų geotechninių savybių ir tinkamumo vertinimas (pagal Bagdanavičiūtę ir Valiūną, 2013)

Geotechninės savybės	Nuogulų genetiniai litologiniai tipai	Tinkamumo skalė	Tinkamumo balas
Labai spūdūs	pelkių nuogulos (b IV); sapropelis (m IV, m IV PL, m IV L)	Netinkami	0
Silpni	durpingas smėlis (lg III bl, m IV L, m IV PL, i IV); deliuvinės nuogulos (d IV, s,d III- IV, d IV);	Mažai tinkami	1
Vidutinio stiprumo	aleuritas (lg III bl, f III bl, i IV, m IV PL, m IV L); įvairiagrūdžiai smėliai (a iV, a III bl, f III bl, ft III bl, i IV, i IV PL, lgt III bl, lg III bl, lg III B, m IV PL, m IV L, m IV)	Vidutiniškai tinkami	2
Stiprūs ir labai stiprūs	žvirgždingas smėlis (f III bl, ft III bl); smėlis su žvirgždu (a III bl, ft III bl, f III bl)molis (lg III bl, m IV L); aleuretingas molis (lg III bl); moreninis priemolis ir priesmėlis (g III bl, gt III bl, gt III bl2, gt III bl4)	Labai tinkami	3

Labai spūdūs gruntai, kaip pagrindas įrenginiams, yra netinkami (Bucevičiūtė, Marcinkevičius ir Danusevičienė, 1997). Šiems gruntams priskiriamos visos pelkių nuogulos bei sapropelis. Durpingas

smėlis bei deliuvinės nuogulos priskirtos silpniems gruntams. Šios nuogulos pagal tinkamumo skalę yra mažai tinkamos vėjo jėgainių parko įrengimui. Aleuritas, moreninis priemolis bei priesmėlis, molis bei įvairiagrūdžiai smėliai priskiriami vidutinio stiprumo nuoguloms ir pagal tinkamumo skalę, o plotai, kurių gruntas sudarytas iš šių nuogulų, patenka į vidutiniškai tinkamų grupę. Labai tinkami vėjo jėgainėms įrengti yra stiprūs ir labai stiprūs gruntai, kuriems priskiriami žvirgždingas smėlis bei smėlis su žvirgždu. Įvertinus tyrimo objekto teritoriją pagal nuogulų sudėtį sudarytas žemėlapis (3.14 pav.).



3.14 pav. Nuogulos pagal tinkamumo skalę Tauragės apskrityje

Tauragės apskrityje didžiausią dalį teritorijos užima pagal nuogulų geotechnines savybes (stiprūs ir labai stiprūs gruntai) labai tinkami plotai, t.y. net 67 % visos teritorijos. Mažiausią dalį sudaro mažai tinkami plotai – 2,5 % visos teritorijos. Netinkami plotai, t.y. plotai, kurių gruntą sudaro spūdzios nuogulos užima 5,1 % tyrimo objekto teritorijos. Šie plotai galutiniame modeliavimo etape buvo pašalinti kaip netinkami.

3.4.2. Šlaitų polinkis

Vienas veiksnių, įvertintų parenkant vėjo jėgainių parkų vietas, yra šlaitai. Vėjo elektrinės, įrengtos vietovėse, kurių nuolydis didesnis nei 10° yra netinkamos vėjo elektrinių įrengimui. Dėl sunkių eksploatacinių sąlygų, tokių elektrinių darbo užtikrinimas (ar eksploatacija) reikalauja sudėtingos,

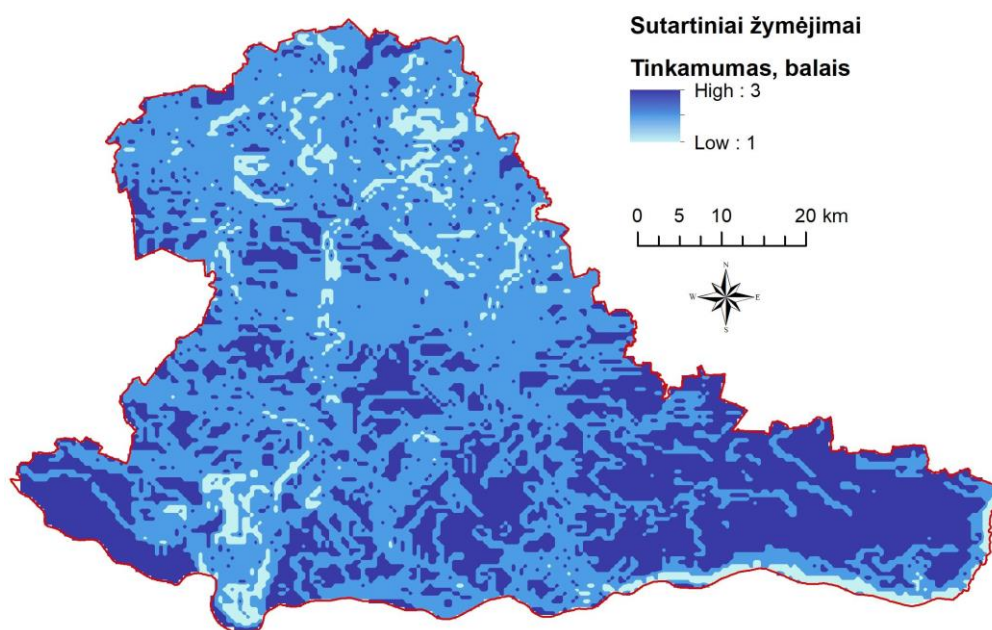
specifinės įrangos (Haaren and Fhtenakis, 2012). Kuo didesnis šlaitas, tuo sunkiau įrengti vėjo jėgainės, kadangi reikalinga specializuota įranga bei aukštos kvalifikacijos specialistai.

Šlaitų tinkamumas labai priklauso nuo vietovės. Pagal reljefo sluoksnį buvo sudarytas šlaitų polinkio informacinis sluoksnis. Šlaitai buvo suskirstyti į 4 grupes pagal tinkamumo skalę (3.7 lentelė).

3.7 lentelė. Šlaitų vertinimas pagal tinkamumo skalę.

Tinkamumo skalė	Tinkamumo balas	Kriterijaus reikšmė
Mažai tinkami	1	1–3 °
Vidutiniškai tinkami	2	0,2–1 °
Labai tinkami	3	0-0,2 °

Lietuvoje didelių kalvų ar gūbrių nėra, todėl tinkamiausi statyboms šlaitai yra iki 5° (AWEA, 2004). Statūs šlaitai gali padidinti oro judėjimo kampą, o tai gali neigiamai paveikti vėjo turbinų konstrukcijas ir sukelti vėjo energijos gaminimo trikdžius (Haley, 2011). Atlikus duomenų pergrupavimą buvo sudarytas šlaitų žemėlapis (3.15 pav.).



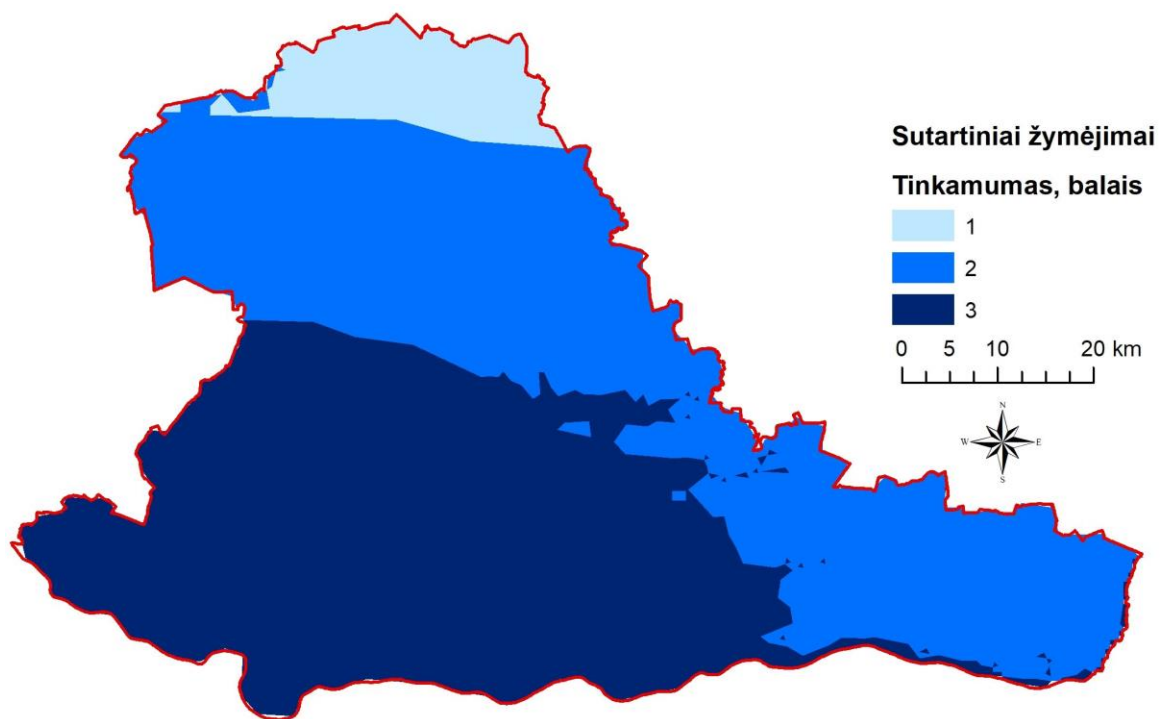
3.15 pav. Šlaitų polinkis pagal tinkamumo skalę Tauragės apskrityje

Didžiausią dalį Tauragės apskrities teritorijos (60 %) pagal šlaitų tinkamumą užima vidutiniškai tinkami plotai, kuriuose šlaitai svyruoja nuo 0,2–1°. Taip pat iš žemėlapis matyti, jog tinkami plotai labiau pasiskirstę vakarinėje tyrimo objekto dalyje ir užima 34 % visos teritorijos.

3.5 Tinkamų plotų vėjo jėginių parkams GIS erdvinis modeliavimas

Išanalizavus visus ribojančių bei eliminuojančių grupės kriterijus, pagal sudarytą tinkamumo skalę, buvo galima atlikti gamtinių bei socioekonominių modelių sudarymą, t.y. išskirti vietas Tauragės apskrities teritorijoje, tinkamas vėjo jėginių parkams įrengti. Iš viso analizėje buvo panaudota 16 kriterijų: 9 kriterijai iš eliminuojančių grupės, bei 7 kriterijai iš ribojančių grupės (2 gamtiniai ir 5 socioekonominiai).

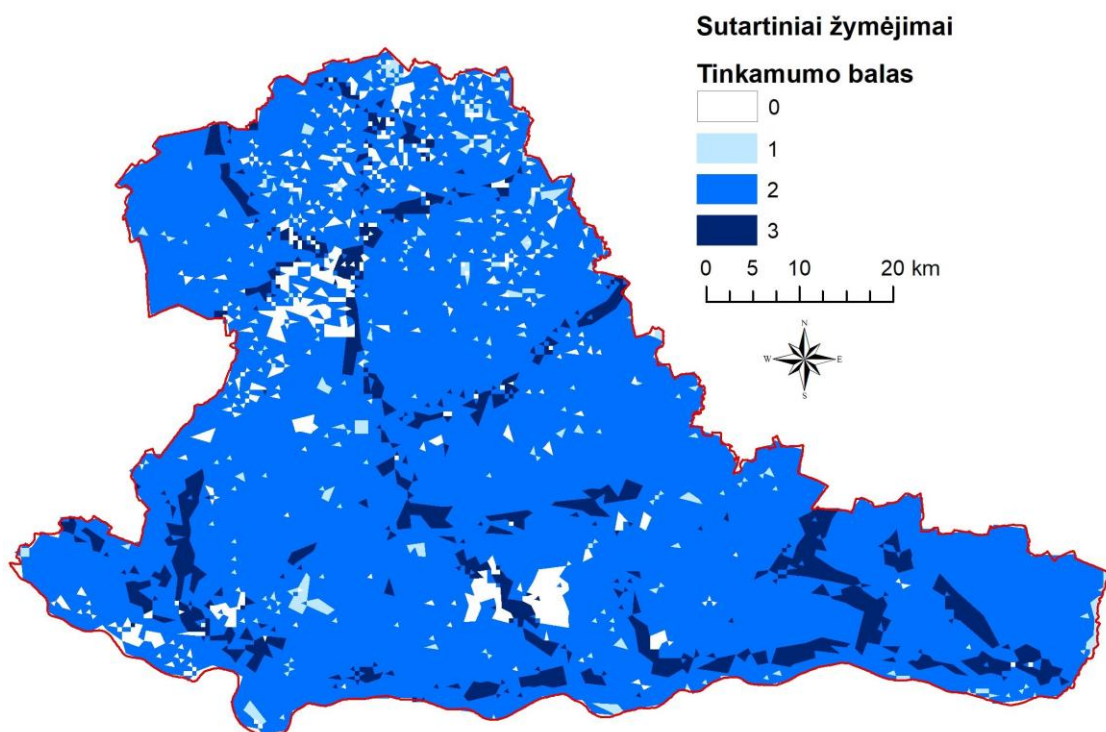
Atsižvelgus į kriterijų svorius buvo galima atlikti teritorijos tinkamumo vertinimą, t.y. darančių įtaką veiksnių, informacinių sluoksnių perdengimą. Tauragės apskrities teritorijos tinkamumas vėjo jėginių parkams įrengti buvo vertinimas atskirai gamtiniu požiūriu, socioekonominiu požiūriu bei gamtiniu ir socioekonominiu požiūriu. Pirmiausiai buvo sudarytas gamtinis teritorijos tinkamumo modelis (3.16 pav.).



3.16 pav. Teritorijos tinkamumo gamtinis modelis

Iš žemėlapių matyti, jog mažai tinkamos teritorijos vėjo jėginių parkams įrengti sudaro tik 6 % tyrimo rajono. Vidutiniškai tinkami bei labai tinkami plotai apima panašią tyrimo objekto dalį, atitinkamai – 45 % ir 49 % visos teritorijos. Tokiam plotų išskyrimui didžiausią reikšmę darė vėjo greitis, kadangi čia jis yra didžiausias, o reljefo reikšmės mažiausios (pietinė teritorijos dalis). Šiaurinėje tyrimo objekto dalyje vyrauja didžiausios reljefo reikšmės, bet mažiausi vėjo greičiai.

Vertinant Tauragės apskrities teritoriją socioekonominiu požiūriu, buvo panaudoti 5 kriterijai. Šių kriterijų informaciniams sluoksniams priskirtos svorio reikšmės bei atliktas jų perdengimas. Visi kriterijai ir jiems priskirtos svorio reikšmės: nuogulos (30 %), šlaitai (15 %), atstumas iki pastatų (15 %), atstumas iki elektros linijų (20 %), atstumas iki kelių (20 %). Šie buvo perdengiami vienas kitu ir gautos vietos, vėjo jėgainių parkams įrengti, socioekonominių kriterijų požiūriu (3.17 pav.).

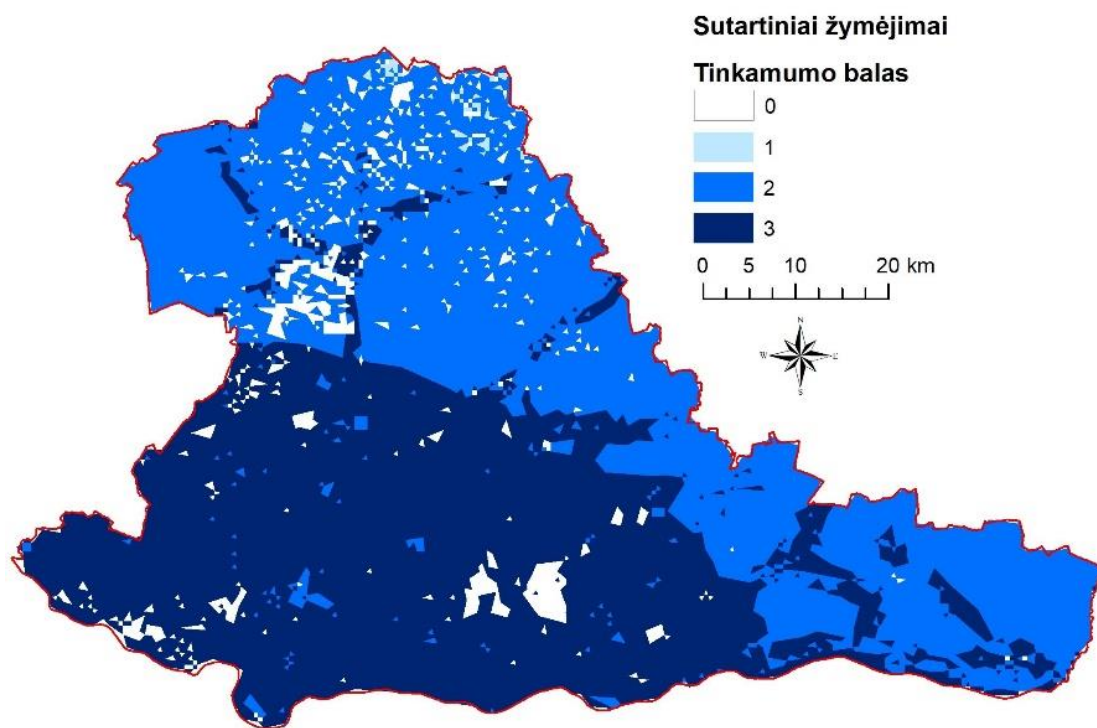


3.17 pav. Teritorijos tinkamumo socioekonominis modelis

Pagal gautus rezultatus galima teigti, jog mažai tinkami plotai sudaro tik 2 % visos teritorijos. Socioekonominiame modelyje didžiausią dalį teritorijos sudaro vidutiniškai tinkami plotai (84 %). Kurie išsidėstę per visą tyrimo objekto teritoriją. Labai tinkami plotai, vėjo jėgainių parkams įrengti, užima 9 % visos teritorijos. Netinkami plotai sudaro 5 % Tauragės apskrities teritorijos. Šie plotai buvo išskirti dėl spūdžių nuogulų (susitelkusios pelkių nuogulos ir sapropelis). Nuogulų informacinis sluoksnis perdengimo metu turėjo didžiausią įtaką, todėl labiausiai nulėmė tokį plotų pasiskirstymą.

Įvertinus teritoriją gamtiniu ir socioekonominiu požiūriu buvo galima atlikti bendrą gamtinių ir socioekonominių veiksnių vertinimą. Šiame etape buvo panaudoti du sluoksniai: teritorijos tinkamumas gamtiniu požiūriu, bei teritorijos tinkamumas socioekonominiu požiūriu. Abiejų informacinių sluoksnių vertė vienoda – 50 % modelio svorio. Taip buvo gautas teritorijos gamtinis ir socioekonominis tinkamumo modelis.

Vertinant bendrą (gamtinį ir socioekonominį) modelį (3.18 pav.) matyti, jog didžiausią teritorijos dalį sudaro tinkami plotai – 50 % visos teritorijos. O mažiausią dalį, t.y. mažiau nei 1 % visos teritorijos užima mažai tinkami plotai. Vidutiniškai tinkami plotai sudaro 45 % visos teritorijos, o netinkami plotai siekia iki 5 % visos teritorijos. Pastariems priskiriami spūdžių nuogulų plotai, susidarę socioekonominiame vertinimo modelyje. Gamtinio modelio sudarymo metu, netinkamų plotų nebuvo išskirta.



3.18 pav. Teritorijos tinkamumo gamtinis ir socioekonominis modelis

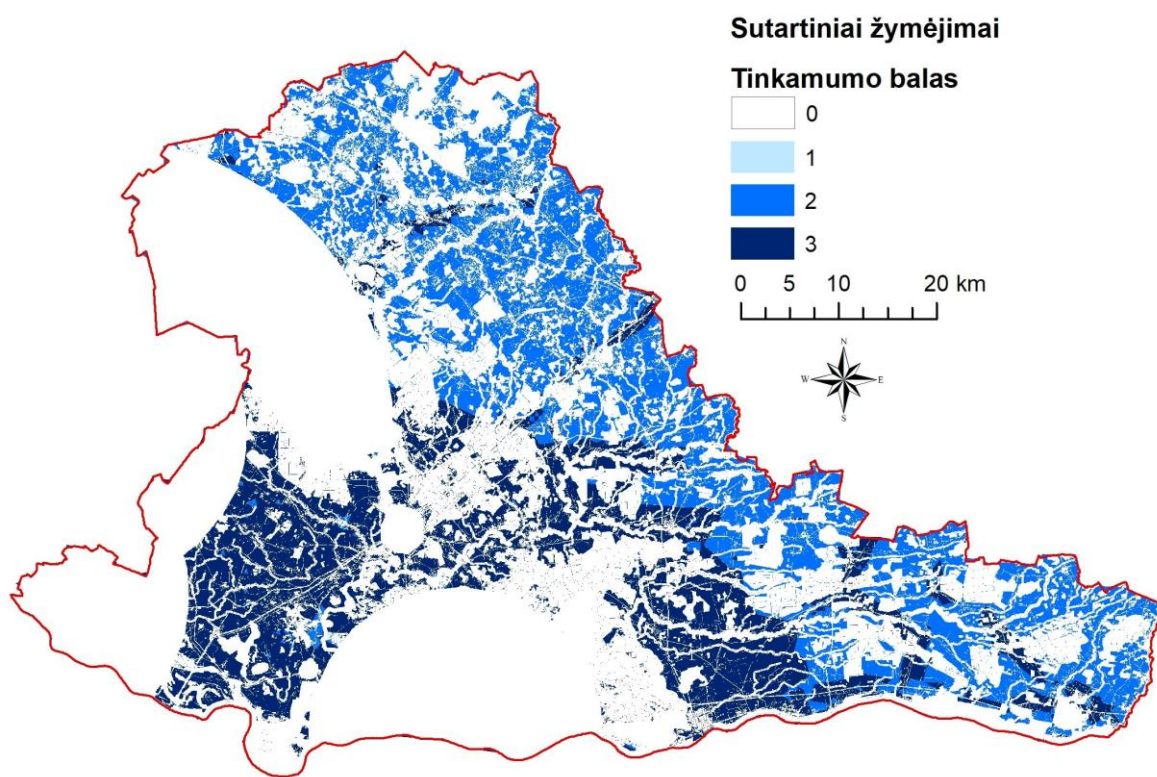
Paskutinis ir galutinis modeliavimo etapas – teisiškai reglamentuojamų ir netinkamų kriterijų (informacinių sluoksnių) įvedimas į modeliavimo procesą (Bagdanavičiūtė ir Valiūnas 2013). Visi netinkami plotai (ir su jais susiję objektai) aprašyti aukščiau: saugomos teritorijos, infrastruktūra, vandens telkiniai, miškai, vandenvietės ir jų sanitarinės apsaugos zonos, pastatai, naudingųjų iškasenų telkiniai, miestai, krašto apsaugos ir aviacijos teritorijos, buvo pašalinti iš sudaryto gamtinio ir socioekonominio tinkamumo modelio (3.18 pav.). Tokiu būdu gautas galutinis tinkamų vietų, vėjo elektrinėms įrengti, tinkamumo modelis.

Galutiniame Tauragės apskrities teritorijos tinkamumo modelyje, netinkami plotai sudaro net 66 % visos teritorijos. Šie plotai, vėjo jėgainių parkams įrengti, yra visiškai netinkami dėl galiojančių teisės

aktų ar kitų apribojimų. Didžiausią netinkamų plotų grupės dalį nulėmė krašto apsaugos ministerijos teritorijos, kuriose parkų įrengimas – draudžiamas.

Mažiau negu 1 % teritorijos sudaro mažai tinkami plotai. Juose įrengti vėjo jėgainių parkus būtų nenaudinga. O vidutiniškai tinkami plotai sudaro 19 % teritorijos. Vėjo jėgainių parkams įrengti labai tinkama plotų dalis sudaro 15 % visos Tauragės apskrities teritorijos. Šiuose plotuose tiek gamtiniu, tiek socioekonominiu požiūriu, parkų įrengimas labiausiai tinkamas.

Labai tinkami plotai, vėjo jėgainėms įrengti, buvo išskirti daugiausiai pietinėje tyrimo objekto dalyje (3.19 pav.). Tokių plotų išsidėstymą nulėmė, čia esančios stiprios ir labai stiprios nuogulos, nedideli šlaitai (iki 1°), didžiausias vėjo greitis bei mažiausios reljefo reikšmės.



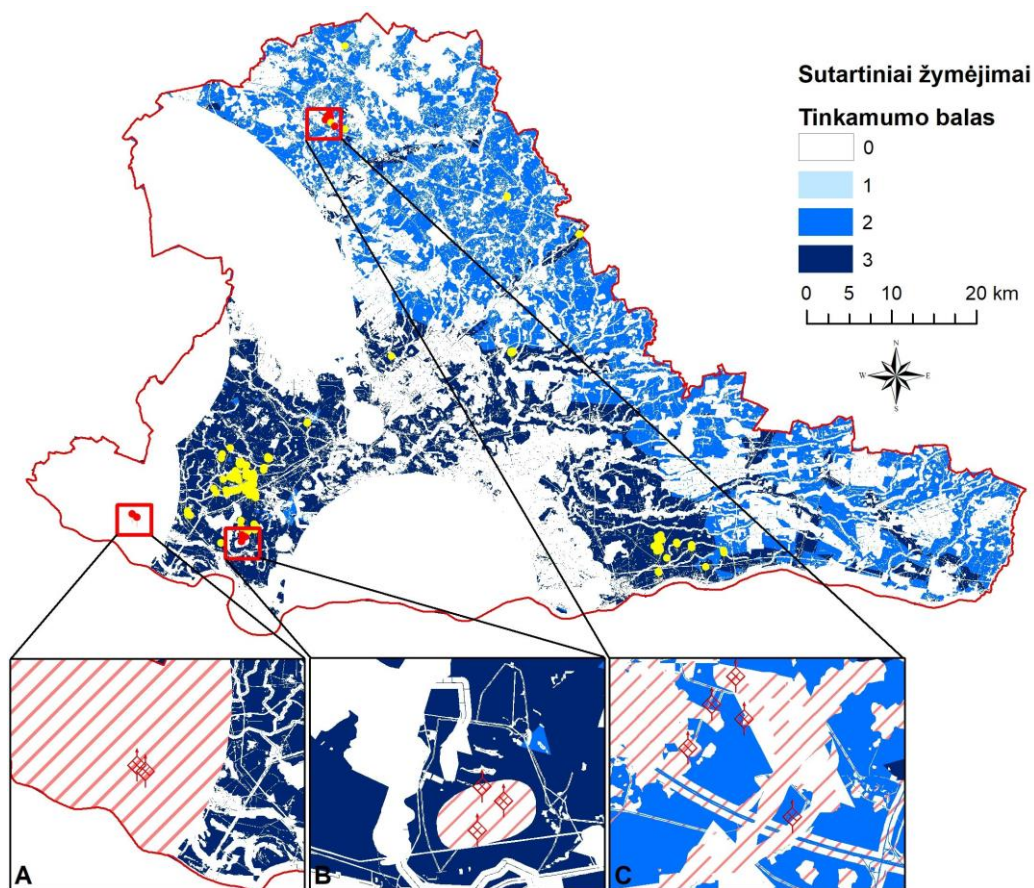
3.19 pav. Galutinis teritorijos tinkamumo modelis pašalinus eliminuojančius kriterijus

Siekiant įvertinti sudarytą tinkamumo modelį, vėjo jėgainių parko vietoms parinkti, buvo panaudotas galutinis tinkamumo modelis bei esamų vėjo elektrinių informacinis sluoksnis. Šiame sluoksnyje pateiktos, esamų vėjo jėgainių koordinatės, jų įregistravimo data ir kt. informacija. Panaudojant GIS įrankį – paiešką pagal vietą (angl. *Select by location*) – buvo išsiaiškinta, jog Tauragės apskrities teritorijoje yra 104 vėjo jėgainės. Pagal sudarytą tinkamumo modelį, 6 esamos vėjo jėgainės įrengtos vidutiniškai tinkamų plotų grupėje, o 88 vėjo jėgainės labai tinkamų plotų grupėje. Pagal

tinkamumo modelį, likusios 10 vėjo jėgainių įrengtos netinkamų plotų grupėje, kur vėjo elektrinės įrengti draudžiama.

Pagal vėjo elektrinių vietoms parinkti tinkamumo modelį matyti, jog 2 vėjo jėgainės yra netinkamų plotų grupėje (čia galioja krašto apsaugos ministerijos ribojimai, įsigalioję nuo 2016 m.) o vėjo jėgainės įrengtos 2013 metais (3.20-A pav.)

Dar trijų vėjo jėgainių vieta yra priskiriama netinkamų plotų grupei (3.20-B pav.). Matyti, jog teritorija netinkamų plotų grupei priskirta dėl naudingųjų iškasenų telkinio (naftos). Pagal informacinio sluoksnio duomenis, vėjo elektrinės įrengtos 2019 metais. Šiuo atveju galimi keli scenarijai: vienas jų, jog juridiniai ar fiziniai asmenys gavo leidimus, kadangi naftos telkinys perspektyvinis. Kitas galimas scenarijus, jog sklypas parduotas kitiems fiziniams ar juridiniams asmenims, kurie užsiima kita ūkine veikla, tačiau tokia informacija nėra viešai prieinama.



3.20 pav. Vėjo elektrinių pasiskirstymas tinkamumo modelyje

Pagal informacinį sluoksnį, dar 5 vėjo elektrinės įrengtos 2014 metais. Vertinant vėjo elektrinių parkų vietos parinkimo modelį matyti, jog šios 5 elektrinės, įrengtos netinkamų plotų grupėje

(infrastruktūros apsaugos zonos, užstatytos teritorijos bei miškai) (3.20-C pav.). Šie neatitikimai galimi dėl pasikeitusių apsaugos zonų, miškų kirtimo, taip pat daugelis informacinių sluoksnių yra transformuojami iš rastrinio tipo į vektorinį ir atvirkščiai. Pasirinkus didesnę gardelės dydį gali atsirasti nežymūs sluoksnių netikslumai tinkamumo modelyje.

Išanalizavus netinkamų plotų grupėje esančias vėjo jėgaines, galime teigti, jog daugelis jų (94 iš 104 esamų) pastatytos dėl pasikeitusių įstatyminių bazių ar netgi prieš įsigaliojant naujiems ribojimams, tačiau dirbant su vektoriniais ar rastriniais duomenimis reikia įvertinti, jog juos apdorojant galimi įvairūs netikslumai. Būtina pažymėti, jog tyrime nustatyti plotai yra preliminarūs ir reikalauja papildomų ir išsamesnių tyrimų, įskaitant lauko (Szurek, Blachowski and Nowacka, 2014). Tokiu būdu apjungiant tiek lauko tyrimus, tiek GIS erdvinį modeliavimą, galima pasiekti tiksliausių vėjo jėginių parkams tinkamų vietų (uždavinių) sprendimo rezultatą.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Atliekant Tauragės apskrities vertinimą pagal teritorijos tinkamumą vėjo jėgainių parkams įrengti, vertinimo kriterijai buvo išskirti į dvi grupes: gamtinius ir socioekonominius, kas padėjo įvertinti teritorijos tinkamumą skirtingais aspektais. Svarbiausi veiksniai vertinant teritorijos tinkamumą gamtinės aplinkos modelyje sudarė 50 % modelio svorio (vėjo greitis ir reljefas), o socioekonominės aplinkos modelyje svarbiausiu kriterijumi laikyta – nuogulų sudėtis (30 % modelio svorio). Likusių kriterijų svorių reikšmės buvo mažesnės ir svyravo atitinkamai nuo 15 iki 20 %.
2. Išanalizavus teisinę bazę, reglamentuojančią vėjo jėgainių parkų statybą, pastebėta, jog didžiausi teritorijos apribojimai yra nustatyti žemėnaudos atžvilgiu. Pagal šiuos nuostatus 37 % visos Tauragės apskrities teritorijos yra pašalinama iš vertinimo.
3. Aplinkos vertinimo metodika, parengta taikant GIS erdvinį modeliavimą, yra efektyvi priemonė erdvinį duomenų analizei, leidžianti integruoti skirtingų tyrimo sričių duomenis, kiekybinius ir kokybinius parametrus bei įvairiais aspektais įvertinti jau sukaupią informaciją. Vertinimo rezultatai – tinkamumo žemėlapiai – pateikiami aiškia, rekomendacinio pobūdžio forma, kuria gali pasinaudoti teritorijų planavimo specialistai.
4. Sudaryti teritorijos gamtiniai ir socioekonominiai modeliai parodė, jog pietinė Tauragės apskrities teritorijos dalis yra labiau tinkama vėjo elektrinių parkų įrengimui – čia išsidėstę labai tam tinkami plotai. Bendrame gamtiniame ir socioekonominiame modelyje netinkamų plotų dalis siekia tik 5 % visos tyrimo objekto teritorijos, o visa likusi teritorijos dalis yra tinkama vėjo elektrinių parkų statybai. Tačiau įvedus eliminuojančių kriterijų grupę, reglamentuojančią vėjo jėgainių parkų įrengimą, netinkamų plotų dalis išauga iki 66 % visos teritorijos, o tinkamų plotų dalis sumažėja ir siekia - 34 % iš kurių tik 15 % yra labai tinkami vėjo elektrinių parkams įrengti.



NAUDOTA LITERATŪRA IR ŠALTINIAI

1. Adomavičius G., Petrauskas V. (2001). Vėjo energijos išteklių ir jėgainių techninių ekonominių rodiklių įvertinimas projektavimo stadijoje. *Energetika*, 2, 13-17.
2. Aydin, N., Kentel, E., and Sebnem Duzgun, H. (2013). GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey. *Energy Conversion and Management*, 70, 90-106. 10.1016/j.enconman.2013.02.004.
3. Ayodele, T., Ogunjuyigbe, A., Odigie, O. and Munda, J. (2018). A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria. *Applied Energy*, 228, 1853-1869. 10.1016/j.apenergy.2018.07.051.
4. Australian Wind Energy Association. (2004). *Wind farms siting*. Retrieved from: http://www.w-wind.com.au/downloads/CBP5_Siting.pdf
5. Baban, S. and Parry, T. (2001). Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK. *Renewable Energy*, 24(1), 59-71. 10.1016/S0960-1481(00)00169-5
6. Bagdanavičiūtė, I., Kelpšaitė, L. and Soomere, T. (2015). Multi-criteria evaluation approach to coastal vulnerability index development in micro-tidal low-lying areas. *Ocean and Coastal Management*, 104, 124-135. 10.1016/j.ocecoaman.2014.12.011
7. Bagdanavičiūtė, I., Umgiesser, G., Vaičiūtė, D., Bresciani, M., Kozlov, I. and Zaiko, A. (2018). GIS-based multi-criteria site selection for zebra mussel cultivation: Addressing end-of-pipe remediation of a eutrophic coastal lagoon ecosystem. *Science of the Total Environment*, 634, 990-1003. 10.1016/j.scitotenv.2018.03.361
8. Baseer, A., Rehman, S., Meyer, J.P. and Mahmud Alam, Md. (2017). GIS-based site suitability analysis for wind farm development in Saudi Arabia. *Energy*, 141, 1166-1176. 10.1016/j.energy.2017.10.016.
9. Bennui, A., Rattanamanee, P., Puetpaiboon, U., Phukpattaranont, P. and Chetpattananondh, K. (2007). Site selection for large wind turbine using GIS: PSU-UNS *International Conference on Engineering and Environment*. 561-566.
10. Bucevičiūtė, S., Marcinkevičius V. ir Dansevičienė D. (1997). *Inžinerinis geologinis Lietuvos žemėlapis M 1:500 000*. Prieiga per internetą: <https://www.lgt.lt/index.php/apie-lietuvos-zemes-gelmes/inzinerines-geologines-salygos>
11. Chaouachi, A., Covrig, C. and Ardelean, M. (2017). Multi-criteria selection of offshore wind farms: Case study for the Baltic States. *Energy Policy*, 103, 179-192. 10.1016/j.enpol.2017.01.018

12. Collins, M., Steiner, F., and Rushman, M. (2001). Land-Use Suitability Analysis in the United States: Historical Development and Promising Technological Achievements. *Environmental Management*, 28(5), 611-621. 10.1007/s002670010247
13. Denas, Ž., Kumetaitis, A., Šliaupa, S., Zakarevičius, A. ir Šliaupienė, R. (2006). Lietuvos Žemės paviršiaus erozijos modeliavimas ir kartografavimas taikant GIS technologijas. *Geodezija Ir Kartografija*, 32(3), 57-61. 10.1080/13921541.2006.9636696
14. Dumbrasukas A., Bastienė N. and Punys P. (2015). Identifying the most suitable areas for surface flow wetland construction in Lithuania. ISSN 1822-3230. *Konferencijos medžiaga*.
15. ESRI. (2020). *ArcMap documentation: What is geoprocessing?* Retrieved from: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/analyze/main/what-is-geoprocessing.htm>
16. Gadai, S. (2010). Urban dynamics in Kaliningrad and Klaipėda coastal regions by remote sensing and GIS. *Bridges*, 50(1), 101-111.
17. Gigovic, L., Drobnjak, S. and Pamučar, D. (2019). The Application of the Hybrid GIS Spatial Multi-Criteria Decision Analysis Best-Worst Methodology for Landslide Susceptibility Mapping. *International Journal of Geo-Information*, 8. 1-25. 10.3390/ijgi8020079.
18. Haaren, R. and Fthenakis, V. (2011). GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(7), 3332-3340. 10.1016/j.rser.2011.04.010
19. Haley, J. (2011). *Designing wind farms for max output: wind power engineering development*. Retrieved from: <https://www.windpowerengineering.com/construction/simulation/designingwindfarms-for-max-output/>
20. Harrison, J. D. (2012). Onshore Wind Power Systems (ONSWPS): A GIS-based tool for preliminary site-suitability analysis. Retrieved from: <https://spatial.usc.edu/wp-content/uploads/2014/04/HarrisonJeffreyThesis.pdf>
21. Hopkins, L. D. (1977). Methods for generating land suitability maps: a comparative evaluation. *Journal for American Institute of Planners*, 34 (1), 19 – 29.
22. Jakimavičius, M and Burinskienė M. (2009). A GIS and multi-criteria-based analysis and ranking of transportation zones of Vilnius city. *Technological and Economic Development of Economy*, 15(1), 39-48. 10.3846/1392-8619.2009.15.39-48
23. Janke, J. (2010). Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. *Renewable Energy*, 35(10), 2228-2234. 10.1016/j.renene.2010.03.014.

24. Juknelienė, D. and Mozgeris, G. (2015). The spatial pattern of forest cover changes in Lithuania during the second half of the twentieth century. *Žemės ūkio mokslai*. 22. 10.6001/zemesukiomokslai.v22i4.3215.
25. Kim, C., Jang, S. and Kim, T. Y. (2018). Site selection for offshore wind farms in the southwest coast of South Korea. *Renewable Energy*, 120, 151-162. 10.1016/j.renene.2017.12.081
26. Konstantinos, I., Georgios, T., and Garyfalos, A. (2019). A Decision Support System methodology for selecting wind farm installation locations using AHP and TOPSIS: Case study in Eastern Macedonia and Thrace region, Greece. *Energy Policy*, 132, 232-246. 10.1016/j.enpol.2019.05.020
27. Latinopoulos, D. and Kechagia, K. (2015). A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece. *Renewable Energy*, 78, 550-560. 10.1016/j.renene.2015.01.041,
28. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. (n.d). *Skaičiuoklės: vėjo greitis įvairiam aukščiui*. Prieiga per internetą: http://www.meteo.lt/php/skaiciuokles.php?s=vejo_greitis_auks
29. Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas. (2011).
30. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. (2012). Aviacijai galinčių kliudyti statinių statybos bei rekonstravimo ir įrenginių įrengimo derinimo tvarkos aprašas.
31. Lietuvos Respublikos kariuomenės vado įsakymas. (2016). Dėl Lietuvos respublikos teritorijų, kuriose gali būti ribojami vėjo elektrinių (aukštų statinių) projektavimo ir statybos darbai, žemėlapių patvirtinimo.
32. Lietuvos Respublikos miškų įstatymas. (1994).
33. Lietuvos Respublikos saugomų teritorijų įstatymas. (2001).
34. Lietuvos Respublikos specialiosios žemės ir miško naudojimo sąlygos. (1992).
35. Lietuvos vėjo elektrinių asociacija. (2019). *Statistika*. Prieiga per internetą: <https://lvea.lt/statistika/lietuvos-statistika/>
36. Lodwick, W. A., Monson, W. and Svoboda, L. (1990). Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical information systems: suitability analysis. *International Journal of Geographical Information Systems*, 4 (4), 413 – 428
37. Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning* 62, 3–65.
38. Marčiukaitis M., 2009. *Vėjo energijos tyrimai ir modeliavimas ir prognozė*. Daktaro disertacija, Kaunas.

39. Marčiukaitis M., Marčiukaitienė E. R., Tumosa A., 2009. Vėjo greičio kitimo dėsningumų Lietuvos pajūrio regione tyrimas. *Energetika*, 55, 27–34.
40. Mardiany, Kusuma Z., Hakim L. and Rayes L. (2020). The Evaluation of the Rice Crop Land of Gogo Using Automated Land Evaluation System (ALES) in the City of Samarinda Town Pampang Cultural Village East Kalimantan. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 11 (2), 292-297. doi:10.5530/srp.2020.2.46
41. Miller, W., Collins, W. M. G., Steiner, F. R. and Cook, E. (1998). An approach for greenway suitability analysis. *Landscape and Urban Planning*, 42 (2 – 4), 91 – 105.
42. Moradi, S., Yousefi, H., Noorollahi, Y. and Rosso, D. (2020). Multi-criteria decision support system for wind farm site selection and sensitivity analysis: Case study of Alborz Province, Iran. *Energy Strategy Reviews*, 29. 100478. 10.1016/j.esr.2020.100478.
43. Moreno, D. and Seigel, M. (1988). A GIS approach for corridor siting and environmental impact analysis: GIS/LIS'88. *Proceedings from the third annual international conference*, San Antonio: Texas 2.
44. Morkūnė, R., Marčiukaitis, M., Jurkin, V., Gecevičius, G., Morkūnas, J., Raudonikis, L., Markevičius, A., Narščius A. and Gasiūnaitė, R. Z. (2020). Wind energy development and wildlife conservation in Lithuania: A mapping tool for conflict assessment. *PLoS ONE*, 15(1), E0227735. 10.1371/journal.pone.0227735
45. Pambudi, G. and Nananukul, N. (2019). Wind Turbine Site Selection in Indonesia, based on a hierarchical Dual Data Envelopment Analysis model. *Energy Procedia*, 158, 3290-3295. 10.1016/j.egypro.2019.01.980
46. Pikturnienė, A. Z. (2012). Vėjo energetikos plėtra Lietuvoje darniosios raidos kontekste. *Miestų želdynų formavimas*, 1(9): 145–153.
47. Pinskiuvienė, Ž., Valiūnas, J., ir Bagdanavičiūtė, I. (2004). Teritorijos ekogeologinis įvertinimas tinkamumo sąvartynams įrengti požiumi naudojant GIS. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 12(Suppl.2), 49-53.
48. Poškas, G., Poškas, P., Sirvydas, A. ir Šimonis, A. (2012). Daugiakriterinės analizės metodo taikymas parenkant Ignalinos AE V1 pastato įrengimų išmontavimo būdą. 2. Daugiakriterinės analizės metodika ir jos taikymo rezultatai. *Energetika*, 58. 10.6001/energetika.v58i2.2341.
49. Punys, P., Radzevičius, A., Kvaraciejus, A., Gasiūnas, V. and Šilinis, L. (2019). A multi-criteria analysis for siting surface-flow constructed wetlands in tile-drained agricultural catchments:

- The case of Lithuania. *Agricultural Water Management*, 213. 1036-1046. 10.1016/j.agwat.2018.12.020.
50. Riaukaitė Ž. (2014). Šilutės rajono užliejamų teritorijų naudojimas. Iš konferencijos „*Jaunasis Mokslininkas, 2014*“. Akademija: Aleksandro Stulginskio universiteto Leidybos centras.
 51. Ritung, S., Wahyunto, F. Agus and Hidayat, H. (2007). *Land suitability evaluation with a case map of Aceh Barat district*. Indonesia: Indonesian Soil Research Institute and World Agroforestry Centre.
 52. Rodman, L. and Meentemeyer, R. (2006). A geographic analysis of wind turbine placement in Northern California. *Energy Policy*, 34(15), 2137-2149.
 53. Shahid, A., Juntakan, T., Kuaanan, T., Jompob, W. and Saroj G. (2018). GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand. *Renewable Energy*, 132, 1360-1372. 10.1016/j.renene.2018.09.035
 54. Stroltyte, S. ir Rimkus, E. (2013). Vėjo krypties ir greičio kaita Lietuvoje 1971–2010 metais. *Geografija*, 4810.6001/geografija.v48i2.2540.
 55. Szurek, M., Blachowski, J. and Nowacka, A. (2014). GIS-based method for wind farm location multicriteria analysis. *Mining Science*, 21, 65–81. 10.5277/ms142106
 56. Torresan, S., Critto, A., Rizzi, J., Zabeo, A., Furlan, E. and Marcomini, A. (2016). DESYCO: A decision support system for the regional risk assessment of climate change impacts in coastal zones. *Ocean and Coastal Management*, 120, 49-63. 10.1016/j.ocecoaman.2015.11.003
 57. Tučas, R. (2010). GIS panaudojimo archeologinių duomenų erdvinėje analizėje galimybės, *Lietuvos archeologija*, 36: 29–46.
 58. Vaitkus, G. (2005). Lietuvos CORINE žemės dangos duomenų bazių panaudojimo galimybių studija. Aplinkos apsaugos agentūra, Vilnius, 61 p.
 59. Villacreses, G., Gaona, G., Gomez, M. G. and Diego, J. J. (2017). Wind farms suitability location using geographical information system (GIS), based on multi-criteria decision making (MCDM) methods: The case of continental Ecuador. *Renewable Energy*, 109, 275-286. 10.1016/j.renene.2017.03.041.
 60. Weerakoon, K. G. P. K. (2002). Integration of GIS based suitability analysis and multi criteria evaluation for urban land use planning: *Contribution from the analytic hierarchy process*.
 61. Zagorskas, J. (2008). *Miestų kompaktiškumas ir darniosios plėtros modeliavimas: Daktaro disertacija*. Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Prieiga per eLABa – nacionalinė Lietuvos akademine elektronine biblioteka.

62. Zhou, J. and Civco, D. L. (1996). Using genetic learning neural networks for spatial decision making in GIS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 11, 1287–1295.

PRIEDAI

1 priedas



Darbo rezultatai buvo pristatyti pranešimu konferencijoje GIS švietimas 2015 Vilniuje tema – Optimalių vietų vėjo jėgainių parkams parinkimas pagal gamtinius ir socioekonominius kriterijus (1 priedas).

Taip pat atlikti tyrimai ir sukurti modeliai buvo pristatyti Jūros ir krantų tyrimai 2016 konferencijoje Klaipėdoje, kur buvo parengtas stendinis pranešimas tema „Aplinkos tinkamumo vertinimas vėjo elektrinių parkų įrengimui taikant GIS erdvinį modeliavimą“ taip pat išspausdintas straipsnis konferencijos leidinyje (2 priedas).

2 priedas



JŪROS TYRIMŲ
ATVIROS PRIEIGOS
CENTRAS

APLINKOS TINKAMUMO VERTINIMAS VĖJO ELEKTRINIŲ PARKŲ ĮRENGIMUI TAIKANT GIS ERDVINĮ MODELIAVIMĄ

Dominykas Preibys¹, Ingrida Bagdavičiūtė²

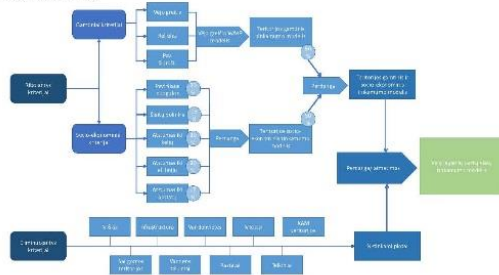
¹Klaipėdos universitetas, Jūros tyrimų Atviros prieigos centras, Klaipėda,

²Klaipėdos universitetas, Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas, Gamtos mokslų katedra, Klaipėda
dominykas.preibys@apc.ku.lt, ingrida.bagdavičiute@jmtc.ku.lt



IVADAS

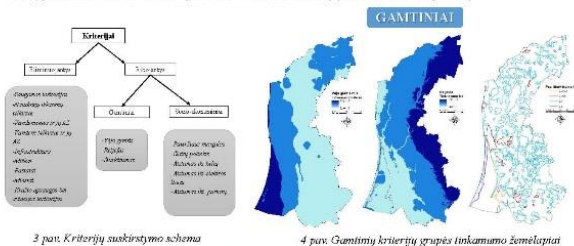
Pastaraisiais dešimtmėčiais vis aktualesnė energijos gamybos sritis yra atsinaujinanti energetika, kadangi energijos poreikis su kiekvienais metais sparčiai auga, o ciklojanti gamtiniai išteklių yra riboti (Rodman, 2006). Planuojant statyti vėjo elektrinių parkus sausumoje susiduriama su problemomis: laisvų tinkamų plotų trūkumu, gyventojų pasipriešinimu ir kt. Labiausiai tinkamas šios problemos sprendimas yra teritorijų planavimas paremtas darnaus vystymosi principais (WES, 1997). Šio darbo tikslas buvo nustatyti palankias vietas vėjo elektrinių parkų įrengimui Klaipėdos apskrityje taikant GIS erdvinį modeliavimą.



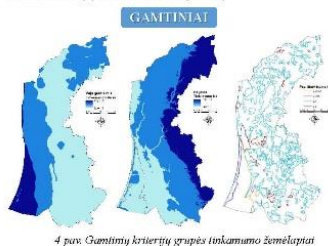
2 pav. Kriterijų vertinimo struktūros schema

REZULTATAI

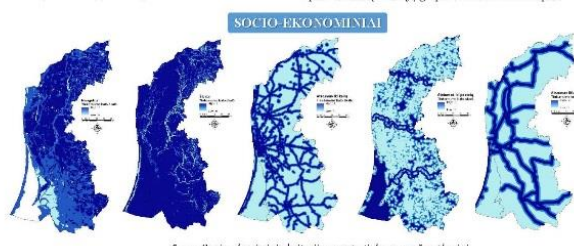
Atliekant GIS erdvinį modeliavimą buvo sudaryti ribojančių kriterijų tinkamumo žemėlapiai. Gamtiniam modeliui panaudoti trys kriterijai (žr. 4 pav.): vėjo greitis, reljefas ir paviršiaus šiurkštumas (vertinami WAsP modeliu). Socio-ekonominiame modeliui panaudoti 5 kriterijai (žr. 5 pav.): paviršiaus nuogulos, šlaitų polinkis, atstumas iki kelių, atstumas iki elektros linijų bei atstumas iki pastatų.



3 pav. Kriterijų sukeitimo schema



4 pav. Gamtinių kriterijų grupės tinkamumo žemėlapiai



5 pav. Socio-ekonominių kriterijų grupės tinkamumo žemėlapiai

Atliekta Klaipėdos apskrities aplinkos vertinimas (žr. 7 pav.) parodė, kad vėjo elektrinių parkams netinkamos teritorijos rajone sudaro 8 %, mažai tinkamos – 1 %, vidutiniškai tinkamos – 82 % bei labai tinkamos – 9 %. Įvertinus teisingą bazę reglamentuojančią vėjo elektrinių parkų įrengimą netinkamų plotų vėjo elektrinių parkams procentinė dalis padidėjo iki 65 %, o labai tinkamų plotų dalis sumažėjo iki 3 % visos Klaipėdos apskrities teritorijos (žr. 7 pav.). Daugiausiai tinkamų plotų nustatyta Kretingos rajone (46 %).

IŠVADOS

Atliekant teritorijos vertinimą pagal tinkamumą vėjo elektrinių parkų įrengimui, svarbiausiais kriterijais buvo pasirinktas vėjo greitis ir kvartiro paviršiaus nuogulų geotechninės savybės. Sudaryti du teritorijos tinkamumo modeliai, kuriuos palyginus pastebėta, kad gamtinės sąlygos tik iš dalies apriboja teritorijos naudojimą, o teisiniai faktoriai visiškai eliminuoja nemažą gamtinių požymių tinkamų plotų. Parengta aplinkos vertinimo metodika naudojant GIS erdvinį modeliavimą yra efektyvi priemonė erdvinį duomenų analizei (Szarek ir kt., 2014), leidžianti integruoti skirtingų tyrimo sričių duomenis, kiekybinius ir kokybinius parametrus ir yra tinkama darnaus teritorijų planavimo ir aplinkosaugos uždaviniams spręsti.

LITERATŪRA

Marčiulaitis M., Marčiulaitienė E. R., Tumosa A., 2009. Vėjo greičio kitimo dinamiką Lietuvos pajūrio regione tyrimas. Energetika, 2009. T. 55. Nr. 1. P. 27-34. Lietuvos mokslų akademija.
Szarek M., Sienkiewicz J., Bronicki A., 2014. GIS-based method for wind farm location multicriteria analysis. Wind Science, vol. 13, 2014, 65-81. Poland.
Rodman L. C., Menshinsky R. E., 2006. A geographic analysis of wind turbine placement in Northern California. Energy Policy 34 (2006) 2127-2149. USA.
WES, 1997. Siting Issues for Wind Power Plants. National Wind Coordinating Committee. Wind Energy Series, January 1997, No. 3.

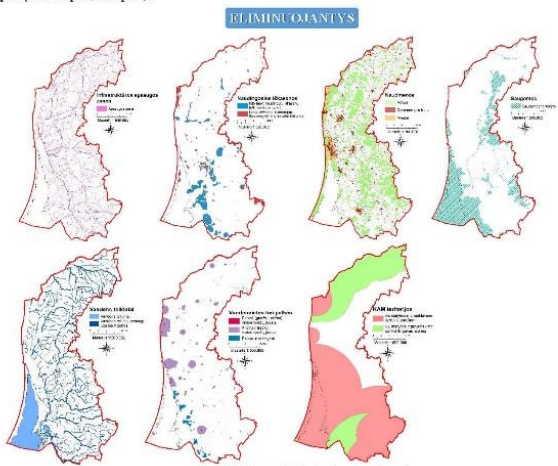
METODIKA

Vėjo energetikos potencialas sausumoje yra didžiausias pajūrio regione (Marčiulaitis ir kt., 2009), todėl šio tyrimo objektu buvo pasirinktas pajūrio regionas - Klaipėdos apskritis. Darbe tinkamų vietų vėjo elektrinių parkams parinkimui buvo taikomas GIS erdvinio modeliavimo metodas paremtas darnaus vystymosi principais, kad atitiktų vykdoma ūkinė veikla turėtų kuo mažesnę neigiamą įtaką aplinkai bei visuomenei ir tuo pačiu, kuo didesnį ekonominį efektyvumą. Metodinė erdvinio modeliavimo schema pateikta žemiau (žr. 1 pav.).



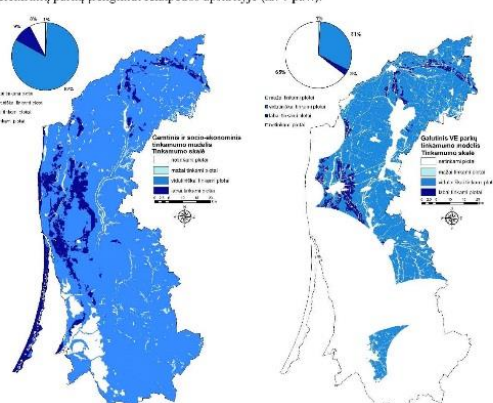
1 pav. GIS erdvinio modeliavimo darbų seka

Atlikus literatūros analizę išskirta 17 gamtinių ir socio-ekonominių kriterijų, kurie buvo suskirstyti į ribojančius ir eliminuojančius (teisinis reglamentavimas) (žr. 3 pav.). Duomenų rinkimui ir analizei buvo naudojamas ArcGIS 10.3 programinis paketas. Surinkti vektoriniai duomenys buvo transformuoti į rastrinį duomenų modelį (girdelės dydis 10x10 m). Ribojančių kriterijų komponentai buvo įvertinti pagal tinkamumo skalę vėjo elektrinių parkų įrengimui nuo labai tinkamų (3) iki netinkamų (0). Gamtinių kriterijų grupė: vėjo greitis įvertintas WAsP programiniu modeliu įtraukiant reljefą ir paviršiaus šiurkštumą. Kriterijų informacinius sluoksnius perklasifikavus pagal tinkamumo skalę (0-3) buvo gauti kriterijų tinkamumo žemėlapiai. Įvertinus kiekvieno kriterijaus santykinę svorį buvo atliekama svertinė sluoksnių perdengimo analizė bei sudarytas vėjo elektrinių parkų potencialių plotų žemėlapis (žr. 2 pav.).



6 pav. Eliminuojančių kriterijų grupės plotai

Pagal Lietuvos galiojančią įstatymų bazę, vėjo elektrinių statyba yra ribojama arba negalima tam tikrose plotuose (žr. 6 pav.). Vertinimo metu buvo išskirti eliminuojantys plotai bei sudaryti eliminuojančių kriterijų grupės žemėlapiai. Vertinimo metu buvo sudaryti du teritorijos tinkamumo modeliai: gamtinis ir socio-ekonominis. Jūs perdengus gautas bendras gamtinis/socio-ekonominis modelis bei eliminavus teisinius reglamentus ribojamą įsivartinti teritoriją buvo išskirtos palankios vietos vėjo elektrinių parkų įrengimui Klaipėdos apskrityje (žr. 7 pav.).



7 pav. Gamtinis ir socio-ekonominis bei galutinis vėjo elektrinių parkų tinkamumo modelis