

VILNIAUS UNIVERSITETAS  
MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS FAKULTETAS  
PROGRAMŲ SISTEMŲ KATEDRA

## **Erdvinės analizės metodų taikymas archeologinių objektų tyrime**

### **Spatial analysis methods for archaeological research**

Magistro baigiamasis darbas

Atliko: Antanas Bareikis (parašas)

Darbo vadovas: dr. Albertas Šermokas (parašas)

Recenzentė: dr. Elita Pakalnickienė

Vilnius – 2018

## **Padėka**

Vilniaus Universiteto, Istorijos Fakulteto, Archeologijos katedrai ir archeologui Linui Tamulynui, už suteiktą galimybę pasinaudoti Lietuvos archeologinių objektų duomenų baze PROLOGIS.

## **Santrauka**

Šio magistro baigiamojo darbo tikslas yra nustatyti tinkamus erdvinės analizės metodus archeologinių kultūrų arealo ir archeologinio vietovės jautrumo apskaičiavimui, bei sukurti šiuos metodus ir funkcijas apjungiančius modelius ir geografinių informacinių sistemų (GIS) plėtinį tinkantį tiriamo objekto sprendimui. To siekiant pirmiausiai buvo atlikta erdvinės analizės metodų ir jų taikymo pasitelkiant informacines technologijas archeologijoje literatūros analizė, apžvelgti paplitę metodai šioms ir susijusioms užduotims spręsti. Darbo tyrimo dalyje pasiūlyti metodai archeologinių kultūrų arealo („Xtent“ modelio naudojimas, vektoriniame duomenų modelyje) ir archeologinio vietovės jautrumo nustatymui (ansamblinis mašininio mokymo algoritmas - atsitiktinis miškas). Šiems metodams įgyvendinti praplėstas įprastas GIS funkcionalumas, naudojant statistinės analizės sistemą „R“ ir Python programavimo kalbą. Gauti rezultatai palyginus su įprastai naudojamais metodais parodo, jog parinktus metodus spręsti šioms užduotims galima laikyti tinkamais. Šio darbo metu sukurti modeliai galėtų būti panaudoti kaip mokslinės paskirties analitinis įrankis archeologams tiriantiems kraštovaizdžio veiksnius įtakojusius priešistorines bendruomenes, bei jų kultūrų paplitimus. Tačiau taip pat kaip pavyzdį galima pateikti ir taikymą statybų sektoriuje - planuojant vietovės užstatymą, ar kelių tiesimą, galima atsižvelgti į prognozuojamą vietovės archeologinį jautrumą, ir nedideliais pakeitimais išvengti padidintos rizikos, imtis darbų vietoje su archeologiniu objektu, taip sutaupant dideles išlaidas ir laiką privalomiems archeologiniams tyrimams.

## **Summary**

The following thesis is about methods of spatial analysis for archaeological research. The main aim of this work is to identify appropriate methods of spatial analysis for these tasks: measuring areas of archaeological cultures and determining archaeological sensitivity in selected space (predictive modeling), combine them into models and implement them in geographic information systems (GIS). First - existing literature on the topic was analysed, the usual approaches to these and related problems were determined. Consequently during the next phase, methods that aren't yet very popular in archaeological modeling were selected: archaeological culture area measurement based on „Xtent“ model in vector data model and ensemble machine learning algorithm – random forest, for determining archaeological sensitivity of selected area. Finally to implement these methods, standard GIS functionality was extended by using statistical analysis system „R“ and Python programming language. The results show, that selection of methods for these tasks can be considered appropriate. The models created during this research could be used as scientific purpose analytical tool for archaeologists who are concerned with environment factors that influenced prehistoric societies and extent of their cultures in space. Nonetheless, a predictive model could also be used in construction sector – as a tool for planning, to identify increased risk areas, where archaeological sensitivity is high, and small changes in planning could significantly reduce the risk of mandatory, expensive and time consuming archaeological excavations.

# TURINYS

ĮVADAS.....	5
1. INFORMACINIŲ TECHNOLOGIJŲ TAIKYMAS ARCHEOLOGIJOJE .....	7
1.1. Archeologinis kontekstas, duomenų pobūdis ir jų ypatumai .....	7
1.2. Archeologinės kultūros arealo nustatymas.....	13
1.2.1. Geometrinių regionų kūrimas .....	13
1.2.2. Kraštovaizdžio įtaka teritorijų modeliavimui.....	15
1.2.3. „Xtent“ modelis.....	18
1.2.4. Archeologinių kultūrų išskyrimas .....	21
1.3. Prognoziniai modeliai archeologijoje .....	21
1.4. Erdvinės analizės metodų parinkimas .....	23
2. ERDVINĖS ANALIZĖS MODELIAI ARCHEOLOGINĖS MEDŽIAGOS KLASIFIKAVIMUI .....	24
2.1. Modelis archeologinių kultūrų arealų nustatymui .....	24
2.1.1. Pradiniai įvesties duomenys .....	24
2.1.2. Spindulių trasavimas (Raycasting).....	24
2.2. Prognozinis modelis vietovės archeologiniam jautrumui nustatyti .....	25
2.2.1. Pradiniai įvesties duomenys ir nepriklausomų kintamųjų parinkimas.....	25
2.2.2. Atsitiktinis miškas .....	26
3. PROGNOZINIŲ MODELIŲ TAIKYMAS. ....	27
3.1. Duomenys .....	27
3.1.1. PROLIGIS .....	27
3.1.2. EUROEVOL .....	28
3.1.3. Topografiniai duomenys .....	30
3.1.4. Duomenų paruošimas, radiokarboninių datų kalibravimas.....	32
3.2. Logistinė regresija.....	36
3.3. Atsitiktinis miškas .....	38
REZULTATAI IR IŠVADOS.....	45
ŠALTINIAI.....	47

## Ivadas

Archeologijos mokslas iš esmės yra susijęs su erdve ir laiku. Visi archeologiniai objektai turi erdvinį duomenį, o nustatius materialaus kultūros paveldo chronologiją, tiriama žmogaus veikla laiko atžvilgiu. Dėl šių priežasčių archeologija yra palanki sritis taikyti GIS (geografinės informacinės sistemas), ką ir galima matyti nuo 20a. paskutinio dešimtmečio [CL06, 5], [SV11, 337]. Šiame darbe išskirsime dvi problemas, kurių sprendimui pasiūlysiame atitinkamą modelį:

1. Skirtingų archeologinių kultūrų paplitimo nustatymas remiasi archeologiniais objektais (gyvenvietėmis, kapinynais ir kt.), jų erdvinio pasiskirstymu ir juose rastos medžiagos tipologija ir datavimu. Šie duomenys yra nuolat papildomi (atrandami nauji objektai ir radiniai), tokia žemėlapyje minėtos kultūrų ribos su kiekvienu nauju atradimu nuolat kinta, o jų nustatymas reikalauja daug darbo kiekvieną kartą vertinant visą atitinkamos teritorijos rastos medžiagos imtį. Būtent todėl kultūrų paplitimą vaizduojančio skaitmeninio žemėlapio ir šių arealų apskaičiavimo automatizavimas, įvertinantis naujų duomenų atradimą, palengvintų kultūrų paplitimus analizuojančių tyrėjų darbą.
2. Vietovės archeologinio jautrumo (tikimybės pasirinktoje erdvėje rasti archeologinį objektą) nustatymas remiasi turima informacija apie žinomus archeologinius objektus ir jų erdvinį kontekstą (nustatomi žinomų archeologinių objektų erdviniai ryšiai su kitais archeologiniais objektais ir tokiais vietovės savybėmis kaip: kalvotumas, nuolydis, geomorfologija, atstumas iki vandens telkinių) [Kno14, 7; VP12]. Dėl tų pačių priežasčių, kaip ir kultūrų arealo nustatymui (atsiradus naujiems duomenims, archeologinis jautrumas turi būti įvertinamas iš naujo), vietovės archeologinio jautrumo nustatymo automatizavimas įvertinantis naujų duomenų atradimą, palengvintų tyrėjų ir kitų šia problema suinteresuotų šalių darbą.

Šio tyrimo objektas yra erdvinės analizės metodai dvejoms užduotims įgyvendinti:

1. Skirtingų kultūrų arealų nustatymas ir jų kitimas laiko atžvilgiu.
2. Modelis vietovės archeologiniam jautrumui vertinti.

Tyrimo tikslas yra siekis parinkti archeologinio arealo nustatymui ir archeologiniam vietovės jautrumui įvertinti tinkamus erdvinės analizės metodus ir GIS priemones, bei sukurti šiuos metodus ir funkcijas apjungiantį modelį ir GIS plėtinį tinkantį tiriamo objekto sprendimui.

Minėtam tikslui pasiekti yra numatyti tyrimo uždaviniai:

- Atlikti šios problematikos ir erdvinės analizės metodų taikymo literatūros analizę
- Nustatyti erdvinės analizės metodus tinkančius archeologiniams tyrimams
  - Skirtingų kultūrų arealų nustatymui.
  - Modelio nustatančio pasirinktos vietovės archeologinį jautrumą sukūrimui.

- Sukurti tinkamą naudoti modelį ir GIS plėtinį galintį analizuoti archeologinius duomenis pagal jų erdvinį pasiskirstymą.
- Pritaikyti sukurtą modelį ir įrankį pasirinktai teritorijos vietai vertinti.

Prognozinis modelis archeologiniam jautrumui nustatyti bus vertinamas ploto po ROC (angl. – *receiving operating characteristic*) testu, įprastai naudojamu klasifikatoriams vertinti [Brad97]. Atsižvelgiant į šio testo rezultatus gaunamus tokiuose klasifikavimo uždaviniuose, nuspręsta tinkamu metodu laikyti tokį, kurio plotas po ROC kreive bus didesnis už 0,7 [Luc13].

Tyrimo eigoje tikimasi nustatyti jog erdvinės analizės metodai ir GIS priemonės yra efektyvus būdas ir instrumentas archeologinės medžiagos analizei nustatant skirtingų kultūrų arealus ir vietovės archeologinį jautrumą. Tyrimo metodologija:

- Mokslinės literatūros analizė ir apibendrinimas.
- Modelio sudarymas ir jo taikymas.
- GIS plėtinio projektavimas ir įgyvendinimas.

Tyrimo metu bus naudojama *Esri* geografinių informacinių sistemų programinė įranga „*ArcGIS*“ su Vilniaus Universiteto suteikiama licenzija, jos funkcionalumas plečiamas Python programavimo kalba, mašininio mokymo algoritmų implementacijomis iš „*scikit-learn*“ paketo. Statistinės analizės sistema „*R*“ ir jos paketas „*rcarbon*“ naudojamas radiokarboninių datų kalibravimui.

Laukiami tyrimo rezultatai yra sukurtas erdvinės analizės metodų taikymo archeologijoje modelis ir jį atitinkantis geografinių informacinių sistemų plėtinys, bei pagrįstas jo tinkamumas pritaikant pasirinktos teritorijos archeologinei medžiagai.

# 1. Informacinių technologijų taikymas archeologijoje

## 1.1. Archeologinis kontekstas, duomenų pobūdis ir jų ypatumai

Kadangi tyrimo objektas yra erdvinės analizės metodai archeologinių kultūrų arealams ir vietos archeologiniam jautrumui nustatyti, pirmiausiai reikėtų trumpai apžvelgti dalykinę sritį, kurioje erdvinės analizės metodai bus taikomi.

Archeologinių tyrimų duomenys gali būti įvairūs – tyrimų ataskaitose esanti tekstinė medžiaga apie radimvietę, radinius, jų tipus, matmenis, svorį, koordinates, radinio kontekstą, radiokarboninio datavimo ir įvairių cheminių analizių rezultatus. Ši informacija taip pat gali būti papildoma nuotraukomis, brėžiniais, žemės paviršiaus skenavimo LIDAR metodu duomenimis ir kitokia informacija. Taigi archeologinių duomenų pobūdis yra labai heterogeniškas. Atsižvelgiant į šio tyrimo tikslus, didžiausias dėmesys bus skirtas duomenims apie archeologinius objektus ir juose rastiems radiniams.

*Archeologinis objektas* – tai „praeities ūkinės ar gynybinės veiklos, gyvenamoji, laidojimo ar kulto vieta, kurios vienintelis arba vienas iš pagrindinių mokslinių duomenų šaltinių yra archeologiniai tyrimai ir radiniai“ [PTR11, 2]. *Archeologiniai radiniai* dažniausiai skirstomi į žmogaus pagamintus - kilnojamus *artefaktus* (t.y. dirbiniai - įrankiai, ginklai, keramika) arba stacionarius *ypatybes* (tokias kaip pastatų liekanos, krosnys, šuliniai, grindiniai ir pan., kurios tyrimų metu dažniausiai paliekamos in-situ) ir organinius, liudijančius apie žmogaus veiklą *ekofaktus* (pvz. augalų liekanos, sėklos, žiedadulkės, gyvūnų kaulai liudijantys apie žmogaus mitybą, žemdirbystės pobūdį ar kitą veiklą). Lietuvoje archeologinių tyrimų metu surenkami duomenų rinkiniai yra fiksuojami archeologinių tyrimų ataskaitose, valstybės nustatyta tvarka [PTR11, 2]. Tokių įvairialypių archeologinių duomenų kolekcijos tiek Lietuvoje, tiek pasaulyje yra vis dažniau skaitmenizuojamos [GD16, 6]. Visi archeologiniai duomenys turi erdvinį ir laikinį kontekstą. Kontekstas archeologijoje nurodo radinių tarpusavio arba radinių ir situacijos kurioje jie rasti ryšį. Kiekvienas radinys archeologiniame objekte turi tikslią lokaciją, prieš radinį pašalinant, ši vieta yra kiek įmanoma preciziškai užfiksuojama. Jeigu radinys yra pašalinamas ir jo vieta neužfiksuojama, kontekstas yra prarandamas ir toks radinys dažniausiai nebeturi jokios mokslinės vertės. Kontekstas padeda archeologams suprasti ryšį tarp radinių tame pačiame archeologiniame objekte, arba ryšį tarp archeologinių objektų.

Panašumų ir pokyčių atsirandančių artefaktuose laikui bėgant aiškinimas ir analizė senai buvo archeologų tikslas. 20 a. Pradžioje kultūros istorikai daugiausiai buvo suinteresuoti panašumais tarp artefaktų grupių, kaip būdu juos datuoti, įvertinamais pagrindu tokiais aspektais kaip forma, funkcija ir stilius. Kuo panašesnės buvo artefaktų grupės, tuo labiau istoriniu ir laiko atžvilgiu jos buvo laikomos susijusios. Artefaktų tipologijos buvo sukurtos siekiant juos datuoti,

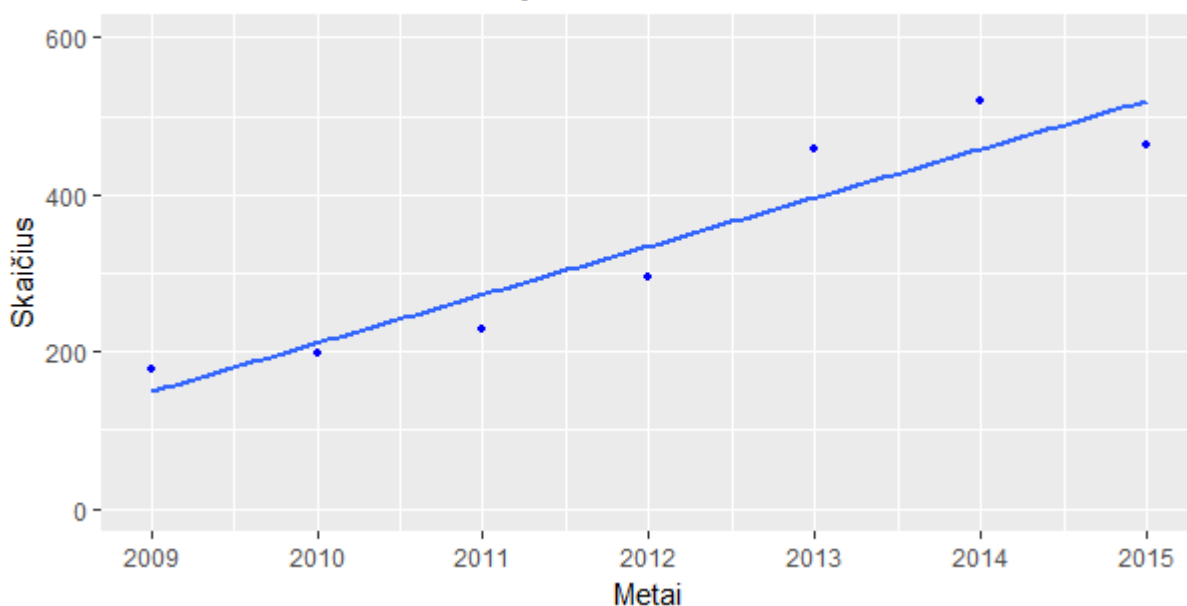


panašiai kaip biologai ir paleontologai kūrė taksonus giminingoms organizmų grupėms klasifikuoti [EL07, 240]. Nors dabar egzistuoja daugybė fizikinių ir cheminių metodų radiniams pagamintiems iš įvairių medžiagų amžiui nustatyti, vienas iš didžiausių reikšmę archeologijoje turėjusių datavimo metodų, buvo 1946 metais Willard F. Libby pasiūlytas būdas organinių medžiagų amžiui nustatyti – radiokarbono ( $^{14}\text{C}$ ) datavimas (kai radinio amžius nustatomas pagal išlikusios radioaktyviosios anglies izotopo kiekį organinėje medžiagoje) [Tay14, 6226]. Gyvuose organizmuose metaboliniai procesai palaiko panašų kiekį  $^{14}\text{C}$  kaip ir tuo metu atmosferoje, dėl mitybos augalais ar kitais gyvūnais. Kai metaboliniai procesai baigiasi (augalo ar gyvūno mirtis), radioaktyviosios anglies kiekis ima mažėti dėl radioaktyviojo skilimo proceso. Radiokarboninis amžius yra nustatomas pagal radioaktyviosios anglies likutį mėginyje (kas 5730 metų likutis sumažėja perpus). Kadangi istoriškai radioaktyviosios anglies kiekis atmosferoje nebuvo vienodas, radiokarbono datas reikia papildomai kalibruoti [Tay97].

Medžiagos ir formos variantiškumas archeologiniuose duomenyse, kuris yra fiksuojamas aprašant tipologijas, leidžia išskirti tam tikras artefaktų grupes, nuo įtin specifiskų artefaktų tipologijų skirtų sistemizuoti lokalų kintamumą materialiojoje kultūroje, iki plačios klasifikavimo schemos, kuri apibrėžia trans-istorinių kultūrų formavimosi procesą ir trans-regioninių kultūrų ribas. Artefaktų lygmenyje, ypač keramikos ir akmens dirbinių tipologijos buvo svarbios, kaip chronologiškai ir erdviškai jautrūs žymenys, kurie įtvirtino archeologinių kultūrų charakterizacijas [Wil17, 992].

*Archeologinė kultūra* - tai archeologinių *radinių* (keramikos, įrankių, papuošalų, ginklų, pastatų ir kitų materialinių liekanų susijusių su žmogaus veikla) grupė pasikartojanti tam tikroje erdvėje, tam tikru laiko periodu ir galimai atspindinti konkrečią žmonių bendruomenę. Nors pati archeologinės kultūros koncepcija yra pakankamai sena (jos suformulavimas priskiriamas anglų archeologui Gordon Childe, dar 1929-aisiais metais), ji iki šiol išliko iš esmės nepakitęs ir nepaisant kai kurios kritikos (diskusijų kyla dėl socialinių grupių identifikavimo tikslumo pagal materialinę kultūrą) yra toliau plačiai naudojama dabartinių archeologų. Tai rodo, jog arba turi būti rastas naujas būdas archeologinių duomenų grupavimui, arba būtina toliau tyrinėti kaip šie, archeologinėmis kultūromis vadinami, duomenų rinkiniai yra suvokiami, klasifikuojami ir priimami [RL11, 2]. Archeologinės kultūros koncepcija gimė iš didėjančio poreikio klasifikuoti ir interpretuoti sparčiai augantį archeologinių duomenų kiekį, o tai išlieka aktualu ir šiandien [RL11, 10]. Šias archeologinių duomenų augimo tendencijas galima pastebėti ir Lietuvoje - kultūros paveldo departamento duomenimis nuo 2009-ųjų iki 2015-ųjų metų viso priimta 2341-a archeologinių tyrimų ataskaita, šiuo periodu egzistavo bendra ataskaitų kiekio didėjimo tendencija (pav.1.) [KPD17].

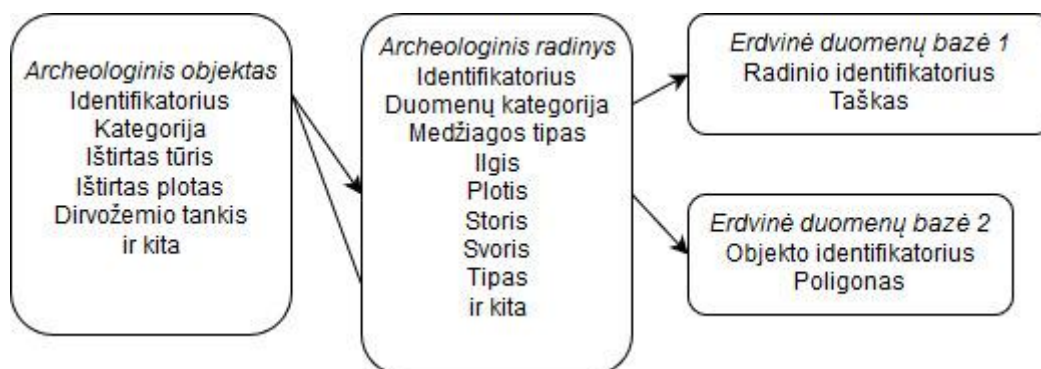
## Archeologinių tyrimų ataskaitos 2009-2015 metais Lietuvoje



Pav. 1. Archeologinių tyrimų ataskaitų skaičius ir trendas 2009-2015 metais, sudarytas remiantis kultūros paveldo departamento duomenimis [KPD17].

Egzistuoja plačiai išplitęs įsitikinimas, kad archeologinės kultūros koncepcija leidžia archeologams identifikuoti ir interpretuoti dėsningumus gausioje archeologinėje medžiagoje ir joks kitas karkasas kol kas jos šiais aspektais nepakeitė [RL11, 5].

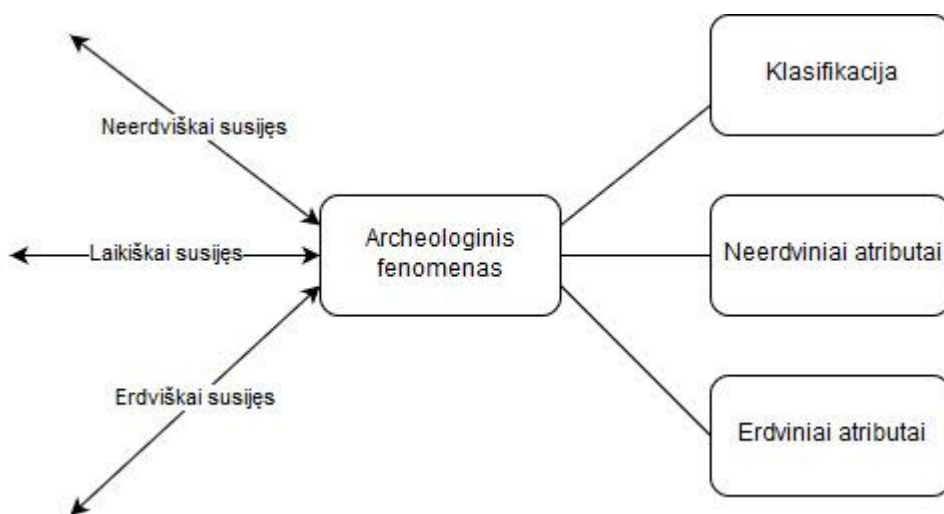
Archeologinių duomenų modeliai paprastai atspindi kintamumą trijose dimensijose: (1) formos ir medžiagos kintamumas, (2) erdvinis artefaktų ar ypatybių pasiskirstymas archeologiniame objekte, arba tarp objektų ir artefaktų grupių regione, ir (3) artefaktų, architektūrinių stilių ar kitokių kultūrinių darinių chronologiniai trendai (atsiradimas, dažnumas, išnykimas) [Wil17, 992].



Pav. 2. Paprastas archeologinių duomenų modelis, pagal James Connoly ir Mark Lake [CL06, 38].

Dauguma archeologinių duomenų, ar tai būtų artefaktai, ekofaktai, ypatybės, pastatų liekanos, archeologiniai objektai ar kraštovaizdžiai turi erdvinius ir neerdvinius atributus [CL06 12-14]:

- Vietą erdvėje. Paprastai nusakoma skaitine verte, naudojant koordinates.
- Morfologiją. Aptariamo archeologinio fenomeno forma ir dydis, pavyzdžiui: „tiesus“ arba „100m<sup>2</sup>“. Kiekybiniai arba kokybiniai apibrėžimai gali būti įrašomi kaip atributų duomenys, pavyzdžiui archeologinio objekto plotas ar radinių pasklidinimo jame forma. Alternatyvus metodas vaizduoti erdvinę morfologiją yra tiesiogiai šiuos duomenis atvaizduoti žemėlapyje.
- Informaciją apie erdvinę asociaciją ir interakciją. Ši informacija nusako erdvinius ryšius, pavyzdžiui „kelias a, kerta kelią b“, „iš gyvenvietės p, galima matyti gyvenvietę q“ ar „objektas k yra 100m į rytus nuo vandens telkinio“. Kai kurie erdvinių asociacijų tipai yra vadinami topologiniais, pavyzdžiui kai kalbama apie kelių ar takų sandūras. Topologiniai ryšiai nepriklauso nuo orientacijos, kadangi svarbūs čia yra tik jungiamieji ryšiai tarp tiriamų objektų, o ne jų vieta erdvėje ar orientacija.
- Laikinius ryšius. Nusako konkrečią datą, arba su su laiku susijusių reliatyvią ypatybę, kaip pavyzdžiui „anksčiau negu“, „vėliau negu“. Laikiniai ryšiai yra svarbūs tam, kad būtų užtikrinta, jog atliekant analizę, būtų naudojami tik duomenys atitinkantys pasirinktą laiko tarpsnį.
- Neerdvinius atributus. Šie atributai nusako objekto pobūdį. Tai gali būti archeologinio objekto ar radinio aprašymas, informacija apie spalvą, medžiagos tipą, ypatybės formą ar panašiai.



Pav. 3. Archeologinių duomenų erdvinės ir neerdvinės charakteristikos, pagal James Connoly ir Mark Lake [CL06, 14].

Galimybė susieti neerdvinius duomenis su erdviniais leidžia tirti neerdvinių duomenų erdvines charakteristikas. Pavyzdžiui kovos kirvių duomenų bazė, kurioje yra užfiksuota kiekvieno radinio vieta erdvėje, o taip pat ir ir neerdviniai, morfologiniai atributai (kaip svoris, dydis, forma, medžiaga, tipas) leidžia tirti ryšius tarp radinio vietos ir charakteristikų [CL06, 14].

Kontekstą, kuriame randama visa archeologinė medžiaga, įprasta vadinti kraštovaizdžiu. Galima išskirti archeologijoje vyraujančius du *kraštovaizdžio* apibrėžimus [Hu11, 80-81]: (1) moksliskas/abstraktus, ir (2) žmogiškasis (angl. - *humanistic*). Pirmasis apibrėžimas kraštovaizdį nusako kaip kiekybiškai įvertinamą, universalų, objektyvų neutralų, nelaikišką, statišką ir absoliutų. Antrasis – kokybiškai įvertinamą, patiriama, kontekstišką, reliatyvų, laikišką ir dinamišką. Šie du apibrėžimai nėra tarpusavyje nesuderinami ir archeologai dažnai yra linkę kraštovaizdį nusakyti abiejų apibrėžimų kombinacija: kraštovaizdis, kaip kontekstas kuriame žmonės gyvena, pažįsta juos supančią erdvę, joje veikia ir jai priskiria prasmes.

*Kraštovaizdžio archeologija*, kaip archeologijos subdisciplina, tiria kraštovaizdžio kaip sistemos ir žmonių bendruomenės gyvenusios jame, kaip posistemės, tarpusavio sąveiką [Hu11, 80; Tuč04, 17; SS12, 141-142]. Šio tyrimo kontekste, kraštovaizdžio archeologija yra svarbi, nes tiria ryšius tarp archeologinių objektų ir jų aplinkos. Kiek atidžiau susipažinus su šia tyrimų sritimi, galima išskirti tam tikrus gamtinės aplinkos elementus, vienaip ar kitaip galėjusius įtakoti, praeityje gyvenusių žmonių bendruomenės, ir vėliau nustatyti ar juos įmanoma inkorporuoti į planuojamus, analitinėje šio darbo dalyje kurti modelius, išsikeltiems tyrimo tikslams pasiekti.

Nors archeologai į kraštovaizdį, kaip kontekstą, kuriame randama archeologinė medžiaga, savo tyrimuose atsižvelgdavo jau senai, bet kraštovaizdžio archeologija kaip atskira subdisciplina pradėta išskirti maždaug aštuntojo dešimtmečio viduryje, ir nuo to laiko nemažai keitėsi. Pradžioje kraštovaizdžio archeologija buvo siejama su įvairiomis archeologijos mokslo srovėmis, kaip aplinkos archeologija, geoarcheologija ar archeologinės medžiagos erdvinė analizė, atspindėdama tuo metu archeologijos teorijoje dominavusią procesinę archeologiją. Tokio tipo metodologijos dažniausiai fokusavosi į archeologinių objektų ir radinių pasklidimą erdvėje, pagrinde santykyje su aplinkos ypatybėmis, tokiomis kaip žemės paviršiaus reljefo formomis, hidrologija, dirvožemio fizinėmis savybėmis ir augalija. Tokie aiškinamieji modeliai (angl. – *explanatory models*) prioritetizuodavo ekologines, aplinkos, ekonomines ir socialines interpretacijas, siekiant suprasti minėtą archeologinės medžiagos pasiskirstymą erdvėje. Pastaraisiais dešimtmečiais kraštovaizdžio archeologijoje naudojami metodai išsiplėtė, inkorporuojant tokius požiūrius kaip etnoarcheologija, fenomenologija, simbolinės ar politinės interpretacijos. Šie požiūriai ir perspektyvos idėjų semiasi iš įvairių intelektualinių tradicijų ir prioritetizuoja prasmų priskyrimą vietoms, įskaitant ir archeologinių radinių pasiskirstymą kraštovaizdyje. Nors neretai ir kritikuojamos, tokios kraštovaizdžio archeologijos prieigos, atspindi bandymus suprasti žmonių gyvenusių praeityje ryšį su juos supusia aplinka [Den17, 464-465]. Tim Denham kraštovaizdžio archeologiją apibrėžia kaip turinčia dvi pagrindines sroves:

1. Žmogaus santykių su aplinka empiriniai aspektai, apribotoje erdvėje praeityje.
2. Būdai, kuriais anot dabartinių archeologų, kraštovaizdis buvo prasmingas jame gyvenusiems žmonėms praeityje.

Galima išvardinti įprastai įvairiuose, regioninio masto, archeologiniuose modeliuose, kaip kintamuosius naudojamas kraštovaizdžio gamtines ypatybės:

- Atstumas iki artimiausio vandens telkinio [BGK92, 273; CL06, 48; Ver07, 34; Kno14, 6]
- Artimiausio vandens telkinio laipsnis pagal „Strahler‘io metodą“ [CL06, 48]
- Lokalus reljefas (pasirinktu spinduliu apribotas kalvotumo diapazonas) [CL06, 48; Kno14, 5]
- Nuolydis [CL06, 48; Kno14, 5]
- Atstumas iki artimiausio jūros kranto [CL06, 48]
- Matomumas (angl. – *viewshed*) [CL06, 48]
- Dirvožemio fizinės savybės [BGK92, 273; Ver07, 34; Kno14, 5]

Archeologijoje GIS taikymo pradžia siejama su 1980‘aisiais, kai pasirodė pirmieji straipsniai šia tema. Nuo to laiko GIS svarba archeologijoje buvo įvertinta ir apžvelgta daug kartų, taip pat nuolat įvardijami, vis nauji GIS panaudojimo būdai [KVA17, 309]. Archeologijoje, kaip ir daugumoje kitų sričių, GIS pirmiausiai naudojamos duomenų bazių valdymui [KVA17, 309; Whi04, 41]. Dažniausiai tai būna kultūrinių resursų valdymui skirtos (pavyzdys Lietuvoje - Kultūros Paveldo Departamento, kultūros vertybių registras [KPD18]), bet kartais ir mokslinės paskirties duomenų bazės: konkretaus archeologinio objekto, regioninės arba šalies masto. Kadangi vienas archeologinis objektas gali turėti dešimtis tūkstančių archeologinių radinių ar ypatybių, GIS pagrinde naudojamos paieškos ir užklausoms, duomenų atvaizdavimui ir ataskaitų rengimui.

Nors ir kiek rečiau, bet GIS, archeologijoje taip pat naudojamos, kaip mokslinės paskirties analitinis įrankis erdvinei analizei ir problemų sprendimui atlikti. Tokio panaudojimo pavyzdžiai galėtų būti: priešistorinių kelių modeliavimas kraštovaizdyje, teritorijų ir mikrorajonų/baseinų (angl. – *catchment*) nustatymas pagal resursų pasiskirstymą, natūralias kliūtis ir kelionės laiko modelius. Taip pat, kaip pavyzdį galima išskirti matomumo tarp gyvenviečių (angl. – *intervisibility between settlements*) modeliavimą, siekiant paaiškinti jų aplinką, gyvenviečių su dideliu matomumu dominavimą, ar socialinę kraštovaizdžio svarbą [KVA17, 309]. GIS paremti archeologinių vietovių prognoziniai modeliai gali indikuoti regionus, kuriuose tikėtina galėjo būti praeities gyvenvietės. Jie paprastai yra sudaromi naudojant duomenis apie žinomus archeologinius objektus, kurie yra analizuojami pagal vietos preferencijas, kaip tam tikro dirvožemio tipo dominavimas, artumas iki vandens telkinio, reljefo patogumas gynybai (pvz. Kalvos viršūnė), reljefo lygumas ir panašiai. Po to paprastai yra naudojamas platus spektras GIS

funkcijų, nuo paprastų loginių operacijų, iki pakankamai sudėtingų logistinės regresijos modelių, siekiant apjungti šias minėtas preferencijas į regioninio masto žemėlapius, kurie nusako erdvinis praeities gyvenviečių ryšius. Prognozinis elementas atsiranda, kai tokio tipo žemėlapiai leidžia numatyti dar lauko tyrimais neatrastus archeologinius objektus. Be daugybės straipsnių apie skirtingus GIS panaudojimo archeologijoje būdus [Whi04; DK07; Tuč10; SV11; AK11; Hu11; VP12; VH12; TT12; TAT+13; Kno14; GD16; Ver18] (išskirtinai daug šiomis temomis yra rašęs Kevin L. Kvamme [KVA97; KVA06; KVA12; KVA17]), yra išleistos ir kelios didesnės apimties knygos, vadovėliai šia tema, iš kurių, vertėtų paminėti, Kembridžo Universiteto leidyklos išleistą, autorių James Conolly ir Mark Lake „Geographical Information Systems in Archaeology“ [CL06] - tai gana išsamus ir konkretus GIS naudojimo archeologijoje paskirties gidas, apimantis tokias temas kaip: archeologinį teoretinį kontekstą, GIS pagrindus, duomenų rinkimą ir duomenų bazių projektavimą, interpoliacinius ir aukščio modelius, duomenų analizę ir erdvines užklausas, statistinę erdvinę analizę, erdvines operacijas, žemėlapių algebrą, matomumo analizę, tinklų analizę, hidrologinį modeliavimą, prognozių modelių kūrimą. Vertėtų paminėti ir kasmet vykstančią (šiomet jau - 46'ą kartą) konferenciją „Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology“ [CAA18], kurioje dažnai pristatomi ir įvairūs darbai susiję su erdvinės analizės metodų taikymais naudojant GIS archeologijoje [Kam04].

## **1.2. Archeologinės kultūros arealo nustatymas**

Modeliais grįstoje archeologijoje, modeliu yra laikoma menama sistema, kuri yra atvaizduojama natūralia kalba, matematika, programiniu kodu ar koku kitu prasmingu mediumu, ir kuri turi vertingų panašumų su tiriamais realaus pasaulio sistemos aspektais. Dažniausiai tokia menama sistema yra stipriai supaprastinta, ignoruojanti detales, kurios laikomos nekritinėmis tiriamiems realaus pasaulio sistemos aspektams [KL07, 3-4]. Teritorijų modeliavimas yra esminė erdvinio samprotavimo archeologijoje dalis. Galimybė kiekybiniais metodais, formaliai korektišku būdu, nustatyti teritorijų apimtį, pagal politines, religines ar ekonomines zonas, leidžia perkelti hipotezes ir žinias nuo observacijų padarytų viename archeologiniame objekte į kraštovaizdžius aplink juos, taip efektyviai pereinant nuo taškais iki arealais pagrįstų apibrėžimų [DK07, 245].

### **1.2.1. Geometrinių regionų kūrimas**

Kadangi teritorijos nėra iš anksto tiksliai žinomos, reikėtų pirmiausiai apžvelgti pagrindinius būdus, skirtus kurti paprastiems geometriniams regionams (angl. – *geometric regions*). Geometriniai regionai dažniausiai yra apibrėžiami abstrakčiais erdviniais terminais ir nepriklauso nuo erdvės turinio. Tai lemia jog jie daugiausiai yra tik analitiniai, nes realaus pasaulio

erdviniai procesai retai kada būna nesusiję su tuo kas egzistuoja „ant žemės“. Geometriniai regionai yra dažniausiai kuriami naudojant procesus vadinamus buferių kūrimu (dar vadinama artimumo analize) (angl. – *buffering*) ir teseliacija (angl. – *tesselation*) [CL06, 209-212].

**Buferių kūrimas.** Buferis – tai regionas, kuriam priklauso visos vietos tam tikru atstumu nutolusios, nuo pasirinkto elemento (pvz.: taško, linijos ar poligono). Atstumas (arba artimumas) paprastai yra maksimalia distancija, arba minimalia ir maksimalia distancija kartu. Buferis sukurtas iš linijinio elemento, paprastai vadinamas koridoriumi. Taip pat galima kurti „multi-buferius“, tokiu atveju minimumo ir maksimumo vertės parenkamos taip, kad sukurtų aibę gretimų buferių (zonų), kurios yra vis toliau nuo pradinio elemento. Buferiai, kaip geometriniai regionai dažniausiai yra skaičiuojami vien pagal euklidinį atstumą. Tačiau, euklidinis atstumas, nebūtinai visada yra pats tinkamiausias „artumo“ matas, archeologijoje dažnai tam tikslui yra taikomi: kelionės laikas, cheminių medžiagų koncentracijos difuzija iš šaltinio (pradinio elemento), matomumas, potvynių tikimybės matavimų vertės.

**Teseliacijos procesas** – tai tam tikro ploto padalijimas naudojant vieną arba daugiau geometrinių figūrų, nepaliekant plyšių tarp jų ir be šių figūrų persidengimų. Vienas dažniausiai naudojamų teseliacijos, skirtos analitiniams tikslams, metodų yra Voronoi diagramos, dar dažnai vadinamos Thiessen poligonais. Turint pirminę taškų distribuciją, teseliacijos procesas, padalina šį plotą taip, kad kiekvienas taškas būtų aptvertas (angl. – *enclosed*) vienu poligonu, kuriam priklauso visa erdvė, esanti arčiau aptverto taško, negu betkurio kito. Poligonas gali paveldėti atributą iš savo taško, ir taip tapti paprasta interpoliacijos forma. Toks metodas gali būti naudojamas kategorinių taškų interpoliacijai, pavyzdžiui siekiant sukurti ištisinį dirvožemio tipo žemėlapi remiantis duomenimis iš gręžinių (taškų). „Naujoji geografija“ (angl. – *new geography*) pradėjo naudoti Thiessen poligonus įtakos zonoms aplink urbanistinius centrus nustatyti, ši idėja greitai buvo perimta ir archeologų, kurie ėmė ją naudoti siekdami nustatyti skirtingų archeologinių objektų tipų (neolitinių ilgųjų pilkapių, piliakalnių, gyvenviečių) „teritorijas“. Šiais atvejais buvo sukurtas aiškus loginis pagrindas teritorijų priskyrimui: kontrolė turi būti priskiriama artimiausiam objektui. Tačiau kiekvieno poligono apimtį galima pakoreguoti pagal santykinę kiekvieno taško (elemento) iš kurio teseliacija buvo generuojama, svarbą. Šiuo atveju „svarba“ gali būti įvairi: populiacijos dydis, religinio centro buvimas ir panašiai. Esminė tokio „traukos-stūmos“ (angl. – *gravity modeling*) modeliavimo prielaida yra ta, kad interakcijos tarp vietų intensyvumas yra tiesiogiai proporcingas skaitinei tų vietų vertei (svoriui), ir atvirkščiai proporcingas atstumui tarp jų. James Conolly ir Mark Lake [CL06, 213] pateikia vieną metodą skirtą Thiessen poligonų dydžiui, pagal svorius (santykinis individualių elementų dydis ar svarba), koreguoti, ir taip modeliuoti teritorijos ribai tarp gyvenviečių  $i$  ir  $j$  kaip pavyzdį:

$$D_{xj} = \frac{D_{ij}}{1 + \sqrt{\frac{P_i}{P_j}}} \quad (1)$$

kur  $P_i$  ir  $P_j$  yra populiacijų dydžiai,  $D_{ij}$  yra atstumas tarp šių gyvenviečių ir  $D_{xj}$  yra atstumas nuo gyvenvietės  $j$ , ties kuriuo galima brėžti ribą.

Autoriai pažymi, jog minėtiems metodams egzistuoja alternatyva vadinama „Xtent“ modeliu [CL06, 213], bet plačiau jo neaptaria. Abu (buferių kūrimas ir Thiessen poligonai) aptarti būdai, geometriniais regionams kurti, neįvertina erdvės turinio, tad toliau bus apžvelgti kraštovaizdžio įtaką įvertinantys būdai erdvei skaidyti.

### 1.2.2. Kraštovaizdžio įtaka teritorijų modeliavimui

Euklidinis atstumas įprastai yra laikomas netinkama metrika, vertinti erdviniams ryšiams tarp archeologinių objektų [Per15, 370]. Įtakos zonos priklauso, ne tik, nuo archeologinio objekto (centro) „dydžio“, bet ir daugybės kitų socialinių ir kultūrinių faktorių [CL06, 213]. Vienas tokių faktorių yra vertinimas kokių pastangų žmogui reikėjo keliaujant per kraštovaizdį, kuriame gyveno. Tad vietoje euklidinio atstumo, archeologiniuose modeliuose, dažniausiai yra naudojamas judėjimo kainos vertinimas [Per15, 369-370; CL06, 214].

Kadangi aptarti būdai geometriniais regionams kurti, neatsižvelgia į tai ką James Conolly ir Mark Lake vadina erdvės turiniu (tokius kraštovaizdžio elementus kaip kalvotumas, natūralius barjerus – vandens telkinius, upes, kalnų ruožus ir panašiai), toliau autoriai siūlo būdus erdvei skaidyti į tai ką jie vadina „topografiniais regionais“ [CL06, 213-214]. Toks pasirinktas pavadinimas aiškinamas tuo, jog dažniausiai procesai, galintys įtakoti regionų (gamtinių ir antropogeninių) kūrimą būna stipriai susiję su vietovės kalvotumu ir šlaitų statumu. Pateikiami du tokių regionų pavyzdžiai [CL06, 214]: gamtinis - upių ir ežerų baseinų (teritorija iš kurios visas vanduo suteka į vandens telkinį) teritorijos ir antropogeninis - teritorijos kurios apibrėžiamos maksimaliu atstumu, kurį žmogus gali įveikti iš pasirinkto taško, neviršydamas pasirinktos kelionės vertės (pavyzdžiui sugaištas laikas arba sunaudojama energija).

Kelionės vertė tam tikroje vietoje priklauso nuo transporto tipo (pavyzdžiui ėjimas, jojimas ar plaukimas laivu) ir tos vietos kraštovaizdžio atributų. Priklausomai nuo pasirinkto transporto tipo ir tiriamos vietos kraštovaizdžio atributų kombinacijos, kelionės kaina gali būti izotropinė (nepriklauso nuo kelionės krypties, bet priklauso nuo tokių vietos atributų kaip paviršiaus šiurkštumas), dalinai anizotropinė (priklauso nuo kelionės krypties, bet kryptis įtakojanti kainą yra



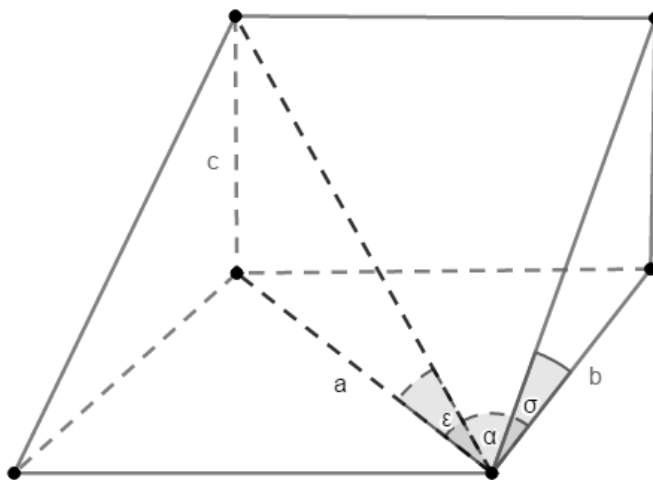
nekintanti visoje teritorijoje, pavyzdžiui pasirinkta tam tikra vėjo kryptis kaip konstanta) arba pilnai anizotropinė (priklauso nuo kelionės krypties, pavyzdžiui dviejų kelionių per tą patį šlaitą kaina, gali skirtis priklausomai nuo ėjimo krypties) [CL06, 215].

Archeologiniuose, kelionės vertę analizuojančiuose, modeliuose transporto tipas dažniausiai būna ėjimas [CL06, 215]. Ėjimo kaina, kaip jau minėta, priklauso nuo kelionės krypties, dėl padidėjančių energijos sąnaudų keliaujant per šlaitus. Ėjimo per šlaitus modeliavimas susideda iš dviejų aspektų: (1) patiriamo šlaito statumo nustatymas (efektyvus nuolydis, angl. - *effective slope*) ir (2) tokio statumo šlaito įveikimo kainos nustatymas [CL06, 217].

**Efektyvus nuolydis.** Kadangi kryptis, kuria nuolydis maksimalus (šlaito kryptis), ir judėjimo kryptis nevisada sutampa, efektyvus arba patiriamas nuolydis gali svyruoti, nuo 0 (kai einama statmenai šlaito kryptimi), iki maksimalaus (kai einama lygiagrečiai šlaito kryptimi), patiriamas nuolydis bus teigiamas arba neigiamas priklausomai nuo to ar judama šlaito kryptimi ar priešinga jai. James Conolly ir Mark Lake siūlo efektyvų nuolydį  $\varepsilon$  skaičiuoti taip [CL06, 218]:

$$\varepsilon = \arctan(\cos \alpha \tan \sigma) \quad (2)$$

Kur  $\alpha$  yra kampas tarp šlaito krypties ir judėjimo krypties,  $\sigma$  yra nuolydis, o  $a$  ir  $b$  yra apibrėžti kaip pav. 4:



Pav. 4. Efektyvus nuolydis pagal James Conolly ir Mark Lake [CL06, 218].

**Judėjimo kaina.** Apskaičiavus efektyvų nuolydį, jam reikia priskirti tam tikrą vertę (judėjimo kainą). Laboratoriniai eksperimentai yra parodę, kad mažiausias energijos sunaudojimas yra einant žemyn 4-6° šlaitu [CL06, 219]. Įprastai, archeologiniuose modeliuose, judėjimo kainai nustatyti, naudojamos tokios funkcijos:

1. **Nuolydžio poveikis ėjimo greičiui:**

Toblerio žygiavimo funkcija [Leu02, 122; CL06, 219] (angl. – *Tobler's hiking function*):

$$v = 6e^{-3,5|s+0,05|} \quad (3)$$

kur  $v$  yra ėjimo greitis (km/h), o  $s$  yra nuolydis laipsniais.

## 2. Santykinės energijos išlaidos:

Su nuolydžiu susijusi judėjimo kaina, kartais įvertinama taip [Leu02, 122; CL06, 220]:

$$C = \frac{\tan s}{\tan 1} \quad (4)$$

kur  $C$  yra santykinės energijos išlaidos, o  $s$  yra nuolydis.  $1^\circ$  nuolydis yra imamas kaip atskaitos taškas. Tačiau kaip pažymi van Leusen, kelionės kaina dažniausiai susideda iš izotropinio (susijusi su paviršiaus tipu) ir anizotropino (susijusi su nuolydžiu arba upės tėkmės kryptimi) komponentų kartu, o tokia santykinė judėjimo kaina (4) yra tik izotropinė [Leu02, 122].

## 3. Absoliučios energijos išlaidos:

Pagal Pandolf, Giboni ir Goldman [PGG76, 578]:

$$M = 1,5W + 2,0 (W + L) \left(\frac{L}{W}\right)^2 + N(W + L)(1,5V^2 + 0,35VG) \quad (5)$$

kur  $M$  yra energijos išlaidos vatais,  $W$  yra einančio žmogaus kūno svoris (kg),  $L$  yra nešamas svoris (kg),  $V$  yra ėjimo greitis (km/h),  $N$  yra „žemės paviršiaus“ įtaka (angl. - *terrain factor*) ir  $G$  - nuolydis (%). „Žemės paviršiaus“ įtaka, kai  $N = 1$  yra ėjimas grįstu keliu, ir yra laikoma atskaitos tašku, 1,5 tokiu atveju reikštų paviršių kuriuo eiti atitinkamai 1,5 karto sunkiau nei grįstu keliu (pavyzdžiai galimiems  $N$  koeficientams, šioje lygtyje, iš skirtingų tyrimų [GG71; SG72; RPS15] pateikiami lentelėse: Pav. 5, Pav. 6 ir Pav. 7).

Martijn van Leusen savo disertacijoje šią lygtį papildė [Leu02, 123]:

$$M = 1,5W + 2,0 (W + L) \left(\frac{L}{W}\right)^2 + N + (W + L)(1,5V^2 + 0,35V|G + 6|) \quad (6)$$

kur  $|G + 6|$  užtikrina, kad minimalios energijos išlaidos būtų siejamos su ėjimu  $6^\circ$  nuolydžiu žemyn, o ne plokščiu paviršiumi.

### Žemės paviršiaus įtakos koeficientai lygtims (5) ir (6):

Paviršius	N
Kieto paviršiaus kelias	1,2
Suartas laukas	1,5
Smėlio kopos	1,8
Kietas sniegas	1,6

Pav. 5, Rekomenduojami koeficientai  $N$ , skirtingų žemės paviršių įtakai, pagal Gioveni ir Goldman [GG71]

Paviršius	N
Asfaltas	1,0
Grunto danga	1,1
Netankūs krūmai	1,2
Tankūs krūmai	1,5
Pelkė	1,8
Smėlis	2,1

Pav. 6 Rekomenduojami koeficientai N, skirtingų žemės paviršių įtakai, pagal Soule ir Goldman [SG72]

Paviršius	N
Slidus paviršius (kietas šlapias molis, ledas)	1,7
Augmenija	$0,0718V^3 + 1,3V^2 - 5,3701V + 6,0705$
Grįstas kelias	1,0
Žvyras	1,2
Grunto danga	1,2
Smėlis	$1,5 + \frac{1,3}{V^2}$
Dumblas ir molis	$1,0 + \frac{2,5}{qc - 4,8}$ kur $qc$ – grunto kūginis stipris. Jei $qc \leq 7$ laikoma, kad tai pelkė.

Pav. 7, Rekomenduojami koeficientai N, skirtingų žemės paviršių įtakai, pagal Richmond, Potter ir Santee [RPS15].

### 1.2.3. „Xtent“ modelis

Aptardami Buferių kūrimo ir Thiessen poligonų metodus James Conolly ir Mark Lake pamini, kad egzistuoja alternatyva, vadinama – „Xtent“ modeliu, tačiau autoriai pažymi, jog apart originalaus Colin Renfrew bandymo, beveik neegzistuoja realių jo taikymų, pagrinde dėl pripažįstamo subjektyvumo nustatant vertę konstantos, lemiančios ar teritorijos bus laikomos daugiau ar mažiau autonominės [CL06, 213]. Tačiau, praėjus metams po šio darbo, kuriame „Xtent“ modeliai dėl minėtų priežasčių nebuvo detaliau aptarti, konferencijoje „Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology“ pasirodo Benjamin Ducke ir Peter C. Kroefges straipsnis „From Points to Areas: Constructing Territories from Archaeological Site Patterns Using an Enhanced Xtent Model“ apie patobulinto „Xtent“ modelio taikymą [DK07].

Teritorijų, kurias valdė priešistoriniai politinės galios centrai (angl. – *polities*), formos ir apimtys buvo susijusios su šių centrų dydžiais ir atstumais tarp jų. Remiantis šia prielaida ir buvo

sukurta „Xtent“ modelis, su tikslu nuspėti tokių centrų politinę įtaką pagal gyvenviečių liekanas (archeologinius objektus). „Xtent“ modelis suskaičiuoja hipotetines teritorijas pagal aibę tokių centrų, ir parodo, kurie iš jų patenka į labiau įtakingų kaimynų teritorijas. Pagal originalų modelį, gyvenviečių dydžiai ir atstumai tarp jų, kaip faktoriai lemiantys politinę įtaką, inkorporuojami taip:

$$I = C^a - k * d \quad (7)$$

kur  $I$  yra įtakos, kurią kiekvienas centras turi pasirinktoje vietoje, stiprumas. Esminė idėja yra ta, kad kiekviena vieta bus priskirta tam centrui, kurio  $I$  vertė tai vietai bus didžiausia.  $I$  vertė pasirinktai lokacijai yra nustatoma dvejomis sąlygomis, kurios tarpusavyje „varžosi“: centro dydis (arba „svoris“)  $C$  ir atstumas iki jo  $d$ . Didelis centras, esantis arti pasirinktos vietos, turės geriausią šansą, turėti didelę įtaką  $I$  (dominuoti/įtakoti vietą). Bet labai didelis centras, taip pat gali būti dominuojantis, netgi jei jis yra toliau. Du koeficientai  $a$  ir  $k$  nustato balansą tarp centro dydžio ir atstumo. Atstumo svarba didėja tiesiškai, o dydžio svarba eksponentiškai, tad dideli centrai yra linkę dominuoti mažesnius, net būdami sąlyginai toli. Taigi šis modelis remiasi keturiomis paprastomis prielaidomis:

1. Teritorijos priklausančios centrui yra erdviškai netrikdomos ir tęstinės.
2. Žemės plotas gali priklausyti tik vienam centrui vienu metu.
3. Tokių politinių arealų centrai-sostinės yra didesni negu žemesnio rango centrai priklausantys šiam arealui.
4. Centro dydis teigiamai koreliuoja su jo kontroliuojamos teritorijos dydžiu.

Toks teritorijų alokavimas daug nesiskiria nuo jau aptarto erdvės skaidymo į Thiessen poligonus. Abu metodai konverguoja, kai  $a = 0.5$ ,  $k = 1.0$  ir konstanta  $C = 1.0$ . Didinant  $a$ , kai  $C > 1$ , duoda panašius rezultatus, kaip Thiessen poligonai su svoriais [DK07, 247].

Benjamin Duce ir Peter C. Kroefges siūlomas patobulintas „Xtent“ modelis atsižvelgia į archeologinių objektų hierarchiją ir svorius, realistiškus atstumo modelius ir topografines įpatybes. Centrų svoriai yra išreiškiami funkcija (skaitiškai įvertinančia pasirinktą aspektą, pavyzdžiui: populiacijos dydį, karinį pajėgumą, ekonominę galią ar religinę svarbą), centrų artumas yra išreiškiamas kaip tiesė dekartio koordinatų sistemoje, arba geodezinis (angl. - *geodesic*) atstumas („Geodezinis, arba kreivinis, atstumas – tai trumpiausio kelio ilgis einant daugdaros kreivu paviršiumi“ [DKŽ08, 56]), arba judėjimo vertė (angl. – *cost of movement*) [DK07, 247]. Fizinės kraštovaizdžio savybės turi stiprią įtaką teritorijų sudarymui, ypač tose vietose, kur natūralūs barjerai įtakoja žmonių judėjimą. Originaliame „Xtent“ modelyje, kintantis topografijos pobūdis ir galima įtaka buvo pripažinta, bet į patį modelį neįtraukta. Vienas paprastas žingsnis link didesnio realizmo yra įprastą atstumo matavimą tiese, pakeisti su judėjimo vertės funkcija, kuri įvertina fizines pastangas reikalingas nuvykti iš vienos vietos į kitą. Tokios topografinės įpatybės kaip

barjerai ir keliai (angl. - *pathways*), atitinkamai blokuoja arba palengvina judėjimą. Barjerų pavyzdžiai gali būti plačios upės, kalnų ruožai ar žmonių pastatytos sienos. Barjerai gali būti absoliutūs arba pralaidūs. „Kelių“ pavyzdžiai galėtų būti natūralūs praėjimai, arba žmonių nutiesti keliai. Tai kas yra laikoma „keliu“ arba „barjeru“ priklauso nuo to kokio tipo judėjimas yra modeliuojamas teritorijos alokacijos procese.

„Xtent“ modelio taikymo atvejų retumo priežastį, Benjamin Ducke ir Peter C. Kroefges aiškina panašiai [DK07, 248] kaip ir James Conolly ir Mark Lake [CL06, 213] – pagrindė, kaip modelio jautrumą mažiems pokyčiams koeficientuose  $a$  ir  $k$ , ir būtinumą kiekvienam individualiam tyrimui, šiuos koeficientus subjektyviai kalibruoti. Šių koeficientų vertės, duodančias rezultatus atitinkančius realybę (angl. – *good fit*), yra sunku interpretuoti, nes jos niekaip nekoreliuoja su prasmingais svorių ar atstumo vienetais. Aptariamo patobulinto „Xtent“ modelio implementacija GIS, siūlo naudoti du alternatyvius būdus apriboti teritorijos plėtimą, nustatydamą [DK07, 248-249]: (1) hierarchinius ryšius tarp centrų ir (2) maksimalų teritorijos pasiekiamumą a priori, taip palengvindama rezultatų kontroliavimą ir siejimą su realiais atvejais. Jeigu vienas centras yra „dominuojamas“ kito, jam nebus priskirta jokia autonominė teritorija. Nealokuotų plotų modeliavimas yra įmanomas pagal originalaus „Xtent“ modelio formulės apibrėžimą, kai vieta kuriai  $I \leq 0$  nėra alokuojama, tačiau patobulinto „Xtent“ modelio GIS implementacijoje, autoriai vietoje šio apribojimo naudoja „a priori maksimalaus teritorijos pasiekiamumo“ kiekvienam centrui ribojimą. Jeigu atstumo matas yra paimamas iš paviršiaus vertės žemėlapiu (angl. – *cost surface map*), tai teritorijos formas nulems hierarchiniai santykiai tarp centrų ir kraštovaizdžio ypatybės, tokiu atveju anot autorių yra lengviau interpretuoti ir lyginti skirtingus modelius. Kadangi teritorijų alokavimas nevisada būna aiškiai apibrėžtas, patobulinto „Xtent“ modelio implementacija siūlo erdvinio neaiškumo įvertinimą [DK07, 249] (angl. – *spatial measure of uncertainty*). Daug skirtingų kintamųjų kombinacijų gali sudaryti situacijas, kuriose centras A „laimi“ didžiausią  $I$  tik salyginai mažu skirtumu prieš centrą B. Tokiame kontekste, centras B yra laikomas „konkurentu“, o šio skirtumo vertės inversija bus laikoma „konkurencijos stiprumu“ (kuo mažesnis skirtumas, tuo didesnis konkurencijos stiprumas). Taigi tais atvejais, kai galima laikyti, jog „centras B yra beveik toks pat įtakingas, kaip centras A“ vietai x, „konkurencijos stiprumas“ bus didelis, ir B bus klasifikuojamas kaip varžovas šiai vietai. Konkurencijos stiprumas vertinamas skalėje nuo 0 iki 1 [DK07, 249].

Taigi, toks patobulintas „Xtent“ modelis apjungia jau aptartus erdvės skaidymo būdus (geometrinių regionų kūrimą ir regionų kūrimą pagal topografiją), ir praplečia originalų „Xtent“ modelį, taip pat pasiūlydamas būdą įvertinti „konkurencijos stiprumą“.

#### **1.2.4. Archeologinių kultūrų išskyrimas**

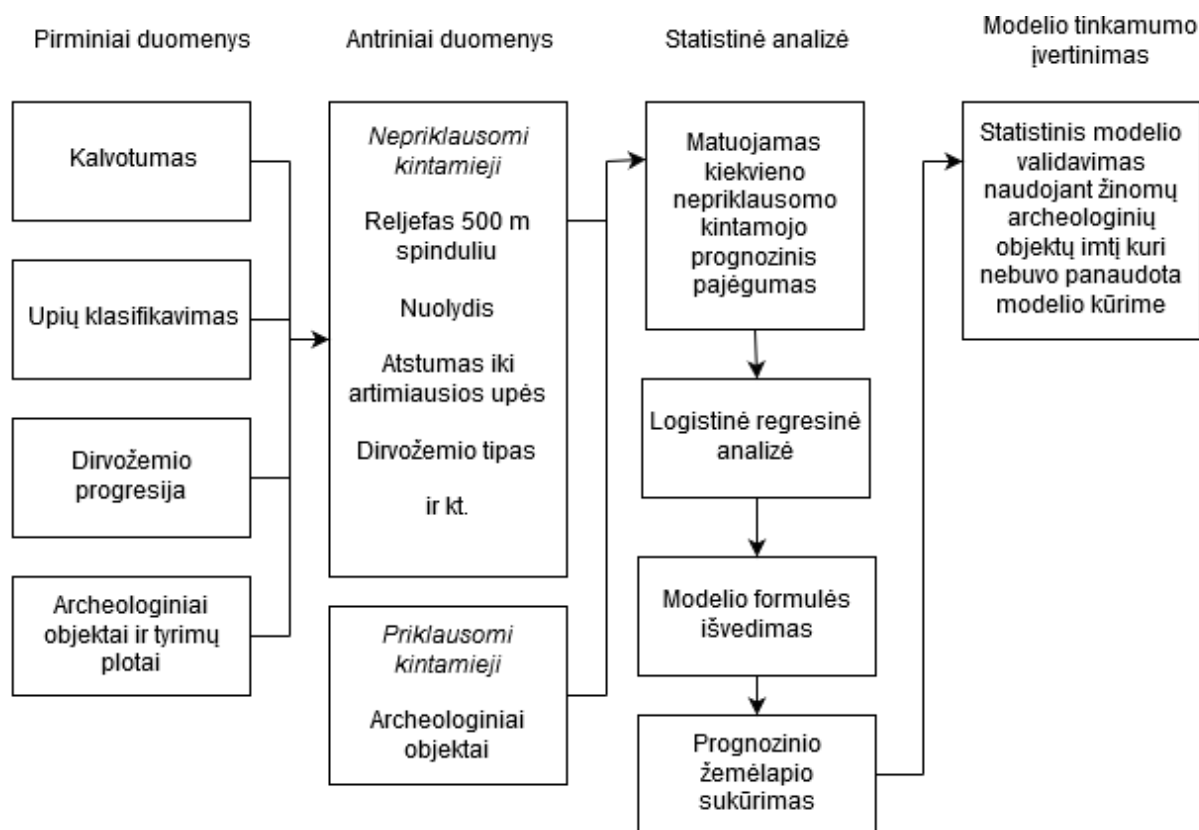
Tam tikro laikotarpio archeologinės kultūros arealas paprastai nustatomas pagal kultūrai priskiriamų radinių grupių erdvinį pasiskirstymą ir datavimą. Tokių žemėlapių sudarymui naudojamą metodologiją aptaria vienas 2011 metais publikuotas O. Aurenche ir S., K. Kozłowski straipsnis „Archaeology and Cartography: In Search of the Prehistoric Cultures in the Neolithic Near East“ [AK11, 271-287]. Išskiriami 4 etapai:

1. Elementų parinkimas. Tai tam tikrą kultūrą reprezentuojančių radinių tipų atrinkimas. Šiems radiniams vėliau priskiriami tam tikri „kultūriniai svoriai“ pagal jų retumą (laikoma jog, kuo retesnis radinys, turintis originalią charakteristiką kurią galima identifikuoti, tuo labiau jis charakterizuoja jį gaminusią žmonių grupę. Taigi kai egzistuoja kuo didesnis unikalių radinių tipų skaičius tiriamoje teritorijoje, tuo didesnis šansas nustatyti archeologinę kultūrą ir atskirti ją nuo egzistuojančių kaiminystėje).
2. Chronologinė evoliucija. Nustatomi chronologiniai skirsniai tiriamam laikotarpiui.
3. Bazinių žemėlapių kūrimas. Kuriami atskiri žemėlapiai atvaizduojantys kiekvieno radinių tipo pasiskirstymą atsižvelgiant į jo dažnumą archeologiniuose objektuose ir chronologinius skirsnius. Radinių dažnumas objektuose gali padėti nustatyti kultūrų epicentrus, galimas ištakas ir periferines zonas.
4. Bazinių žemėlapių apdorojimas.

### **1.3. Prognoziniai modeliai archeologijoje**

Prognozinių modeliavimas – tai būdas prognozuoti priklausomojo kintamojo vertę (arba buvimo tikimybę) netirtoje vietoje, naudojant vieną arba daugiau nepriklausomų kintamųjų. Archeologijoje prognoziniai modeliai dažniausiai yra susiję su bandymais nuspėti archeologinių objektų buvimo tikimybę netirtose kraštovaizdžio vietose, remiantis regione žinomų, jau atrastų archeologinių objektų erdvinio pasiskirstymo kiekybiniu įvertinimu [CL06, 179]. Pagrindinės dvi prognozinių modelių naudojimo archeologijoje paskirtys yra: prognozuoti archeologinių objektų vietą orientuojantis į modernaus kraštovaizdžio vystymo ir plėtojimo ateityje palengvinimą (paveldosauginė) arba siekiant gauti išvalgų apie praeityje gyvenusių žmonių bendruomenių elgseną kraštovaizdyje ir tikintis ją suprasti (akademinė) [Kam04, 271]. Įprastai prognoziniai modeliai yra kuriami keturiais etapais: duomenų rinkimas, statistinė analizė, modelio taikymas ir modelio validavimas [CL06, 181; BPT+14, 121].

GIS technologijų taikymo plitimas pastaraisiais dešimtmečiais lėmė, erdvinio prognozinių modeliavimo metodų, naudojamų įvairiose disciplinose, tokiose kaip biologija, medicina ir ekonomika, gausą. Metodai tokioje literatūroje varijuoja nuo paprastų būlio algebros operacijų iki neraiškiųjų Dempster-Shafer modelių versijų, dominuojančios-kategorijos grupavimo (angl. *dominant-category clustering models*), neuronų tinklais pagrįstų mašininio mokymosi algoritimų, logistinės regresijos ir daug kitų [GB03; Kva06, 20]. Nepaisant to, archeologiniuose prognoziniuose modeliuose, kol kas daugiausiai yra naudoti tik logistinės regresijos metodai [Leu02, 102; Kva06, 20; CL06, 183]. Tokio modelio kūrimo proceso pavyzdys (Pav. 8):



Pav. 8. Generalizuota įprasto prognozinių modeli archeologijoje kūrimo schema pagal James Connoly ir Mark Lake [CL06, 182].

Surinkus pirminius duomenis ir iš jų išvedus antrinius (nepriklausomus kintamuosius), pirmiausiai išskiriami kintamieji kurie gali leisti atskirti tarp vietos su archeologiniu objektu ir vietos kurioje jo nėra. Tai paprastai yra daroma analizuojant kiekvieną iš pasirinktų kraštovaizdžio kintamųjų atskirai, priklausomai nuo kintamojo tipo, pagal matavimo skalę – kategorinis (pavyzdžiui dirvožemio tipas) arba intervalinis (atstumas, kalvotumas ar nuolydis). Priklausomai nuo kintamojo tipo parenkamas labiausiai tinkamas statistinis testas (pavyzdžiui chi-kvadratų, Kolmogorovo-Smirnovo testas ar Student’s t-test) [CL182]. Galutinė tokio prognozinių modeli formulė atrodo taip:

$$V = a + x_1b_1 + x_2b_2 + \dots + x_nb_n \quad (8)$$

Kur  $x$  yra svoriai kiekvienam kintamui  $n$ ,  $b$  yra regresijos koeficientai,  $V$  yra archeologinio objekto buvimo tikimybė išreikšta logaritmu. Apskaičiavus  $V$  kiekvienam žemėlapių langeliui, jis yra verčiamas į archeologinio objekto buvimo tikimybę  $p_i$  :

$$p_i = \frac{V_i}{1 + \exp(V_i)} \quad (9)$$

Priklausomai nuo to kaip buvo surinkti duomenys,  $p_i$  nurodys arba santykinę arba absoliučią tikimybę archeologinio objekto egzistavimui pasirinktoje vietoje [CL06, 184]. Dėl jau anksčiau aptartų priežasčių, siekiant geriau atspindėti realaus pasaulio procesus, tokiuose modeliuose taip pat, vietoje įprasto euklidinio atstumo (pavyzdžiui vertinant atstumus iki vandens telkinių, resursų, prekybos kelių) vertėtų naudoti judėjimo kainą įvertinančias funkcijas (lygtys 3, 4 arba 5).

#### 1.4. Erdvinės analizės metodų parinkimas

Apžvelgus egzistuojančią literatūrą šio darbo tema, nuspręsta vietoje aptartų Buferių kūrimo ir Voronoi diagramų su svoriais metodų, naudoti vietos erdvėje priklausomybės objektui įvertinimą pagal „Xtent“ modelyje siūlomą metodą (lygtis 7). Tokį sprendimą lėmė erdvės klasifikavimo pagal „Xtent“ modelį pranašumas, pasirinktai užduočiai, dėl šių priežasčių: (1) skirtingai nei teseliacijos metodai (Voronoi diagramos), teritorijos priskyrimas pagal „Xtent“ modelį leidžia palikti nepriskirtą/nealokuotą erdvės vietą (kai  $I = 0$ , arba pasirenkant „apriori“ ribojimą), (2) skirtingai nei buferių kūrimas, įvertinti priklausomybei (įtaka  $I$ ) naudoja visų objektų imtį.

Įvairių straipsnių apie prognozinčius modelius, atvejo analizių (angl. – *case studies*) išvadose dažnai pažymima, jog įprastai šiam tikslui naudojama logistinė regresija, tačiau trūksta kitų metodų bandymo. Dėl šios priežasties nuspręsta prognozinio modelio kūrimui pamėginti panaudoti „atsitiktinio miško“ (angl. – *Random Forest*) algoritmą, kuris sėkmingai taikomas klasifikavimo uždaviniams su erdviniais duomenimis bioinformatikoje, ekologijoje ir kitose srityse [Qi12, MHG+17, WKC+17, WWD+17].



## 2. Erdvinės analizės modeliai archeologinės medžiagos klasifikavimui

### 2.1. Modelis archeologinių kultūrų arealų nustatymui

Literatūros analizėje aptartas „Xtent“ modelis, apžvelgtuose tyrimuose buvo taikytas rastriniam duomenų modeliui (įvertinant kiekvieno žemėlapių langelio priklausomybę) pavienių archeologinių objektų apgyvendinimo teritorijoms ar įtakos zonoms įvertinti. Šiame darbe siūlomas modelis, archeologinių kultūrų arealų nustatymui, naudos „Xtent“ vektoriniame duomenų modelyje tam, kad nustatyti spindulių trasavimo algoritmo parinktų taškų priklausomybę archeologinei kultūrai. Skaičiuojant įtakos  $I$  vertę kaip archeologinio objekto svoris naudojamas  $^{14}\text{C}$  mėginių kiekis, kiekvienam objektui (remiantis mokslinėje literatūroje sutinkama prielaida, kad didesnis išlikusių radinių kiekis vietoje reiškia, jog joje jų buvo daugiau ir vieta buvusi apgyventa intensyviau [SL17]).

#### 2.1.1. Pradiniai įvesties duomenys

Skaitmeniniai tiriamos vietovės vandens telkinių (vektoriniai sluoksniai GIS) ir aukščio modeliai (rastrinis sluoksnis GIS), bei archeologiniai objektai (vektorinis sluoksnis GIS).

#### 2.1.2. Spindulių trasavimas (Raycasting)

Tegu  $O\{o_1, \dots, o_i\}$  yra visi tiriamame regione egzistuojantys archeologiniai objektai iš pasirinkto chronologinio periodo, o  $C\{c_1, \dots, c_k\}$  yra pasirinktai kultūrai priskiriami objektai. Šios kultūros arealą galima apskaičiuoti taip (Algoritmas 1):

1. Iš taško žyminčio archeologinį objektą  $c$  yra sukuriamas spindulys  $r$ , kuris tęsiasi iki tiriamo regiono ribos.
2. Palei sukurtą spindulį, lygiomis atkarpomis (spindulio žingsnis  $s$ ) iteruojant yra tikrinama priklausomybė kultūrai, kuri nustatoma pagal „Xtent“ modelio formulę (lygtis 7), tol kol surandama ir užfiksuojama kultūros riba (kontrolinis taškas).
3. Algoritmo žingsniai (1 ir 2) yra kartojami vienodu intervalu (kampas tarp dviejų spindulių) generuojant  $j$  spindulių  $r \in R\{r_1, \dots, r_j\}$  aplink archeologinį objektą visomis kryptimis per  $360^\circ$ .
4. Surasti kontroliniai taškai sujungiami tiesėmis arba kreivėmis (interpoliuojant dalimis) ir taip gaunama minėtam archeologiniam objektui  $c$  priskirta teritorijos riba.

5. Algoritmo žingsniai (1, 2, 3, 4) kartojami  $\forall c \in C$ .
6. Gauti arealai/poligonai apjungiami į vientisą šiai kultūrai priskiriamą teritoriją (taškai tarp atskirų poligonų jungiami, kai atstumas tarp jiems priklausančių taškų yra lygus arba mažesnis nei spindulio žingsnis).

---

**Algoritmas 1** Spindulių trasavimas archeologinių kultūrų nustatymui

---

```

1: foreach  $c \in C$  do
2: teritorija[j] //teritorijos ribos kontrolinių taškų masyvas (dydis lygus spindulių r kiekiui j)
3:   foreach  $r \in R$  do
4:     r.kt.koordinates = c.koordinates
5:     r.kt.kultura = c.kultura
6:     //čia r.kt yra r spindulio kontrolinis taškas
7:     while r.kt.kultura == c.kultura do
8:       r.kt.koordinates = zingsnis(r.kt.koordinates, s, r)
9:        $r.kt.I = xtent(c.koord, kt.koord)$ 
10:      foreach  $o \in O$  do
11:        if  $xtent(o.koord, r.kt.koord) > r.kt.I$ 
12:           $r.kt.kultura = o.kultura$ 
13:        else
14:           $tmp = r.kt$ 
15:        end foreach
16:      end while
17:      teritorija[r.indeksas] = tmp
18:    end foreach
19: end foreach

```

---

## 2.2. Prognozinis modelis vietovės archeologiniam jautrumui nustatyti

### 2.2.1. Pradiniai įvesties duomenys ir nepriklausomų kintamųjų parinkimas

Prognoziniam modeliui kurti naudojami tokie duomenys: skaitmeniniai tiriamos vietovės vandens telkinių (vektorinis sluoksnis GIS) ir aukščio modeliai (rastrinis sluoksnis GIS), bei archeologiniai objektai (vektorinis sluoksnis GIS). Pirmiausiai, ruošiantis prognozinio modelio kūrimui archeologinių objektų duomenys dalinami į dvi dalis, modelio kūrimui bus naudojama atsitiktinai atrinkti 70% nuo visų žinomų archeologinių objektų tiriamoje vietovėje, likę 30% bus naudojami modelio įvertinimui ir validavimui. Archeologiniams objektams iš rastrinių sluoksnių priskiriami nepriklausomi kintamieji (lentelė 4).

Pavadinimas	Matavimo vienetas	Kintamojo tipas
Atstumas iki artimiausio ežero (Judėjimo vertė)	$W$	Santykinis

Atstumas iki artimiausios upės (Judėjimo vertė)	$W$	Santykinis
Atstumas iki artimiausio jūros kranto (Judėjimo vertė)	$W$	Santykinis
Absoliutus aukštis	$m$	Santykinis
Nuolydis	%	Santykinis

Lentelė 4. Nepriklausomi kintamieji

### 2.2.2. Atsitiktinis miškas

Atsitiktinis miškas (angl. - *random forest*) yra mašininio mokymo algoritmas, kuris apsimokymo metu kuria sprendimo medžių (angl. – *decision trees*) grupes. Jeigu naudojamas klasifikavimo problemoms, sprendimas priimamas pagal daugumos medžių pasirinktą sprendimą, o regresijos problemoms imamas visų medžių sprendimų vidurkis. Pagrindinė atsitiktinio miško formavimo idėja yra tokia, kad klasifikatorius formuojamas apjungiant sprendimus iš daugelio binarinių sprendimų medžių, sukurtų naudojant skirtingus duomenų poaibius iš originalios duomenų aibės, ir atsitiktinai parinktus požymių poaibius iš požymių aibės. Tai yra ansamblinis mokymosi algoritmas (angl. – *ensemble learning*), nes esminė jo prielaida yra ta, jog kurti mažą sprendimų medį su nedaug ypatybių yra skaičiavimo prasme nereiklus procesas. Taigi jeigu galima kurti daug mažų, silpnų sprendimų medžių paraleliai, juos galima apjungti į vieną stiprų klasifikatorių, kuris sprendimą priima pagal daugumos medžių atsakymą (Algoritmas 2).

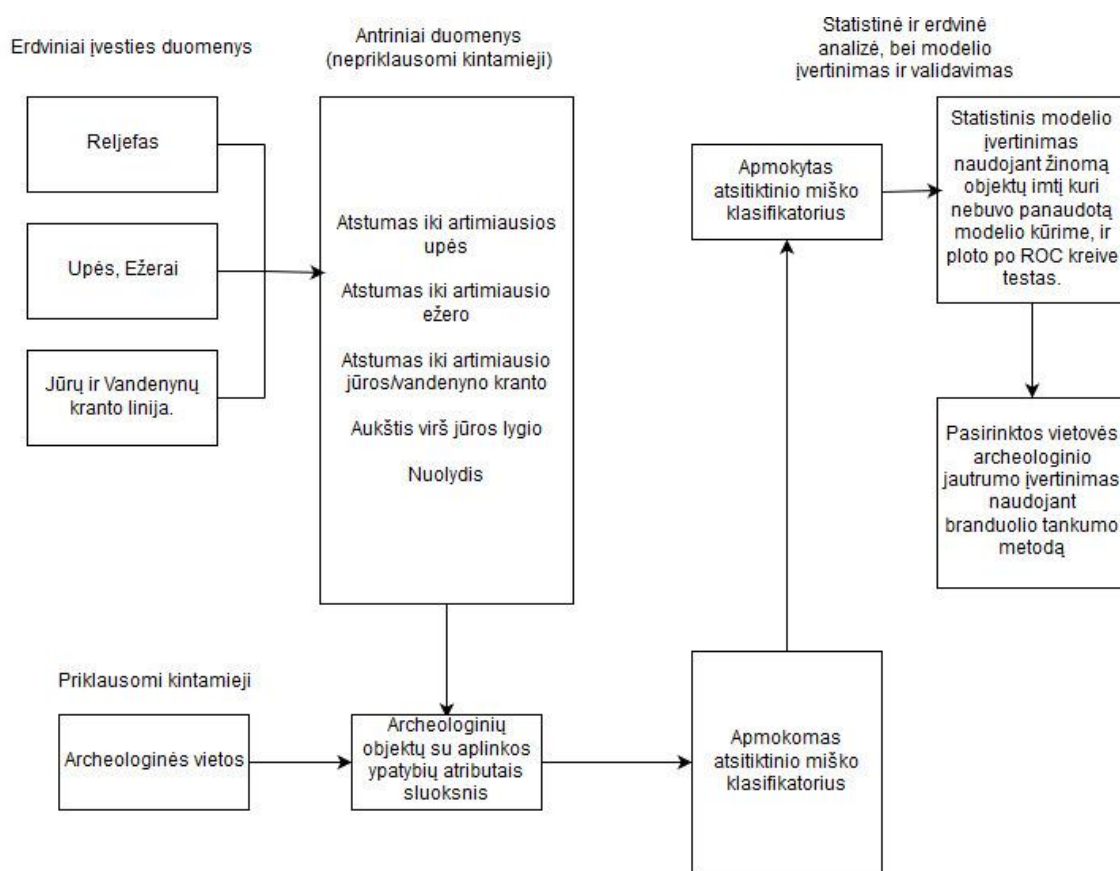
---

#### Algoritmas 2 Random Forest

---

- 1: Įvesties duomenys: apmokymui skirtų duomenų aibė  $S$ , ypatybės  $F$  (nepriklausomi kintamieji) ir sprendimo medžių kiekis „miške“  $B$ .
  - 2: **function** RandomForest ( $S, F, B$ )
  - 3:      $H = \emptyset$
  - 4:     **for**  $i \in 1, \dots, B$  **do**
  - 5:          $S^{(i)}$  = „bootstrap“ duomenų poaibis iš  $S$
  - 6:          $h_i = \text{RandomizedTreeLearn}(S^{(i)}, F)$
  - 7:          $H = H \cup \{h_i\}$
  - 8:     **end for**
  - 9:     **return**  $H$
  - 10: **end function**
  - 11: **function** RandomizedTreeLearn( $S, F$ )
  - 12:     ties kiekviena viršūne (angl. - *node*):
  - 13:      $f$  = labai mažas  $F$  poaibis
  - 14:     dalinama ties geriausia ypatybe iš  $f$
  - 15:     **return** apmokytas medis
  - 16: **end function**
-

Šio darbo autoriaus žiniomis, kol kas egzistuoja labai mažai šio algoritmo taikymų archeologinių objektų prognozavimo uždaviniams. Tačiau jis sėkmingai taikomas panašios problematikos uždaviniuose, pavyzdžiui įvairios biomasės vietos prognozavimui pagal vandens ar žemės ypatybes tose vietose [WWD+17]. Kadangi archeologinių objektų prognozavimo pagal kraštovaizdžio ypatybes uždavinys iš esmės yra klasifikavimo problema (erdvė skirstoma į dvi grupes, archeologinės vietos ir ne-archeologinės vietos), šį algoritmą jam spręsti galima laikyti tinkamu. Vienu iš tokio algoritmo pranašumų galima laikyti tai, jog skirtingai nei prieš tai aptartame logistinės regresijos modelyje, čia nereikės ieškoti tinkamos  $p$  vertės, ties kuria galima būtų laikyti spėjimą teisingu, kiekvienam žemėlapių langeliui bus priskirta viena iš dviejų įmanomų verčių, tad vertinti tokio modelio tikslumą būtų paprasčiau.



Pav. 13. Atsitiktinio miško klasifikatoriaus taikymas, archeologinių vietų prognozavimui.

### 3. Prognozinių modelių taikymas.

#### 3.1. Duomenys

##### 3.1.1. PROLIGIS

Tai Vilniaus universiteto Archeologijos katedros 2010 m. sukurtas archeologinių vietų ir radimviečių GIS sluoksnis - PROLIGIS. Jo sukūrimas buvo vienas iš projekto „Kultūrinio kraštovaizdžio raida archeologijos ir gamtos mokslų duomenimis (Archeokraštovaizdis)" tikslų

[TT12]. PROLIGIS sluoksnyje, visi dabartinės Lietuvos teritorijoje žinomi archeologiniai objektai tiksliai pažymėti erdvės projekcijoje.

Šio tyrimo metu bus naudojama 2013 metų PROLIGIS sluoksnio versija, kurią sudaro 4163 archeologiniai objektai. Chronologiškai duomenys išskirstyti į 24 periodus ir apima laikotarpius nuo Paleolito (prieš 12200/11000 metų) iki 21 amžiaus. Erdvine prasme visi duomenys yra iš dabartinės Lietuvos respublikos teritorijos: šiaurinė riba - 56.432908, pietinė - 53.890170, rytinė - 26.757776, vakarinė - 20.893117. PROLIGIS sluoksnis taip pat turi atributų lentelę, kurioje kiekvienam objektui priskirti kultūros vertybių registre ir kituose šaltiniuose naudojami pavadinimai, objekto numeriai, unikalūs kodas, nurodomas objektų paminėjimas svarbiausiuose archeologinių radimviečių sąvaduose, ir informacija apie jo paminėjimą leidinyje „Archeologiniai tyrinėjimai Lietuvoje“ (ATL), tyrėjai ir tyrimų vykdymo datos, objektų funkciniai tipai ir chronologija.

### 3.1.2. EUROEVOL

Tai laisvai prieinami, pagal CC0 (angl. – *creative commons* 0) licenziją, „Open archaeology data“ platformoje publikuojami, Neolito periodo Europoje archeologinių duomenų rinkiniai EUROEVOL 1 (archeologiniai objektai, jų naudojimo etapai ir radiokarbono datos), 2 (zooarcheologiniai duomenys) ir 3 (archeobotaniniai duomenys) [MCC16+].

Pirmąjį EUROEVOL duomenų rinkinį sudaro 4757 archeologiniai objektai ir 14053 radiokarbono mėginių datos iš radinių šiuose objektuose, chronologiškai duomenys apima periodą nuo vėlyvojo Mezolito iki ankstyvojo Bronzos amžiaus (prieš 8000-4000 metų). Erdviškai duomenys apima Centrinę ir Šiaurės-Vakarų Europą: šiaurinė riba +64.622N, pietinė riba +42.618N, rytinė riba +23.963E, vakarinė riba -10.457E. Duomenų rinkinys susideda iš trijų pagrindinių komponentų: archeologinių objektų lygio duomenys (*lentelė 1*), naudojimo/apgyvendinimo etapų lygio duomenys (*lentelė 2*) ir radiokarbono tyrimų duomenys (*lentelė 3*).

<b>Archeologinių objektų lygio duomenys (CommonSites)</b>			
Duomenų lauko pavadinimas	Duomenų tipas	Duomenų apibūdinimas	Duomenų ryšiai
Country	ENUM	Dabartinės šalies teritorija kurioje yra archeologinis objektas	
Longitude	FLOAT	Ilguma laipsniais	
Latitude	FLOAT	Platuma laipsniais	

SiteID	VARCHAR (100)	Unikalus archeologinio objekto identifikatorius	CommonPhases.SiteID, C14Samples.SiteID
Sitename	VARCHAR (100)	Archeologinio objekto pavadinimas	

Lentelė 1. CommonSites. Archeologinių objektų lygio duomenys.

<b>Archeologinių objektų naudojimo/apgyvendinimo etapų lygio duomenys (CommonPhases)</b>			
Duomenų lauko pavadinimas	Duomenų tipas	Duomenų apibūdinimas	Duomenų ryšiai
Culture	VARCHAR (100)	Kultūros priskyrimas	
Subculture	VARCHAR (100)	Subkultūros priskyrimas	
Period	ENUM	Platus chronologinis periodas (Pvz. EBA – Ankstyvasis Bronzos amžius, EM=Ankstyvasis Mezolitas, ir panašiai)	
PhaseCode	VARCHAR (100)	Unikalus naudojimo/apgyvendinimo etapo kodas	C14Samples.PhaseCode, FaunalPhases.PhaseCode, ABotPhases.PhaseCode
SiteID	VARCHAR (100)	Unikalus archeologinio objekto identifikatorius	CommonSites.SiteID
SiteType	ENUM	Archeologinio objekto tipas, konkrečiu naudojimo/apgyvendinimo metu.	

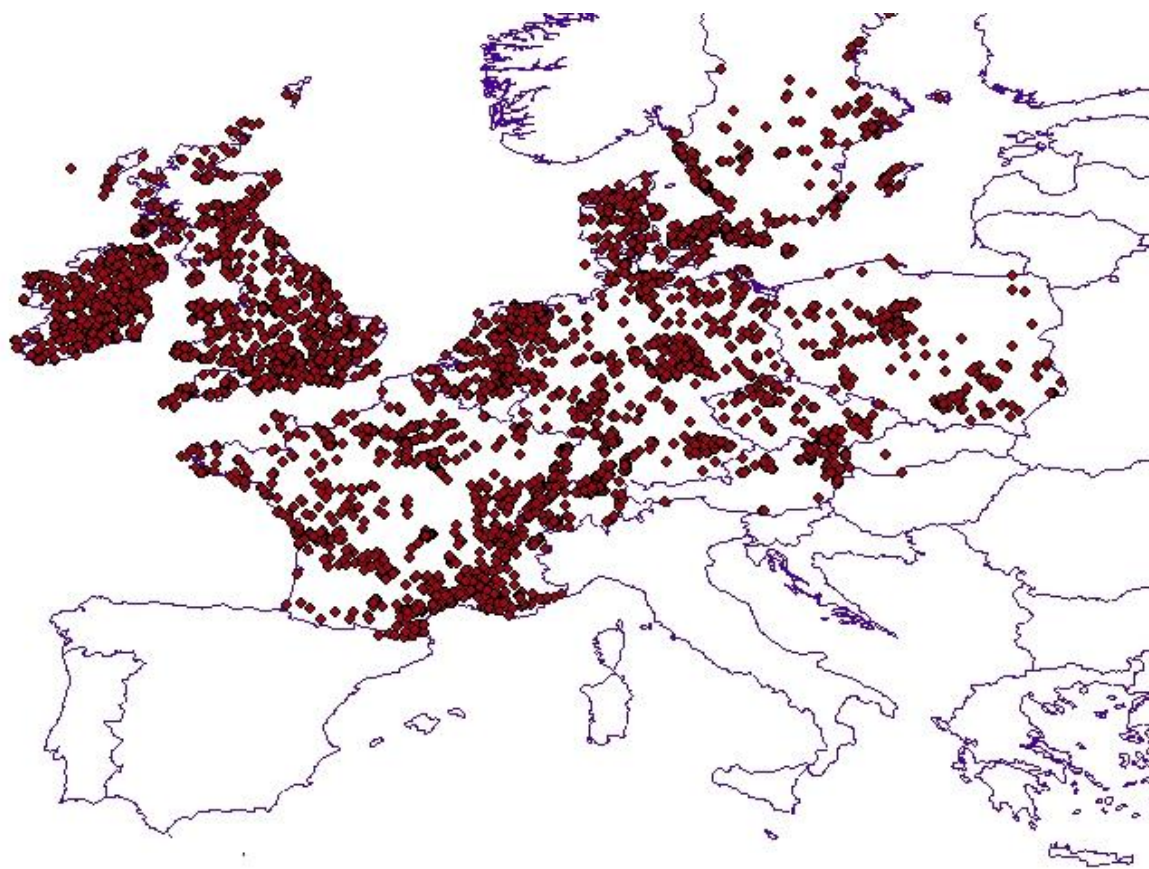
Lentelė 2. CommonPhases. Naudojimo/apgyvendinimo etapų lygio duomenys.

<b>Radiokarbono tyrimų duomenys (C14Samples)</b>			
Duomenų lauko pavadinimas	Duomenų tipas	Duomenų apibūdinimas	Duomenų ryšiai
C14ID	INT (11)	Unikalus identifikatorius kiekvienam <sup>14</sup> C mėginiui	
Period	ENUM	Platus chronologinis periodas (Pvz. EBA – Ankstyvasis Bronzos amžius, EM=Ankstyvasis Mezolitas, ir panašiai)	
C14Age	INT (11)	Radiokarbono amžius	
C14SD	INT (11)	Standartinis nuokrypis	
Labcode	VARCHAR (100)	Unikalus laboratorijos identifikatorius	
Material	ENUM	Datuoto radinio medžiagos tipas (pvz. kaulas)	

MaterialSpecies	VARCHAR (100)	Rūšis (pvz. Homo Sapiens)	
PhaseCode	VARCHAR (50)	Unikalus naudojimo/apgyvendinimo etapo kodas	CommonPhases.PhaseCode
SiteID	VARCHAR (100)	Unikalus archeologinio objekto identifikatorius	CommonSites.SiteID

Lentelė 3. C14Samples. Radiokarbono tyrimų duomenys.

EUROEVOL 1 duomenų rinkinys pirmą kartą publikuotas 2015-07-28. Duomenys prieinami .csv formatu kaip atskiros lentelės arba kaip SQL duomenų bazės atsarginė kopija (angl. – *SQL dump file*).

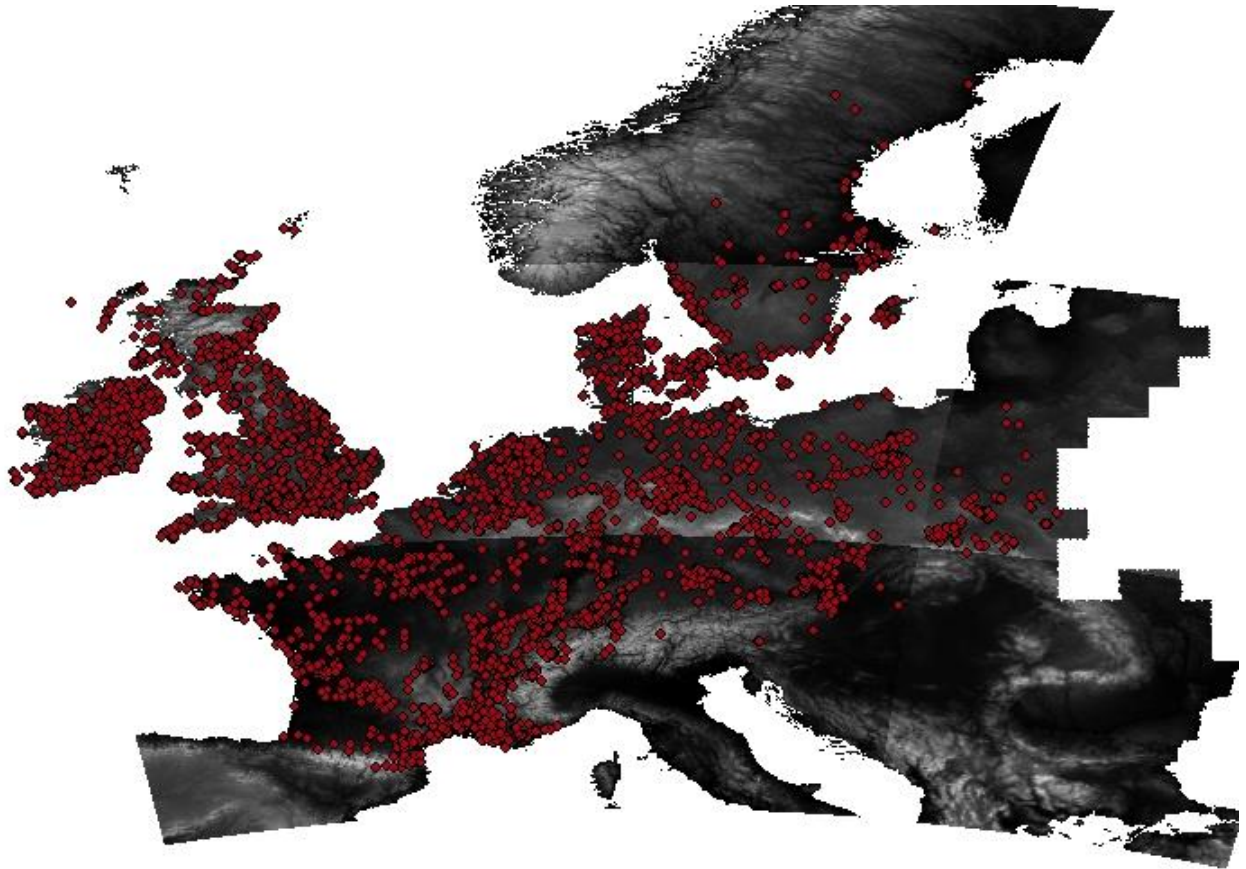


Žemėlapis 1. Neolitizacijos periodo archeologinių objektų pasiskirstymas Europoje EUROEVOL1 duomenimis.

### 3.1.3. Topografiniai duomenys

Rastrinis reljefo sluoksnis sudarytas pagal „European Digital Elevation Model (EU-DEM)“ 1.1 versijos duomenis. Vieno langelio rezoliucija – 25 m, vertikalus tikslumas +/- 7 m. Erdviškai duomenys apima: šiaurinė riba 71.899220, pietinė riba 21.567515, rytinė riba 93.178583, vakarinė

riba 54.925613. Duomenų šaltinis: „European Environment Agency (EEA) under the framework of the Copernicus programme“, [copernicus@eea.europa.eu](mailto:copernicus@eea.europa.eu).



*Žemėlapis 2. Naudojama rastrinio reljefo sluoksnio dalis „European Environment Agency“ duomenimis, kartu su EUROEVOL 1 archeologiniais objektais.*

Su vandens telkiniais susijusių vektorinių duomenų sluoksnis (upių tinklas, ežerų ir jūros kranto linijos 10m tikslumu) sukurtas pagal laisvai prieinamus iš „Natural Earth“ svetainės ([naturalearthdata.com](http://naturalearthdata.com)) parsisiųstus duomenis ir „European catchments and Rivers network system (Ecrins)“ iš „European Environment Agency“ duomenis.





*Žemėlapis 3. Vektorinis sluoksnis su hidrologiniais (upių, vandens telkinių ir kranto linijos) duomenimis.*

### **3.1.4. Duomenų paruošimas, radiokarboninių datų kalibravimas**

EUROEVOL 1 duomenų rinkinyje pateikiamas nekalibruotas radiokarbono amžius, o jis dėl šio datavimo metodo specifikos (trumpai aptartos šio darbo literatūros apžvalgos dalyje) nėra tolygus kalendorinėms datoms. Kadangi radioaktyviosios anglies kiekis atmosferoje istoriškai nebuvo vienodas, radiokarbono datas (kokios pateikiamos EUROEVOL1 duomenų rinkinyje) reikia atitinkamai kalibruoti. Datų kalibravimas buvo atliktas naudojant statistinės analizės sistemai „R“ skirtą paketą „rcarbon“, pagal naujausiais prieinamais tyrimų duomenimis sudarytą „INTCAL13“ radiokarbono amžiaus kreivę [RBB+13] skirtą šiaurinio pusrutulio žemyninei daliai.

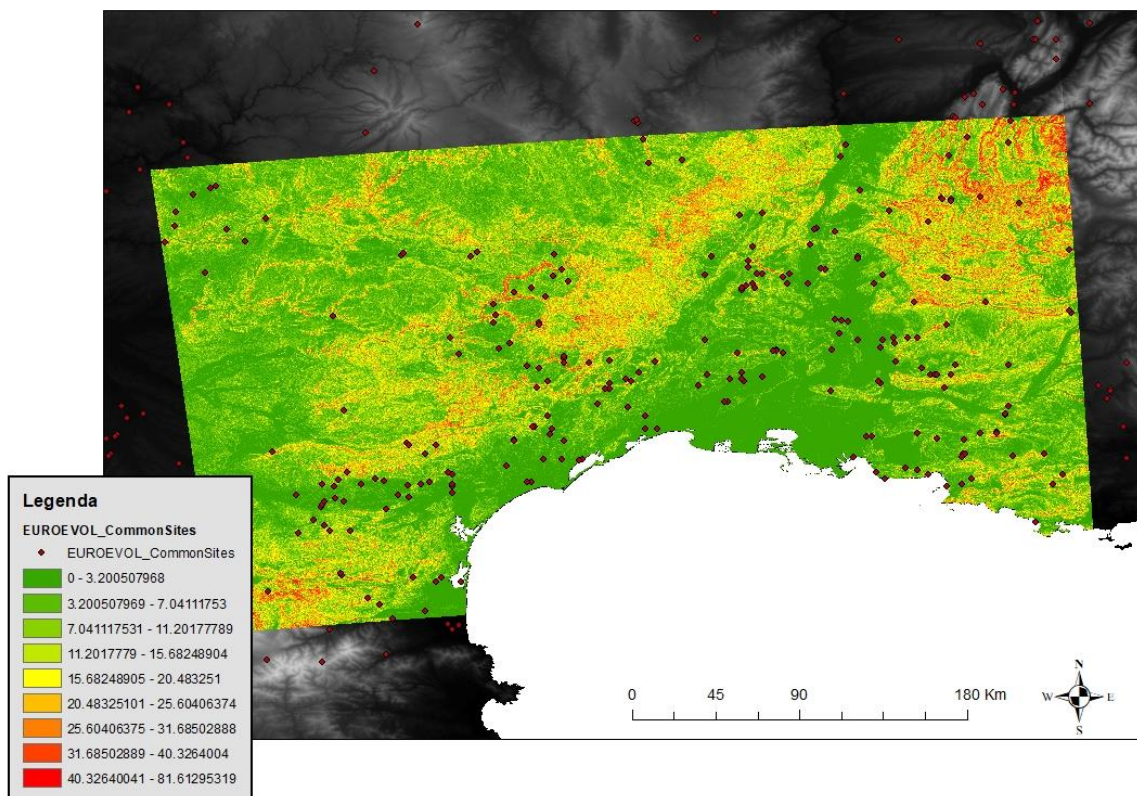
#### **Nepriklausomi kintamieji prognoziniam modeliams**

Prognozinis modelis pirmiausiai bus taikomas pasirinktam regionui įvertinti. Iš literatūros dalyje aptartų aplinkos faktorių, įprastai naudojamų archeologiniuose modeliuose, su turimais duomenimis galima išvesti šiuos:

1. Pirmiausiai pasirinktai teritorijai naudojant rastrinį reljefo sluoksnį *eu\_dem\_v11\_E30N20.TIF*, sukuriamas nuolydžio sluoksnis *Slope\_TIF1*:

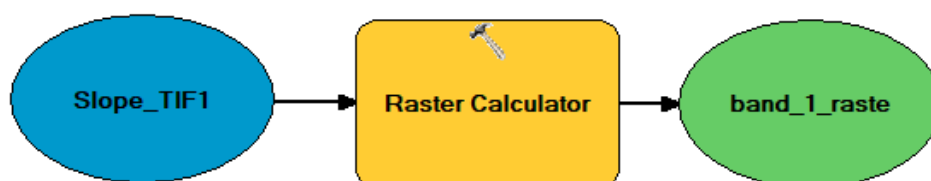


*Pav.(9). Nuolydžio sluoksnio kūrimas.*



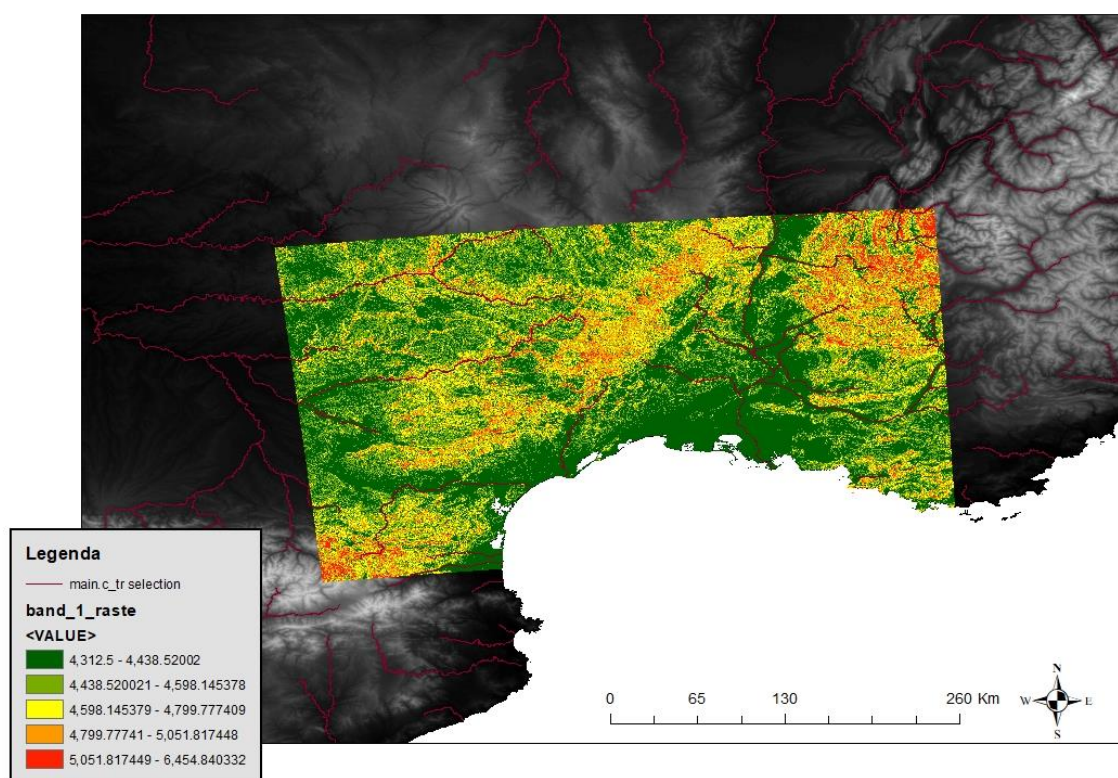
*Žemėlapis 4. Nuolydžio rastrinis sluoksnis, tiriamam regionui.*

2. Panaudojant apskaičiuotus nuolydžio duomenis tiriamai vietai, toliau kuriami judėjimo vertės kainą iki artimiausių upių, ežerų ir jūros krantų įvertinantys sluoksniai. Tai daroma kuriant naują rastrinį sluoksnį, kurio kiekvieno langelio vertė yra apskaičiuojama panaudojant literatūros dalyje aptartą ėjimo šlaitais absoliučios kainos modeliavimo lygtį (lygtis 6). Šių sluoksnių kūrimui yra panaudojami duomenys iš sluoksnių: *Slope\_TIF1* (nuolydis), *main.C.Lakes* (ežerai), *main.C.Rivers* (upės), *ne\_10m\_coastline* (jūros kranto linija).



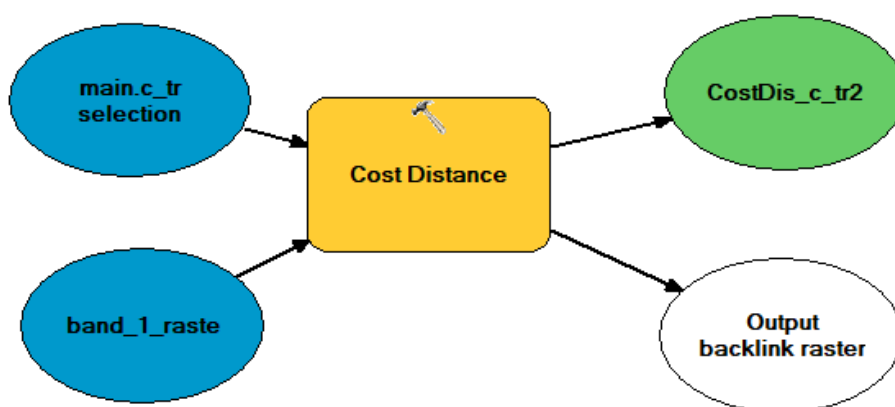
*Pav(10). Nuolydžio sluoksniui Slope\_TIF1 vykdomos žemėlapių algebros operacijos:  $1.5 * 70 + 2 * (70 + 5) * \text{Square}(5/70) + 1 * (70 + 5) * (1.5 * \text{Square}(6) + 0.35 * 6 * \text{Abs}("%\text{Slope\_TIF1}\%") + 6))$ . Jas atlikus gaunamas judėjimo vertės kainą nurodantis rastrinis sluoksnis band\_1\_raste.*

Kuriant judėjimo vertės kainos iki artimiausios upės sluoksnį, iš upių sluoksniu *main.C.Rivers* atrenkamos bent 5 intakus turinčios upės pagal Strahlerio laipsnį žymintį atributą: *SELECT \* FROM main.%c\_tr WHERE: "STRAHLER" > 4.*



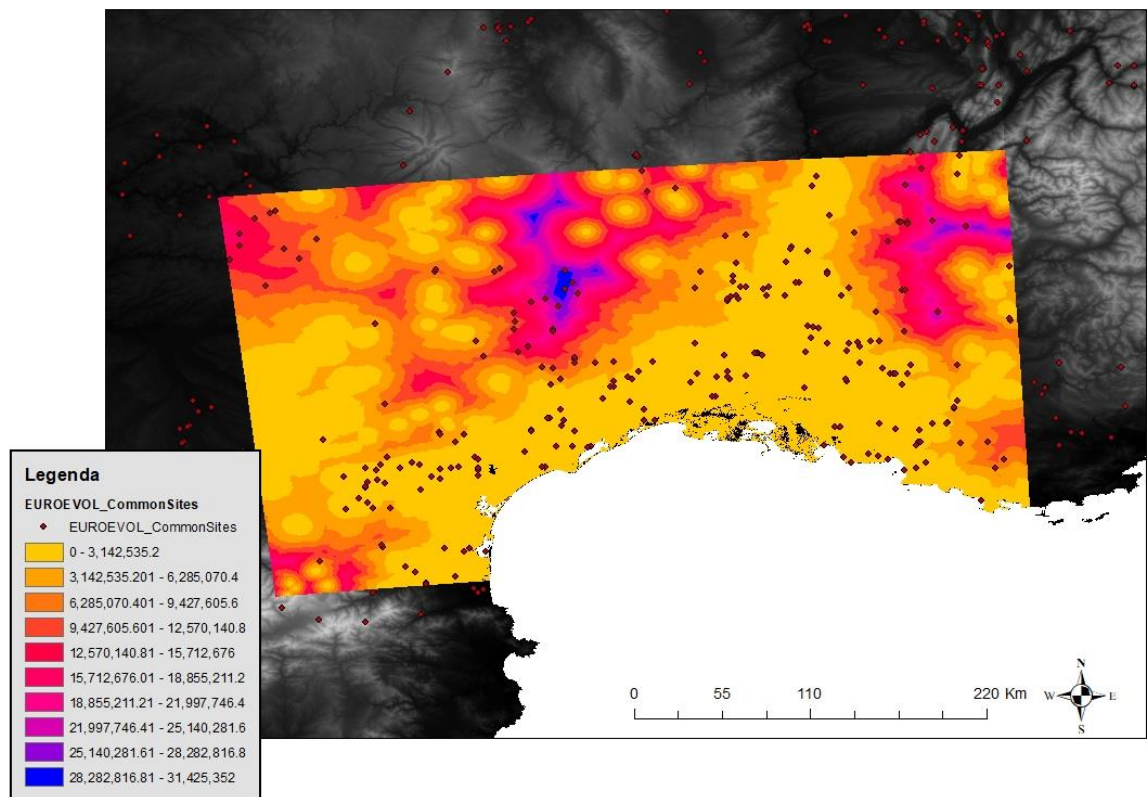
Žemėlapis 5. Judėjimo vertės kainų žymintis sluoksnis ir upės kurių strahlerio laipsnis didesnis už 4.

Naudojant judėjimo vertės kainas ir upių kurių Strahlerio laipsnis didesnis nei 4 sluoksnius yra kuriamas naujas sluoksnis *Cost\_Dis\_c\_tr2*, kuriame kiekvieno rastro langelio vertė yra atstumas iki artimiausios upės.



Pav(10). Judėjimo kainos iki artimiausio vandens telkinio modeliavimas.

Tokiu pačiu principu yra kuriami ir judėjimo vertės kainos iki jūros kranto ir iki ežerų sluoksniai.



Žemėlapis 5. Judėjimo vertės kaina iki artimiausio ežero.

### 3.2. Logistinė regresija.

Pirmiausiai pasirinktam tirti regionui pritaikomas literatūroje įprastai sutinkamas metodas - logistinė regresija ir patikrinamas jo tikslumas su testavimui paliktais duomenimis.

#### Modelio lygtis

Modeliuojamas dvireikšmis kintamasis  $Y$  (archeologinio objekto buvimas/nebuvimas pasirinktoje vietoje, įgyjamos reikšmės 1 arba 0) priklauso nuo regresorių (nepriklausomi kintamieji)  $\{x_1, \dots, x_n\}$ . Modelis sudaromas priklausomo kintamojo tikimybių santykio logaritmui (logit funkcijai):

$$\ln \frac{P(Y = 1)}{P(Y = 0)} = C + x_1 b_1 + x_2 b_2 + \dots + x_n b_n$$

čia  $C$  yra modelio konstanta (angl. – *intercept*), o  $b_1, \dots, b_n$  yra regresijos koeficientai, nustatantys svorius priskiriamus kiekvienam nepriklausomam kintamajam.

Modelis testuojamas su duomenimis kurie nebuvo naudoti modelio kūrime, tikrinant modelio spėjimą vietose kuriose buvo atlikti archeologiniai tyrimai. Naudojami duomenys iš pasirinkto tirti regiono (pietų Prancūzija), ši duomenų poaibį sudaro 288 taškai, 227 iš jų archeologiniai objektai, o 61 ne, tad susiduriama su nesubalansuotų duomenų problema (duomenų iš vienos klasės yra ženkliai mažiau), o duomenų imtis salyginai maža.

Naudojant „R-ArcGIS bridge“ ArcGIS aplinka susiejama su statistinės analizės sistema „R“. Duomenys įsikeliama į „R“ aplinką naudojant „R“ paketo *arcgisbinding* funkciją *arc.open* (*path = 'C:/../CommonSites.shp'*). Pasirinkus apmokymui skirtą duomenų poaibį, apmokomas modelis: *model <- glm(Presence ~.,family=binomial(link='logit'),data=train)*.

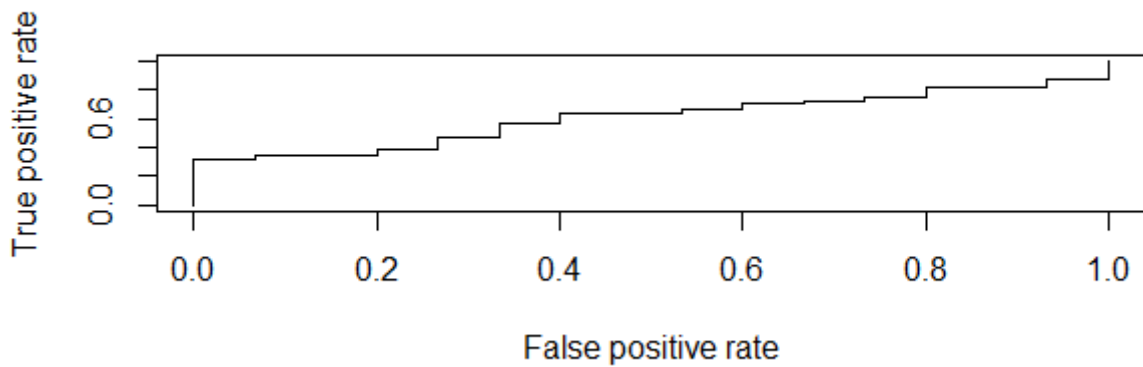
Modelį pritaikius testiniams (modelio kūrimui nenaudotiems ir atsitiktinai atrinktiems) duomenims pasirinktam tirti regionui, gautas modelio tikslumas: 79,31% (laikant jog jei gauta tikimybė  $p > 0,7$ , spėjimas laikomas teisingu) (Pav.11).

```
> results <- predict(model,test,type='response')
> results <- ifelse(results > 0.7,1,0)
> misclError <- mean(results != test$Presence)
> print(paste('Accuracy',1-misclError))
[1] "Accuracy 0.793103448275862"
> |
```

Pav. (11). Gaunami logistinės regresijos rezultatai su testiniais duomenimis “R” aplinkoje.

Modelis tikrinamas ROC (angl. - *receiving operating characteristic*) kreive (matas klasifikatorių efektyvumui įvertinti). Naudojant proporciją teigiamų (archeologinis objektas yra) duomenų taškų kurie įvertinami teigiamai, ir proporciją neigiamų (archeologinio objekto nėra), kurie klaidingai įvertinami teigiamai, atskleidžiamas kompromisas tarp dažnio kuriuo galima teisingai prognozuoti, ir dažnio kuriuo prognozuojama neteisingai. Ar modelis sugeba gerai atskirti tarp abiejų kategorijų indikuoja plotas po ROC kreive, šis matas svyruoja nuo 0.50 iki 1.00, o kai vertės didesnės nei 0.80 įprastai laikoma, jog modelis kategorijas atskiria gerai.

Naudojamas „R“ paketas *pROC*, įvertinus modelį (Pav. 12) gaunama ploto po ROC kreive vertė: 0.6055556.



Pav.(12) ROC kreivė logistinės regresijos prognoziniam modeliui.

### 3.3. Atsitiktinis miškas

Prognozinis modelis kuriamas, taikant pasirinktą „scikit-learn“ mašininio mokymo algoritmų bibliotekoje, Python programavimo kalbai, esančią atsitiktinio miško algoritmo implementaciją, dėl daugelio GIS suderinamumo su Python.

Pirmiausiai ArcGIS naudojama Python aplinka yra plečiama šio modelio kūrimui reikalingu paketu *Scikit-Learn*, naudojant Conda paketų ir aplinkos valdymo sistemą (tai palengvina dalinimasi kompleksiais su Python sukurtais įrankiais, kurie turėtų korektiškai veikti skirtingose kompiuteriuose/aplinkose).

Toliau atrenkami duomenys (tie patys kaip ir taikyti logistinės regresijos modelyje) iš vektorinio archeologinių objektų sluoksnio, patenkantys į pasirinktą tirti regioną. Kiekvienam taškui priskiriami jam pagal vietą erdvėje tenkantys atitinkamų rastrinių sluoksnių (būsimų nepriklausomų kintamųjų, tokių kaip nuolydis, judėjimo vertės kaina iki vandens telkinių ir kitų prieš tai apskaičiuotų sluoksnių vertės) duomenys kaip atributų lentelės stulpeliai (Pav. 14).

Field:	Add	Delete	Calculate	Selection:	Zoom To	Switch	Clear	Delete		
	Latitude	Longitude	SiteID	SiteName	Shape	Presence	Slope_TIF1	CostDistar	CostDis_shj	S
	44.5833	2.06667	S1451	CAPDENAC LE HAUT	Point	1	12	771	322738400	1
	44.68	5.38	S1093	Antonnaire	Point	1	9	1454	217117600	9
	44.477	1.968	S1925	Grotte de Foissac (Jonquie...	Point	1	4	1076	275690200	4

Pav. (14). Vertėmis iš rastrinių sluoksnių papildoma atsitiktinio miško apmokymui ketinamo naudoti vektorinio sluoksnio atributų lentelė.

Naudojant paketo *arcpy* (Python paketas darbui su erdvinių duomenų analize) funkciją *FeatureClassToNumPyArray* duomenys iš GIS aplinkos perkeliama į *NumPy* masyvo duomenų struktūrą (Python paketas pateikiantis n-dimensinių masyvų ir įvairių tiesinės algebros funkcijų darbui su jais implementacijas). Šis masyvas toliau yra verčiamas į *Pandas* paketo masyvą (*dataframe* objektas), ir naudojant *corr* funkciją yra tikrinama kintamųjų tarpusavio koreliacija (Pav. 15).



Pav. (15) Koreliacijų matrica.

Iš koreliacijų matricos (Pav. 15) matome, jog egzistuoja nepriklausomų kintamųjų kurie vidutiniškai (0,3-0,5) arba stipriai (0,5-1,0) koreliuoja tarpusavyje: aukštis ir atstumas iki arčiausio ežero (0,45), aukštis ir atstumas iki jūros kranto (0,6), nuolydis ir aukštis (0,39). Paprastai tokia situacija yra vadinama multikolinearumo problema, nes gali iškraipyti nepriklausomų kintamųjų statistinį reikšmingumą. Atsitiktinis miškas su šia problema nesusiduria, todėl šiuo atveju jį galima laikyti tinkamu taikyti metodu. Algoritmas (iš *sklearn.ensemble*, *RandomForestClassifier* klasė) buvo apmokytas su 500 sprendimo medžių. Jo rezultatus prognozuojant testinius duomenis, kurie nebuvo panaudoti modelio kūrimo, galima vertinti teigiamai, modelio tikslumas 86,04% (lentelė 5).



Tikslumas	86.0465116279 %
Vietos su archeologiniais objektais	67
Vietos kuriose prognozuoti archeologiniai objektai	73

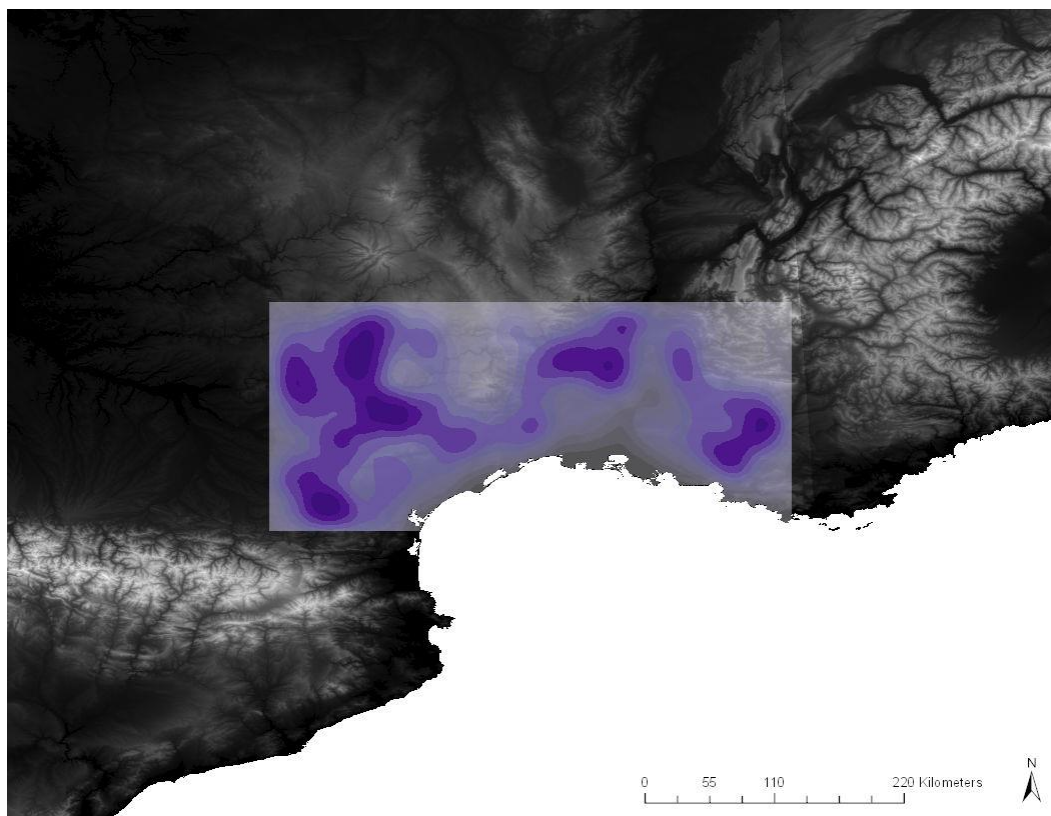
Lentelė 5. Atsitiktinio miško algoritmu parengto prognozinio modelio rezultatai su testiniais duomenimis.

Tikrinamas plotas po ROC kreive (Pav. 16), rezultatas: 0,820895522388. Taigi, ženkliai geresnis, nei logistinės regresijos ir didesnis nei 0,80, tad atsitiktinio miško klasifikatorių šiai užduočiai galima laikyti efektyviu.

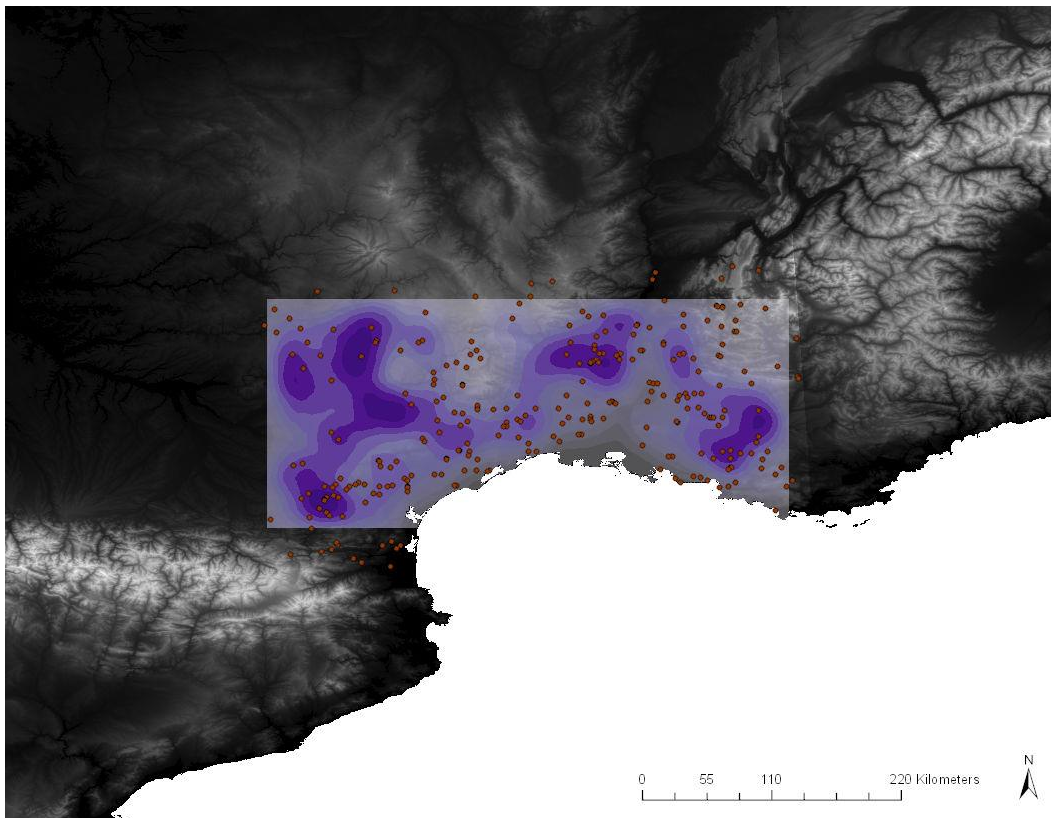
```
from sklearn.metrics import roc_curve, auc
fpr, tpr, _ = roc_curve(test_set[classVar], rfco.predict_proba(test_set[predictVars])[:,1])
roc_auc = auc(fpr, tpr)
print (roc_auc)
0.820895522388
```

Pav. (16). Python aplinkoje atliekamas ploto po ROC kreive testas.

Toliau tiriamoje vietovėje kuriamas naujas vektorinis sluoksnis ir jame generuojami atsitiktiniai taškai (1500). Šiems taškams kaip atributai suteikiami nepriklausomi kintamieji iš turimų rastrinių sluoksnių, naudojant „*Extract multi values to points*“ ArcGIS Spatial Analyst įrankį. Naudojant apmokytą modelį, šie taškai klasifikuojami į archeologines vietas arba ne. Iš teigiamai klasifikuotų taškų kuriamas naujas sluoksnis, ir naudojamas branduolio tankio (angl. *Kernel Density*) metodas, taip sukuriama archeologinių jautrumą žymintis žemėlapis (Žemėlapiai 6 ir 7).



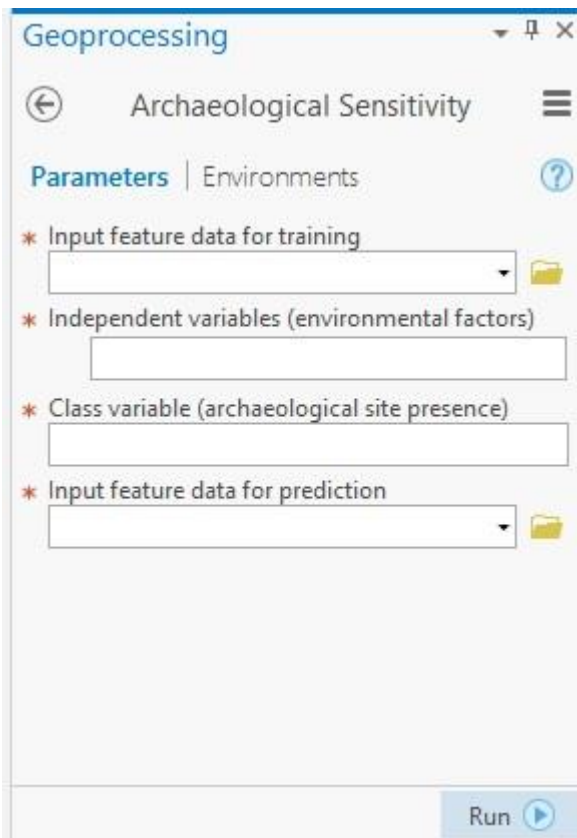
Žemėlapis 6. Tiriamos vietovės prognozuojamas archeologinis jautrumas.



Žemėlapis 7. Tiriamos vietovės prognozuojamas archeologinis jautrumas, ir žinomi archeologiniai objektai.

Šio modelio taikymui automatizuoti sukurtas ArcGIS įrankis pavadintas „Archaeological Sensitivity“ (Pav. 17). Įrankis priima šiuos parametrus:

1. „*Input feature data for training*“ - vektorinis archeologinių objektų sluoksnis naudojamas atsitiktinio miško apmokymui.
2. „*Independent variables (environmental factors)*“ – čia išvardinami nepriklausomi kintamieji, iš vektorinio sluoksnio atributų lentelės, kurie bus naudojami modelio apmokymui (multi-parametras).
3. „*Class variable (archaeological site presence)*“ – priklausomas (klasės) kintamasis (archeologinio objekto buvimas arba ne) vektorinio sluoksnio atributų lentelėje.
4. „*Input feature data for prediction*“ – vektorinis sluoksnis su taškais, kurie bus klasifikuoti (archeologinis objektas arba ne), ir jų pagrindu (taikant branduolio tankio metodą teigiamai klasifikuotiems taškams) bus sukurtas rastrinis išeigos sluoksnis (rezultatas).

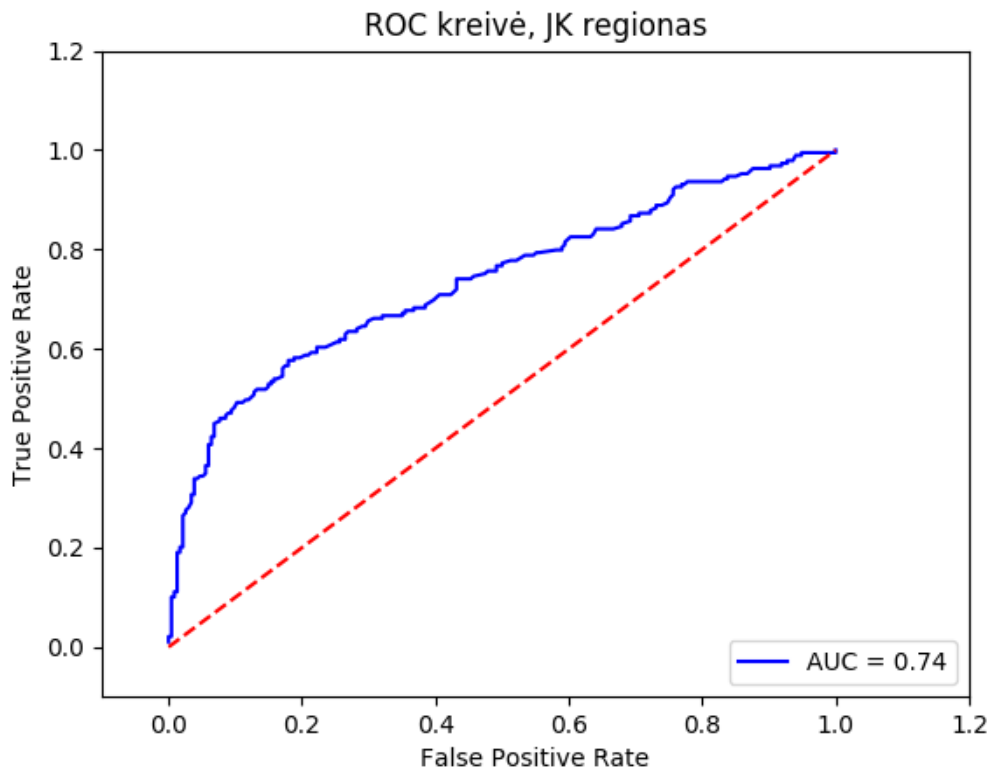


Pav. (17). ArcGIS įrankis prognozinio modelio taikymui.

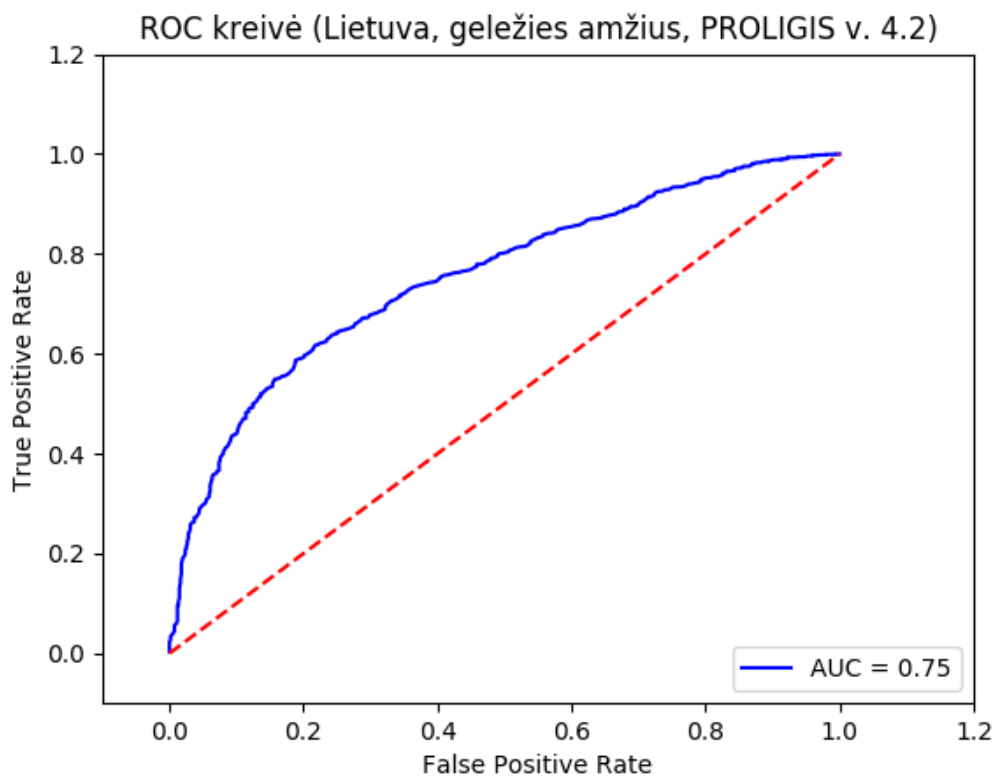
Modelis toliau taikomas dar dviem pasirinktiems regionams įvertinti: pietinei Anglijos daliai (EUROEVOL duomenimis, Neolito periodas) ir dabartinei Lietuvos teritorijai (PROLIGIS duomenimis, senasis, vidurinis ir vėlyvasis Geležies amžius). Nors tikslumas šiems regionams buvo mažesnis (atitinkamai sumažėjo per 15,83% ir 16,81%), nei pirmajam, tačiau svarbiausias matas, kuriuo vertinamas klasifikatoriaus gebėjimas atskirti klases, plotas po ROC kreive [Bra97], mažėjo ne taip ženkliai (atitinkamai sumažėjo per 0,084 ir 0,066) (Lentelė 6, pav. 18, pav. 19). Šiuos pokyčius galėjo nulėmti tirtų regionų kraštovaizdžio specifika ir skirtumai, taip pat pažymėtina, jog Lietuvos teritorijoje tirtas kitas chronologinis periodas.

Regionas	Periodas	Tikslumas	Plotas po ROC kreive
Pietų Prancūzija	Neolitas	86,04%	0,820
Pietų Anglija	Neolitas	70,21%	0,736
Lietuva	Geležies amžius	69,23%	0,754

Lentelė 6. Atsitiktinio miško taikymas skirtingiems regionams.

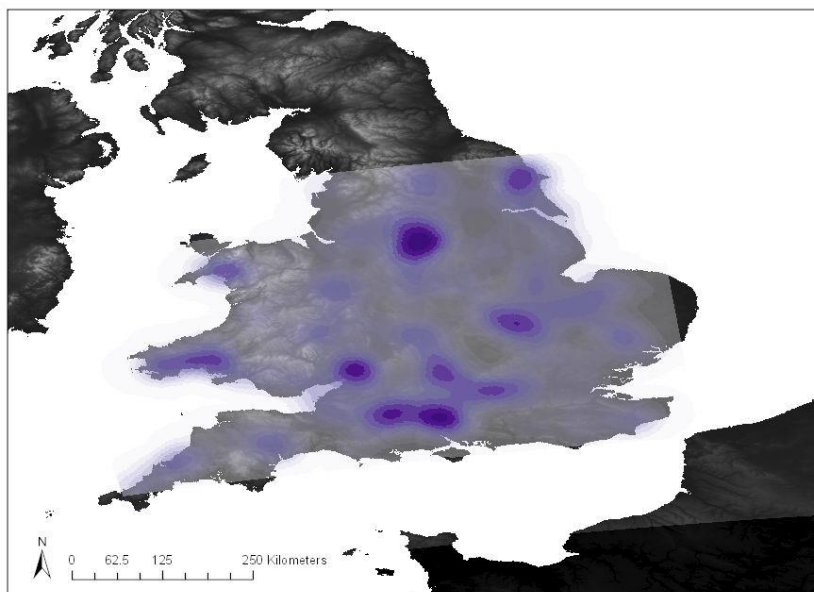


Pav. (18). ROC kreivė iš modelio taikymo pietiniam Anglijos regionui.

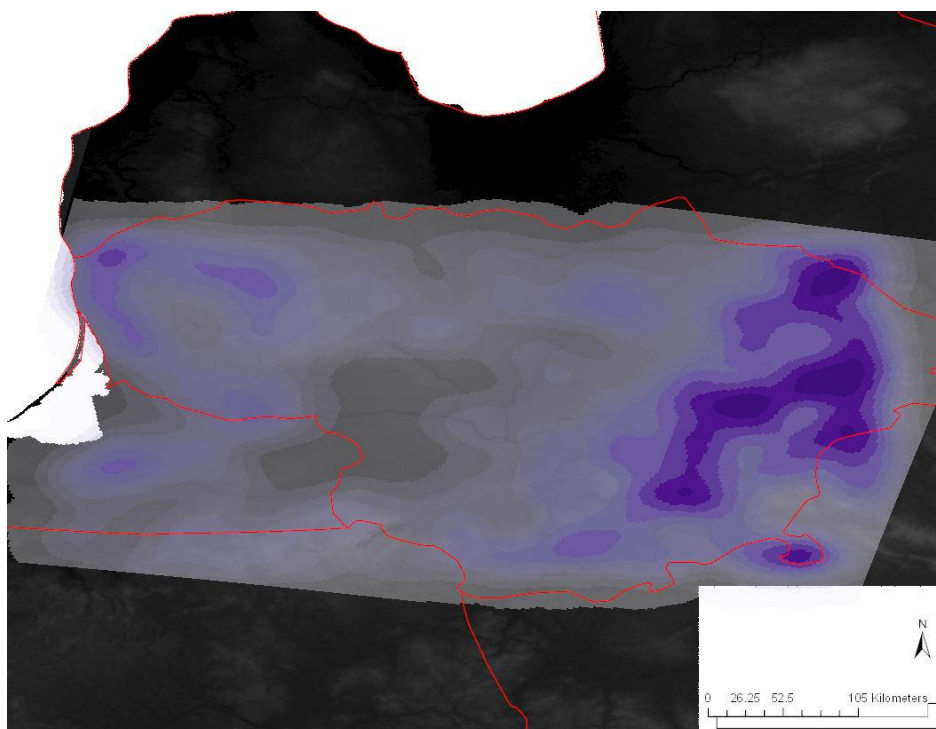


Pav. (19). ROC kreivė iš modelio taikymo Lietuvos teritorijai.

Naudojant sukurtą ArcGIS įrankį, atliekamas tiriamų regionų archeologinio jautrumo įvertinimas (Žemėlapiai 8 ir 9).



*Žemėlapis 8. Tiriamos vietovės Anglijoje, prognozuojamas archeologinis jautrumas (Neolitas).*



*Žemėlapis 9. Lietuvos teritorijos prognozuojamas archeologinis jautrumas (Geležies amžius).*

## Rezultatai ir išvados

Šio darbo metu pirmiausiai buvo išanalizuota mokslinė literatūra susijusi su darbo problematika ir tyrimo objektu: erdvinės analizės metodų taikymu archeologinių kultūrų nustatymui ir archeologinio jautrumo prognozavimui. Apžvelgus darbo temai aktualią literatūrą buvo nuspręsta, jog kuriamame modelyje erdvės klasifikavimui į archeologines kultūras, pagal žinomus archeologinius objektus bus naudojamas „Xtent“ modelyje siūlomas metodas įtakai įvertinti. Tuo tarpu apžvelgus literatūrą apie prognozinis modelius archeologijoje, buvo nustatyta, jog dažniausiai naudojamas logistinės regresijos metodas, ir minima, jog trūksta bandymų taikyti kitus metodus. Dėl šios priežasties buvo nuspręsta pasirinkti kitą metodą. Remiantis sėkmingu jo taikymu kitose srityse (bioinformatika, ekologija) panašiuose erdviųjų duomenų klasifikavimo uždaviniuose, pasirinktas atsitiktinio miško algoritmas.

Sukurtas modelis archeologinių kultūrų nustatymui, naudojantis „Xtent“ modelio metodą erdvės vietų priklausomybei, skirtingiems objektams įvertinti. Toks archeologinių kultūrų nustatymui skirtas modelis įvertina visą tiriamame regione esančių archeologinių objektų imtį ir galimą jų įtaką visiems tikrinamiems erdvės taškams. Priskirdamas erdvės tašką vienai ar kitai kultūrai šis modelis įvertina archeologinių objektų svorius ir atstumą nuo jų iki tikrinamo taško erdvėje. Kadangi modeliuojama žmogaus veikla, vietoje Euklidinio atstumo naudojama absoliučias energijos išlaidas (einant pėsti) aproksimuojanti judėjimo vertės funkcija, tad modelis yra susietas su erdvės turiniu (kraštovaizdžio ypatybėmis).

Sukurtas prognozinis modelis vietovės archeologiniam jautrumui vertinti (pagal kraštovaizdžio ypatybes ir žinomų archeologinių objektų imtį), naudojant atsitiktinio miško algoritmą. Šis prognozinis modelis pritaikytas pasirinktiems regionams įvertinti.

Sukurtas ArcGIS funkcionalumą plečiantis įrankis archeologiniam vietovės jautrumui įvertinti, naudojantis atsitiktinio miško algoritmą. Įrankis veikia priimdamas du vektorinius GIS sluoksnius: (1) žinomas archeologines ir nearcheologines vietas taškais žymintį sluoksnį, atsitiktinio miško apmokymui ir (2) taškų sluoksnį kuriame ketinama prognozuoti archeologinių objektų buvimą. Kaip rezultatą įrankis sugeneruoja rastrinį sluoksnį žymintį prognozuojamą vietovės archeologinį jautrumą (sudarytą naudojant branduolio tankio metodą iš atrinktų antro vektorinio sluoksnio taškų, kurie buvo klasifikuoti teigiamai).

Palyginus su įprastu archeologinių objektų prognoziniam modeliavime naudojamu logistinės regresijos metodu, buvo nustatyta, kad šio darbo metu pasiūlytas modelis pagrįstas atsitiktinio miško algoritmu prognozavo testinius duomenis tiksliau, nei logistinė regresija (86,04% atsitiktinis miškas, 79,31% logistinė regresija), ir taip pat buvo įvertintas geriau ploto po ROC kreive testu (0,82 atsitiktinis miškas, 0.60 logistinė regresija). Praplėtus eksperimentą ir

sukurta modelį pritaikius dar dviems regionams (Pietų Anglija Neolito laikotarpiu, ir dabartinė Lietuvos teritorija Geležies amžiuje) prognozavimas šiuose regionuose buvo mažiau tikslus (tikslumas atitinkamai sumažėjo per 15,83% ir 16,81%, o plotas po ROC kreive per 0,084 ir 0.066). Kadangi buvo naudojami tie patys kintamieji, tikėtina, kad tokius skirtumus rezultatuose lėmė skirtinga regionų kraštovaizdžio specifika.

Taigi apibendrinant šio tyrimo rezultatus galima daryti tokias išvadas:

1. „Xtent“ modelio metodas įtakai apskaičiuoti yra labiau tinkamas archeologinių kultūrų arealų nustatymui, nei kiti aptarti erdvinės analizės metodai nes: (1) skirtingai nei teseliacijos metodai (Voronoi diagramos), teritorijos priskyrimas pagal „Xtent“ leidžia palikti nepriskirtą/nealokuotą erdvės vietą (kai  $I = 0$ , arba pasirenkant „apriori“ ribojimą), (2) skirtingai nei buferių kūrimas, įvertinti priklausomybei (įtaka  $I$ ) naudoja visų objektų imtį.
2. Atsitiktinio miško algoritmą archeologinių objektų prognozavimui galima laikyti tinkamu, nes eksperimento metu, remiantis plotu po ROC kreive, jis testinius duomenis klasifikavo geriau, nei įprastai naudojama logistinė regresija, o ir papildomų regionų tyrime plotas po ROC kreive nenukrito žemiau 0,73, o tai galima laikyti geru rezultatu šioje srityje (kai plotas po kreive  $> 0.7$  [Luc13]).

## Šaltiniai

- [AK11] Aurenche, O., Kozłowski, S., K. Archaeology and Cartography: In Search of the Prehistoric Cultures in the Neolithic Near East. Iš: Investigating Archaeological Cultures: Material Culture, Variability, and Transmission. Springer-Verlag New York, 2011. Pp. 271-287.
- [BGK92] Brandt, R., Groenewoudt B. J., Kvamme, K. L. An Experiment in Archaeological Site Location: Modeling in the Netherlands using GIS Techniques. Iš: World Archaeology, Vol. 24, No. 2, Analytical Field Survey (Oct., 1992), pp. 268-282. Taylor & Francis, Ltd.
- [BPT+14] Balla, A., Pavlogeorgatos, G., Tsiafakis, D., Pavlidis, G. Efficient Predictive Modeling for Archaeological Research. Iš: Mediterranean Archaeology and Archaeometry, Vol.14, No1, pp. 119-129.
- [Bra97] Bradley, A. P. The use of the area under the ROC curve in the evaluation of machine learning algorithms. Iš: Pattern Recognition Volume 30, Issue 7, July 1997, Pages 1145-1159.
- [CAA18] Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology Conference [žiūrėta 2018-01-09]. Prieiga per internetą: <http://ocs.caaconference.org>
- [CL06] Conolly, J., Lake, M. Geographical Information Systems in Archaeology. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- [Den17] Denham, T. Landscape Archaeology. Iš: Encyclopedia of Geoarchaeology, p. 464-468, Springer Netherlands. 2017.
- [DK07] Ducke, B., Kroefges, P. C. From Points to Areas: Constructing Territories from Archaeological Site Patterns Using an Enhanced Xtent Model. Iš: Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology Conference, 08 Identifying settlement patterns and territories. pp. 245-251, 2007.
- [DKŽ08] Dzemyda, G., Kurasova, O., Žilinskas, J. Daugiamačių duomenų vizualizavimo metodai. Vadovėlis informatikos krypties doktorantams ir magistrantams. Matematikos ir Informatikos Institutas. Mokslo Aidai, 2008.
- [EL07] J. W. Eerkens, C. P. Lipo. Cultural Transmission Theory and the Archaeological Record: Providing Context to Understanding Variation and Temporal Changes in Material Culture *Journal of Archaeological Research*. Vol. 15, No. 3, pp. 239-274, September, 2007.



- [GB03] Gilardi, N., Bengio, S. Comparison of four machine learning algorithms for spatial data analysis. Pp. 1-16. 2003.
- [GD16] Gupta, N. and Devillers, R. Geographic Visualization in Archaeology. Iš: Journal of Archaeological Method and Theory. Vol. 24, No.2, pp. 1-34
- [GG71] Givoni B., Goldman R. F. Predicting metabolic energy cost. Iš: Journal of Applied Physiology, 1971; 30(3): 429-433.
- [Hu11] Hu, D. Advancing Theory? Landscape Archaeology and Geographical Information Systems. Iš: Papers from the Institute of Archaeology (PIA), vol. 21, Pp. 80-90, 2011.
- [KL07] Kohler, T. A., Leeuw, S. E. Historical Socionatural Systems and Models. Iš: The Model-Based Archaeology of Socionatural Systems. Pp. 1-12. School for Advanced Research Press, 2007.
- [Kam04] Kamermans, H. The Application of Predictive Modelling in Archaeology: Problems and Possibilities. Iš: Nicolucci, F. and S. Hermon (eds.) Beyond the Artifact. Digital Interpretation of the Past. Proceedings of CAA2004, Prato 13–17 April 2004. Archaeolingua, Budapest, pp. 271-277.
- [Kva17] Kvamme, K.L. Geographical Information Systems (GIS). Iš: Encyclopedia of Geoarchaeology, p. 309-313, Springer Netherlands. 2017.
- [Kva12] Kvamme, K.L. Spatial Information Technologies and Landscape Archaeology: Past Problems and Future Directions. Journal for Ancient Studies, Special Volume 3, G. Graßhoff & M. Meyer, eds, pp. 335-340
- [Kva06] Kvamme, K.L. There and Back Again: Revisiting Archaeological Location Modeling. Iš: GIS and Archaeological Predictive Modeling, M.W. Mehrer and K. Wescott, eds., CRC-Taylor and Francis, Boca Raton, pp. 3-38.
- [Kva97] Kvamme, K., L.. Archaeological spatial analysis using GIS: methods and issues. Iš: Sistemi Informativi e Reti Geografiche in Archeologia: GIS - Internet, A. Gottarelli, ed., Consiglio Nazionale delle Ricerche Università degli Studi di Siena, Sienna, Italy, pp. 45-58. 1997.
- [Kno14] L.Knott. GIS Predictive Model of Potential Undiscovered Native American Archeology Sites for The Red Wing Locality, Red Wing, Minnesota. Volume 16, Papers in Resource Analysis, St. Mary's University of Minnesota Central Services Press. Winona, MN, 13 pp.
- [žiūrėta 2016-12-13]. Prieiga per internetą:  
<http://www.gis.smumn.edu/GradProjects/KnottL.pdf>
- [KPD17] Kultūros Paveldo Departamentas. Archeologinių ataskaitų sąrašas.

- [žiūrėta 2017-04-29]. Prieiga per Internetą: [http://arheologijosdb.kpd.lt/ataskaita\\_listview.php](http://arheologijosdb.kpd.lt/ataskaita_listview.php)
- [KPD18] Kultūros Paveldo Departamento, kultūros vertybių registras.  
[žiūrėta 2018-01-11]. Prieiga per Internetą: <https://kvr.kpd.lt/>
- [Leu02] Leusen, M. Pattern to Process. Methodological Investigations into the Formation and Interpretation of Spatial Patterns in Archaeological Landscapes (Daktaro disertacija). Groningeno Universitetas, Nyderlandai, 2002.
- [Luc13] Luczak, A. Using predictive modeling methods as a way of examining past settlement patterns: an example from southern Poland. Colloquium. Non-destructive approaches to complex archaeological sites in Europe: a round up. Ghent University, 15 - 17/1/2013, Belgium.
- [MCC+16] Manning, K., Colledge, S., Crema, E., Shennan, S., Timpson, A. The Cultural Evolution of Neolithic Europe. EUROEVOL Dataset 1: Sites, Phases and Radiocarbon Data. Iš: *Journal of Open Archaeology Data*, 5: e2.
- [MHG+17] Mi, C., Huettmann, F., Guo, Y., Han, X., & Wen, L. (2017). Why choose Random Forest to predict rare species distribution with few samples in large undersampled areas? Three Asian crane species models provide supporting evidence. *PeerJ*, 5, e2849. 2017.
- [PGG76] Pandolf K. B., Givoni B., Goldman R. F. Predicting energy expenditure with loads while standing or walking very slowly. United States Army Medical Research & Development Command. Report M 3/77. Oct. 1976.
- [Per15] Pérez, J. N. Non-Euclidean Distances in Point Pattern Analysis: Anisotropic Measures for the Study of Settlement Networks in Heterogeneous Regions. Iš: *Mathematics and Archaeology*. Pp 369-382.
- [PTR11] Paveldo tvarkybos reglamentas. PTR 2.13.01:2011. Archeologinio paveldo tvarkyba.
- [Qi12] Qi, Yanjun. Random Forest for Bioinformatics, Iš: "Ensemble Learning: Methods and Applications". Springer, 2012.
- [RBB+13] Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafliðason H, Hajdas I, Hatté C, Heaton TJ, Hoffmann DL, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Staff RA, Turney CSM, van der Plicht J. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. Iš: *Radiocarbon* 55(4):1869–1887. 2013.

- [RL11] B.W. Roberts, M.V. Linden. Investigating Archaeological Cultures: Material Culture, Variability, and Transmission. Springer-Verlag New York, 2011. pp. 1-23
- [RPS15] Richmond P. W., Potter A.W., Santee W. R. Terrain factors for predicting walking and load carriage energy costs: Review and refinement. U.S. Army Cold Regions Research Engineering Laboratory, Hanover, NH. Iš: J Sport Human Perf 2015;3(3):1 – 26.
- [SL17] Silva F., Linden M., V. Amplitude of travelling front as inferred from 14C predicts levels of genetic admixture among European early farmers. Iš: Scientific Reports volume 7, Article number: 11985. Springer Nature, 2017.
- [SG72] Soule R. G., Goldman R. F. Terrain coefficients for energy cost prediction. Iš: Journal of Applied Physiology, 1972; 32(5): 706-708.
- [SS12] A. Simniškytė, A. Selskienė. Kraštovaizdžio tyrimai Jakšiškio mikroregione. Senovės gyvenviečių paieškos ir fosforo kokybinio testo panaudojimas. Iš: Lietuvos Archeologija. 2012. T. 38, p. 141-174.
- [SV11] A. Scianna, B. Villa. GIS applications in archaeology. Iš: Archeologia e Calcolatori, 22, 2011, pp. 337-363.  
[žiūrėta 2016-12-13]. Prieiga per internetą:  
[http://soi.cnr.it/archcalc/indice/PDF22/AC\\_22\\_Scianna\\_Villa.pdf](http://soi.cnr.it/archcalc/indice/PDF22/AC_22_Scianna_Villa.pdf)
- [TAT+13] Tučas, R., Augustinavičius, R., Tamulynas, L., Suncovas, V. GIS technologijų taikymas archeologijoje. Iš: Metodai Lietuvos archeologijoje. Mokslas ir technologijos praeičiai pažinti. Vilniaus Universiteto leidykla, Vilnius, 2013.
- [Tay14] Taylor, R., E. Radiocarbon Dating in Archaeology. Iš: Encyclopedia of Global Archaeology. Springer, New York, NY. 2014.
- [Tay97] Taylor, R., E. Radiocarbon Dating. Iš: Chronometric Dating in Archaeology. . Advances in Archaeological and Museum Science, vol 2. Springer, Boston, MA, 1997.
- [TT12] Tučas R., Tamulynas L. Skaitmeninis Lietuvos archeologinių vietų ir radimviečių žemėlapis, Lietuvos archeologija, 37, 2012.
- [Tuč12] Tučas, R. Lietuvos teritorijos apgyvendinimo raida I-XII a. (Daktaro disertacija). Vilniaus Universitetas, Vilnius 2012.
- [Tuč10] Tučas, R. GIS panaudojimo archeologinių duomenų erdvinėje analizėje galimybės, Lietuvos archeologija, 36: 29–46, 2010.
- [Tuč04] Tučas, R. Gamtinės aplinkos poveikis etnogenzės procesams Lietuvoje. Iš: Geografija. 2004. T. 40. Nr. 2. P. 17-25

- [VP12] G.Vines, S.Page. GIS-based spatial analysis for archaeological site prediction and evaluation. Iš: Melbourne: Geospatial Sciences, RMIT, 2012.  
[žiūrėta 2016-12-13]. Prieiga per internetą:  
[http://ceur-ws.org/Vol-1328/GSR2\\_Vines.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-1328/GSR2_Vines.pdf)
- [Ver18] Verhagen, P. Spatial Analysis in Archaeology: Moving into New Territories. Iš: Digital Geoarchaeology, pp. 11-25, 2018.
- [Ver07] Verhagen, P. Case Studies in Archaeological Predictive Modeling (Daktaro disertacija). Leideno Universitetas, Nyderlandai, 2007.
- [VW12] Verhagen, P., Whitley, T. G. Integrating Archaeological Theory and Predictive Modeling: a Live Report from the Scene. Iš: Journal of Archaeological Method and Theory (2012) 19. Pp. 49-100. 2012.
- [Whi04] T. G. Whitley. On the Frontier: Looking at Boundaries, Territoriality and Social Distance with GIS. 2004. Pp. 41-46.
- [WKC+17] Walsh, E. S., Kreakie, B. J., Cantwell, M. G., Nacci, D. A Random Forest approach to predict the spatial distribution of sediment pollution in an estuarine system. PLoS ONE 12(7): e0179473. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179473>.
- [Wyl17] Wyley, A. Representational and Experimental Modeling in Archaeology. Iš: Springer Handbook of Model-Based Science. Pp 989-1002. Springer, Cham, 2017.
- [WWD+17] Wang Y., Wu G., Deng L., Tang Z., Wang K., Sun W., Shangguan Z. Prediction of aboveground grassland biomass on the Loess Plateau, China, using a random forest algorithm. Iš: Scientific Reports volume 7, Article number: 6940. Springer Nature, 2017.