



VILNIAUS UNIVERSITETAS
GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
Kartografijos centras

Donatas Danielius

**SKAITMENINIŲ RELJEFO MODELIŲ KŪRIMAS IR TOBULINIMAS
(GPS DUOMENŲ PAGRINDU)
CREATION AND DEVELOPMENT OF DIGITAL RELIEF MODELS
(USING GPS DATA)**

Baigiamasis magistro darbas
Studijų programa - Kartografija

Česnulevičius

Vadovas: prof., habil. dr. A.

Vilnius, 2009

Baigiamasis magistro darbas
Pavadinimas: **Skaitmeninių
reljefo modelių kūrimas ir
tobulinimas (GPS duomenų
pagrindu)**

Autorius: Donatas Danielius

Kalba

lietuvių

užsienio

Santrauka:

Reljefas yra trimatis, todėl turėtų būti taip ir vaizduojamas. Šiuolaikiniai reljefo modeliavimo programiniai paketai leidžia kurti naujus trimačius skaitmeninius reljefo vizualizavimo būdus, kurie yra lengviau suprantami vartotojų ir naudojami daugelyje sričių. Skaitmeninio reljefo modelio kūrimo procesas susideda iš duomenų rinkimo, modelio kūrimo ir jo vizualizacijos. Nedidelių teritorijų reljefo kartografavimui geriausia naudoti aukšto tikslumo GPS duomenis. Kuriant skaitmeninį reljefo modelį tikslinga pasirinkti tam tinkamiausią interpoliavimo metodą, atsižvelgiant į reljefo pobūdį, tinkamą metodo grafinę išraišką, atsirandančias paklaidas bei kompiuterio techninius parametrus, o vizualizacijai pasirinkti tokias modeliavimo priemones, kurios užtikrintų korektiško trimačio vizualizavimo praktiškumo, kartografinio dizaino, modeliavimo ir demonstravimo funkcijas bei naudoti tinkamus vizualizavimo būdus. Naudojantis SURFER 8 programa bei GPS duomenimis sukurtas Aukuro kalno piliakalnio skaitmeninis trimatis reljefo modelis.

Summary:

The terrain surface is three-dimensional and should be treated like that. Modern 3D modelling computer programs allows to create new three-dimensional digital relief models, which are user-friendly and are used in many applications. Digital relief models creation process consist of data collecting, model making and it's visualisation. For mapping small territories best method to collect data is GPS. When creating digital relief model, it is necessary to choose best interpolation method considering relief format, it's graphics, standard deviation and computer technical parameters, and for visualisation choose such programs, which is capable to make correct three-dimensional practical, cartographical design, modelling and demonstrational functions as well as use right visualisation ways. Using SURFER 8 program and GPS data, Aukuras hill mound digital three-dimensional relief model was created.

Reikšminiai žodžiai: skaitmeninis reljefo modelis, GPS duomenys, trimatė vizualizacija

Keywords: digital relief model, GPS data, three-dimensional visualisation

Turinys

Įvadas.....	4
Darbo tikslas ir uždaviniai.....	7
1. Trimačio vaizdo supratimas	8
1.1 Trimačių skaitmeninių reljefo modelių supratimo tyrimai	9
2. Trimačių skaitmeninių reljefo modelių pritaikymo sritys.....	15
3. Skaitmeninis reljefo modelis.....	17
3.1 Žemės paviršiaus aukščių duomenų rinkimas.....	18
3.1.1 Aukuro kalno piliakalnio koordinatinių matavimai GPS metodu	23
4. Skaitmeninio erdvinio reljefo modelio kūrimas	24
4.1 Duomenų interpoliavimo metodo pasirinkimas.....	25
4.1.1. Interpoliavimo metodų palyginimas.....	31
5. Vizualizacija.....	38
5.1. Trimatė kartografinė vizualizacija	39
5.2. Trimačio reljefo vizualizacija kompiuterinėmis priemonėmis	40
Rezultatai ir išvados	47
Literatūros ir kitų informacijos šaltinių sąrašas.....	48
Priedas 1	50

Įvadas

XXI amžiuje, kada jaučiamas spartus informacinių technologijų progresas bei paplitimas ir taikymas visuomenėje tapo globaliu reiškiniu, didėja naujų savo specifikacija technologijų poreikis. Kompiuterinė ir programinė įranga vis labiau tobulinama ir pritaikoma daugelyje sričių. Jei vartotojai iš pradžių pasitenkindavo dvimate virtualia aplinka gaminant ar naudojant skaitmeninį produktą, šiuo metu vis plačiau naudojama, ir ateityje neišvengiama būsianti, trimatė skaitmeninė vizualizacija, kur mums įprastos dvi reikšmės yra planinės koordinatės, o trečia reikšmė dažniausiai apibūdina modelio paviršiaus savybę. Be programinės įrangos leidžiančios dirbti trijuose matuose, šiandien neapsieina dažnas architektas, inžinierius ar dizaineris.

Virtualios erdvės neišvengiamai skverbiasi ir į kartografijos mokslą. Trimačius reljefo modelius imta sudarinėti jau senovėje. Dabartiniais laikais yra sukurta šimtai programinės įrangos paketų skirtų kurti trimačius skaitmeninius erdvės modelius, jais naudotis, manipuliuoti duomenimis ir pan., pradedant labai galingomis, brangiai kainuojančiomis sistemomis, tokiomis kaip CAVE, programomis skirtomis kartografijos specialistams (pvz. ArcView 3D Analyst), bei baigiant platformomis, sukurtomis kartografiniais pažinimo tikslais, kuriomis naudotis nereikia specifinių srities žinių.

Modelis vaizduojantis paviršių bendriausia kartografinė prasme turi atitikti du pagrindinius reikalavimus, išsakytus rusų kartografo K. Salyščevo – jis turi būti „plastiškas“, t.y. jame turi atsispindėti paviršiaus nelygumai bei jis turi turėti matavimo funkciją (Салищев, 1982). Statiškus topografinius žemėlapius, kuriuose reljefas pavaizduotas izolinijų metodu sunku būtų pavadinti plastiškais, ypač vartotojams kurie su žemėlapiais susiduria rečiau. Skaitmeniniai erdviniai reljefo modeliai atitinka abu šiuos reikalavimus. Svarbiausia jų savybė yra ta, kad

aplinką jie vaizduoja tokią kokia ji yra, t.y. trimatę kaip ir tikrovėje. Reljefas pavaizduotas trijose dimensijose dėl jo realistiškumo vartotojui yra lengviau suprantamas, tai susiję su žmogaus psichologinėmis savybėmis, žmogus jame išvelgia jam žinomas formas be detalesnės analizės.

Kas gi yra tas skaitmeninis trimatis reljefo modelis? Yra daug definicijų. Kai kurie kartografi trimačį reljefo modelį laiko vizualizacija, kurioje reljefas pavaizduotas paprasčiausiai trijose dimensijose. Tačiau jei laikysime z koordinate aukštį, pateiktą izolinijų metodu, ir topografinis žemėlapis bus laikytinas trimačiu, todėl kiti kartografi tokį reljefo pavaizdavimą vadina 2,5-mačiu, kadangi čia nėra jaučiamos reljefo šiurkštumo imitacijos (angl. term. depth cues). Trimačiame vaizde vartotojui turi būti be detalesnės analizės suvokiama matomų formų struktūra ir organizacija, todėl šiame darbe skaitmeniniu trimačiu reljefo modeliu laikomas matematiškai apibrėžtas, aukšto realistiškumo kompiuterinėmis priemonėmis sudarytas reljefo modelis, pateiktas skaitmenine forma.

Skaitmeniniai trimačiai reljefo modeliai gali būti trejopi (Petrovič, Mašera, 2004):

- a) trimačiai topografiniai reljefo modeliai;
- b) trimačiai reljefo vaizdai pateikti šešėliniu būdu;
- c) trimatis reljefas pateiktas animuota forma.

Kiekvienas iš šių reljefo modelių turi savų privalumų ir trūkumų, tačiau visi jie turi atitikti prieš tai išvardintus kriterijus.

Kad sudaryti trimačius skaitmeninius reljefo modelius reikia turėti visų trijų koordinacių duomenis. Duomenims gauti yra keli būdai, tačiau šiame darbe analizuojami modeliai, kurie sudaryti naudojantis GPS duomenimis, t.y. platumos, ilgumos ir aukščio nustatymas panaudojant globalinę pozicionavimo sistemą. Tai yra greitas duomenų surinkimo vietovėje, reikalaujantis palyginti su kitais metodais nedidelių laiko ir darbo jėgos sąnaudų bei užtikrinantis aukštą rezultatų tikslumą.

Magistro baigiamojo darbo autorius nuoširdžiai dėkoja darbo vadovui profesoriui

Algimantui Česnulevičiui už pagalbą bei pastabas.

Darbo tikslas ir uždaviniai

Baigiamojo magistro darbo „Skaitmeninių reljefo modelių kūrimas ir tobulinimas (GPS duomenų pagrindu)“ darbo tikslas:

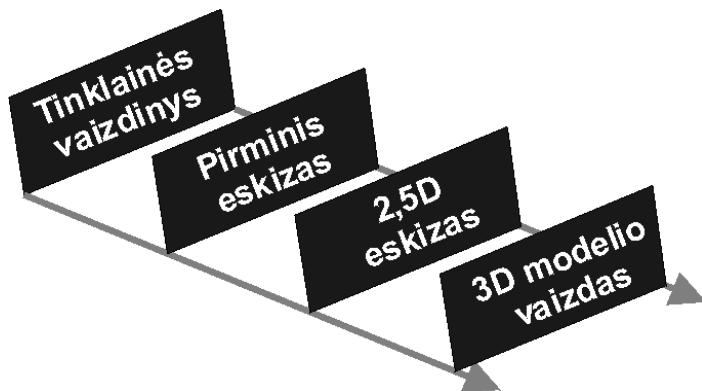
- atlikti skaitmeninių trimačių reljefo modelių kūrimo ir tobulinimo būdų (GPS duomenų pagrindu) analizę, jų vizualizavimo bei praktinės naudos galimybes.

Šiam tikslui pasiekti išskelti tokie uždaviniai:

- 1) Atlikti skaitmeninių trimačių reljefo modelių tyrimų, pagrindžiančių jų praktinę svarbą, vartotojų požiūrį bei panaudojimo galimybes, analizę.
- 2) Atlikti palyginamąją pirminių geografinių duomenų gavimo analizę, išskiriant GPS metodo privalumus, trimačiams skaitmeniniams reljefo modeliams kurti.
- 3) Pagal gautus GPS duomenis sukurti skaitmeninius trimačius reljefo modelius.
- 4) Atlikti interpoliavimo metodų kuriant erdvinius reljefo modelius analizę.
- 5) Atlikti trimačių reljefo modelių vizualizacijos galimybių analizę.

1. Trimačio vaizdo supratimas

Trimatis vaizdas dėl jo natūralaus realistiškumo yra suvokiamas geriau nei dvimatis. Deivido Maro „Požiūris į regėjimą“ turėjo didelį poveikį suprantant vaizdo bei informacijos apdorojimą įvairioms analizėms (Dorling, 1997). Šis jo tyrimas išsivystė iš ankstesnių įrodymų, kad psichologinis objekto formos supratimas yra įrašomas į atmintį kitoje vietoje nei jo naudojimo supratimas, ir žmonės gali suprasti daiktų formas nepriklausomai nuo supratimo kaip tie daiktai vadinasi ar kam jie naudojami. Maro vaizdo supratimo modelis yra hierarchinis, kuriame kiekvienoje stadijoje žmogaus supratimas papildomas formos tūrine informacija (1 pav.).



1 pav. Maro požiūrio į regėjimą hierarchinis modelis.

Maras priėjo išvados, kad geriausiai žmogui suprantamas trimatis vaizdas, kuris yra gaunamas trimis etapais. Pirmiausia psichologiškai vertinat vaizdą yra suvokiamas pirminis eskizas – kraštai, barjerai, dėmės, jų orientacija. Po to seka 2,5D vaizdas – turima informacija papildoma vaizdo paviršiaus orientacija, vaizdo netolygumu, nuotoliu nuo stebėtojo, paviršiaus

atspindžiais ir dominuojančiu apšvietimu. 3D modelio vaizdo studijoje, suvokiama matomų formų struktūra ir organizacija, kartu su jo paviršiaus apibūdinimo galimybe. Šioje studijoje mes galime askirti objektus (namas ar paukštis), net jei ir negali atskirti rūšies (bažnyčios ar anties). Galima daryti išvadą, kad trimatis vaizdas suprantamas geriausiai dėl to, jog žmogus jame išvelgia jam žinomas formas be detalesnės analizės.

1.1 Trimačių skaitmeninių reljefo modelių supratimo tyrimai

Kartu su kompiuterinių trimačio kartografinio modeliavimo galimybėms atsiradimu buvo gilintasi į tokių galimybių suteiktą kartografinių reljefo produktų gaminių reikalingumą. Vieni kartografiniai skaitmeninius trimačius modelius sutiko palankiai, kiti naujus reljefo vizualizavimo metodus vertino neigiamai ir vadino tik moksliniais eksperimentais. Buvo atlikta keletas tyrimų susijusių su trimačių reljefo modelių supratimu.

Pirmieji tyrimai, nagrinėjantys kaip vartotojas supranta trimatį reljefą, sukurti kompiuterinėmis priemonėmis, buvo atlikti R. J. Phillipso ir L. Noyes 1978 metais. Tada trimačiai reljefo modeliai buvo sudarinėjami tuo metu populiariomis SYMAP ir SUMVU programomis. Jomis sukurti trimačiai vaizdai buvo lyginami su kontūriniais žemėlapiais. Šis tyrimas rėmėsi studentų (nebūtinai geografo) apklausa. Iš viso buvo apklausta 123 studentai, kurių amžiaus vidurkis buvo devyniolika metų. Tyrimui buvo pateikti trys reljefą vaizduojantys žemėlapiai – topografinis žemėlapis, žemėlapis kuriame reljefas buvo pavaizduotas izolinijomis kartu su kiekybinio fono metodu bei trimatis reljefo modelis. Prieš pradėdant apklausą, studentai iš pradžių buvo supažindinti su kiekvienu žemėlapiu, kad visi susipažintų su žemėlapiu vaizdu bei reljefo charakteristikomis. Anketos susidėjo iš aštuonių nesudėtingų uždavimų:

- 1) pažymėti aukščiausią ir žemiausią reljefo taškus;

- 2) žemėlapyje atsitiktinai nubrėžtoms 2 cm linijoms pažymėti jų galus, kurie yra auksčiau;
- 3) atpažinti pateiktus skersinius profilius iš žemėlapiuose nubrėžtų izohipses kertančių linijų;
- 4) išmatuoti santykinius auksčius;
- 5) pažiūrėjus į žemėlapius, naudojantis regimąja atmintimi perbraižyti reljefo formas;
- 6) panašus klausimas į antrą, tik linijos čia buvo dešimt kartų ilgesnės;
- 7) iš pateikto aprašymo prie klausimo, nupiešti maršrutą žemėlapyje;
- 8) studentams buvo duota maža žemėlapių iškarpa, kurią jie turėjo atpažinti ir uždėti ant reikiamos vietos žemėlapyje.

Kiekvienam klausimui buvo duotas tam tikras laiko intervalas, taigi rezultatai priklausė nuo orientavimosi žemėlapiuose greičio, čia taip pat lemiantis faktorius buvo ir patirtis naudojantis tam tikrais reljefą vaizduojančiais žemėlapiais. Respondentai susumuoti atsakymai lėmė, jog labiausiai suprantami yra žemėlapiai, kuriuose reljefas buvo pavaizduotas izolinijomis kartu su kiekybinio fono metodu. Kalbant apie trimačius reljefo modelius, studentams buvo lengviausia nei kituose, pažymėti auksčiausius ir žemiausius reljefo taškus bei atpažįstant detalę iš žemėlapių ir ją įdedant į reikiamą vietą žemėlapyje.

Nors iš tyrimo išaiškėjo, jog pagal pateiktus klausimus, respondentams buvo lengviausia atlikti užduotis žemėlapiuose, kuriuose reljefas buvo pavaizduotas izolinijomis kartu su kiekybinio fono metodu, tačiau trimačiai žemėlapiai buvo pranašiausi klausimuose susijusiuose su greita orientacija, respondentai juose greičiausiai atpažino reljefo formas. Taip pat būtina pažymėti, jog tyrime naudoti trimačiai žemėlapiai buvo prastos garfinės kokybės,

juose aukčių reikšmės buvo pateiktos žemėlapių šonuose, nebuvo galima pakreipti žemėlapių įvairiais rakursais. To neleido padaryti tų laikų kompiuterinės programos skirtos trimačiui modeliavimui. Taip pat tada tai buvo didelė naujovė ir respondentai neturėjo pakankamai patirties naudojantis reljefo modeliais pateiktais, trijose dimensijose.

Tobulėjant trimačių reljefo modelių sudarymo technologijoms, tyrimai apimantys vartotojų požiūrį į jų naudojimą praktikoje, buvo tęsiami. Slovėnijos kartografai Dušan Petrovič ir Polona Mašera 2005 metais atliko tyrimą apklausdami vartotojus dažnai besinaudojančius topografiniais žemėlapiais. Pagrindinis tyrimo tikslas buvo žemėlapių vartotojų apklausa, kaip jie galėtų naudoti skirtingus perspektyvinius kalnuoto reljefo vaizdavimo būdus panašioms tikslams kaip ir įprastuose dvimačiuose žemėlapiuose: galimybes gauti kiekybinius parametrus, tokius kaip atkarpu, krypties, aukščių matavimai tarp dviejų taškų, taip pat apie taškinių, linijinių ir plotinių objektų atpažinimo galimybes. Vartotojų grupės buvo pasirinktos tarp žmonių kurie dažnai naudoja žemėlapius, bet nebūtinai turi kartografinį išsilavinimą. Buvo koncentruotasi į geodezininkus, inžinierius, alpinistus, skautų būrelius bei orientacinio sporto atstovus.

Įžanginėje dalyje buvo pateikta trumpa informacija apie trimačius reljefo vaizdus, išskiriant tuos kurie nėra trimačiai. Lengvesniam palyginimui tarp tradicinio dvimačio žemėlapių ir trimačio reljefo vaizdavimo, taip pat dalyvių supažindinimui su analizuojama teritorija pirmiausiai buvo pateiktas dvimatis tiriamos teritorijos žemėlapis masteliu 1 : 50 000. Tyrimo tikslas buvo ištirti kiek yra efektyvūs pagrindiniai žemėlapių naudojimo tikslai: vaizduojamų objektų atpažinimo galimybė, orientavimasis aplinkoje ir žemėlapių matmenys, kurie gali būti išskiriami skirtinguose trimačio vaizdavimo būduose. Buvo pateikti tokie trimačiai pavyzdžiai:

- topografinis žemėlapis ant trimačio šešėlinio reljefo;
- juodai baltas ortofoto paveikslas ant trimačio šešėlinio reljefo;
- trimatis animacinis reljefo vaizdavimas, su dangaus fonu.

Kartu su pagrindine anketos dalimi buvo norėta sužinoti kaip vartotojai naudotų šiuos tris skirtingus perspektyvinius reljefo vaizdus panašioms tikslams, kaip jie nauoja įprastus dvimačius žemėlapius. Pirma klausimų grupė buvo apie reljefo kiekybinių charakteristikų (atstumų nustatymo, šiaurės krypties nustatymo, aukščių skirtumo nustatymo tarp dviejų taškų) matavimų galimybes. Antroje dalyje buvo klausiama apie taškinių, linijinių ir plotinių objektų (pastatų, bažnyčių, miškų, uolienuų, vandens tėkmių, kelių) atpažinimo galimybes. Galiausiai pabaigai buvo užduoti šie klausimai:

- kokį trimatį žemėlapij jie pasirinktų savo tikslams ir kodėl;
- trimačio reljefo vizualizavimo privalumai ir trūkumai;
- kokie geografiniai elementai vaizduojami trimatėse perspektyvose yra svarbiausi;
- ar jie pasirinktų trimačius reljefo žemėlapius popieriuje ar skaitmeninėje versijoje.

2004 metų rudenį buvo gauti 119 žemėlapių vartotojų atsakymai. Bendrai tariant respondentai buvo teigiamai nusiteikę trimačių vaizdų pateikimo klausimu. Nors kaip labiausiai tinkamas vis dėl to buvo pasirenkamas topografinis dvimatis žemėlapis, tačiau nuo jo nedaug atsiliko topografinis žemėlapis ant trimačio šešėlinio reljefo, o klausime apie pirminio vaizdo įspūdžio gavimą jį ir lenkė, kaip ir kiti pateikti trimačiai vaizdai. Iš visų trimačių reljefo modelių prasčiausia vartotojų nuomonė išskiriant objektus buvo apie reljefą pavaizduotą kaip juodai baltą ortofoto paveikslą ant trimačio šešėlinio reljefo, tuo tarpu kiti du vaizdavimo būdai pelnė beveik po lygiai balsų. Lyginat su ankstesniu tyrimu vartotojų požiūris į naujų trimačių metodų naudojimą buvo daug tolerantiškesnis. Tai siejama su tuo jog per šį laiką žemėlapių naudotojai daug geriau spėjo susipažinti su trimačiais vaizdais bei todėl, jog buvo pateikti daug geresnio dizaino, su kiekybinėmis charakteristikomis pateikiami reljefo modeliai.

2005 metais Kalnų kartografijos komiteto suvažiavime La Korunijos mieste Ispanijoje, buvo paskelbtas Škotijos kartografų Wood ir kt. tyrimas, lyginantis dvimačių žemėlapių ir virtualių skaitmeninių reljefo modelių efektyvumą navigacijoje. Tyrimo tikslas buvo nustatyti, kuriame iš pateiktų žemėlapių vartotojai greičiau nustato optimalų maršrutą kalnuotose vietovėse per tam tikrą laiko tarpą. Respondentams buvo duotas tos pačios teritorijos dvimatis topografinis žemėlapis popieriuje, bei virtualus trimatis reljefo žemėlapis kompiuterio ekrane, su vaizdo artinimo - tolinimo, keitimo įvairiais rakursais galimybėmis. Buvo paprašyta nurodyti optimaliausią maršrutą iš taško A į tašką B, atsižvelgiant į reljefą, taip pat buvo keli papildomi klausimai apie reljefo formų nustatymą, orientavimąsi žemėlapiuose, numatomą kelionės laiką ir pan. Respondentai buvo padalinti į dvi dalis pagal naudojimosi žemėlapiais patirtį: naujokai ir patyrę žemėlapių vartotojai. Tyrimo rezultatai parodė, kad optimaliausią maršrutą atsižvelgiant į reljefą naujokai geriau sudarė trimačiuose skaitmeniniuose reljefo modeliuose, tuo tarpu tarp patyrusių žemėlapių vartotojų didesnio skirtumo nepastebėta.

2007 metais Vilniaus universitete buvo apgintas šio darbo autoriaus bakalaurinis darbas „Atraktyvių ir didaktinių objektų erdvinės vizualizacijos galimybių analizė „SURFER 6“ programa“. Šiame darbe autorius atliko anketinį Lietuvos saugomų teritorijų direkcijų darbuotojų tyrimą, kaip jie vertina skaitmeninius trimačius reljefo modelius ir ar naudotų juos, jei būtų tokia galimybė. Visos saugomų teritorijų direkcijos buvo teigiamai nusiteikusios tokių reljefo modelių atžvilgiu. Jos sutiko, kad yra didelis tokių trimačių vaizdų poreikis ir teigė jog naudotų erdvinius žemėlapius siekdami suteikti informacijos apie gamtinius ir antropogeninius objektus, jų pagalba supažindintų visuomenę su gamtiniais objektais. Erdvinių trimačių reljefo modelių panaudojimo spektras direkcijų veikloje būtų gan platus – modeliai būtų naudojami įvairiuose leidiniuose, lankstinukuose, informaciniuose stenduose, animuotuose pristatymuose, saugomų teritorijų internetiniuose puslapiuose ar eksponuojami lankytojų centruose.

Skaitmeniniai trimačiai reljefo modeliai, jų sudarymo technologijos bei vizualizacijos galimybės tobulėjo kartu su techninėmis kompiuterių charakteristikomis bei

programinės įrangos, skirtos trimačių reljefo vaizdų modeliavimui, pažanga. Nuo to didžiaja dalimi priklausė ir priklauso žemėlapių vartotojų požiūris į trimačius reljefo modelius. Jei pirmuose tyrimuose jie vertinti gana skeptiškai, dabar jau nebesiginčijama jų svarba įvairiuose tyrimuose bei vizualizacijoje. Taip pat labai svarbu tai, jog visuomenė tapo raštinga informatikos srityje, kompiuteris tapo neatsiejama dalis darbe, namie didaktikoje. Tai taip pat padėjo vystyti trimatei kartografijai.

2. Trimačių skaitmeninių reljefo modelių pritaikymo sritys

Geografinės informacijos technologijos ir skaitmeninis duomenų vaizdavimas pastaraisiais metais tapo labai populiarus mokslo, komercinėse bei operatyvinėse srityse. Šiose srityse skaitmeniniai reljefo modeliai yra svarbi reljefo pateikimo forma. Norvegijos mokslininkas J.R. Sulebakas (Sulebak, 2000) nagrinėdamas trimačių reljefo modelių panaudojimo pritaikomumą, skiria penkias atskiras sritis, kuriose naudojami trimačiai skaitmeniniai reljefo modeliai duomenų analizei, gamybos tobulinimui ir sprendimų priėmimui pagerinti:

- mokslo,
- komercinė,
- industrinė,
- operatyvinė,
- karinė sritys.

Tiksli informacija apie reljefą yra labai svarbi visiems geomokslams. Mokslo srityje trimačiai reljefo modeliai naudojami klimatologijoje (reljefo įtaka klimatui), ekologijoje (dirvožemio, augalijos, hidrologijos priklausomybė nuo reljefo), geologiniame ir hidrologiniame modeliavime (reljefo įtaka vandens, ledynų judėjimui), geografinėse informacinėse sistemose (informacijos pateikime ir vizualizacijoje), geomorfologijoje ir kraštovaizdžio analizėje, žemėlapių gamyboje bei didaktikoje.

Komercinė sritis apima skaitmeninių reljefo modelių gamybą ir platinimą įvairiems tikslams. Ši sritis dalijama į du pogrupius – bendroji skaitmeninių reljefo modelių gamyba, bei gamyba pagal specialius užsakymus. Universalūs reljefo modeliai, jų duomenų bazės naudojami telekomunikacijose, oro navigacinių maršrutų sudaryme bei navigacijoje, statyboje bei

planavime, geologinėje žvalgyboje, hidrologinėse ir meteorologinėse tarnybose, multimedijoje bei kompiuteriniuose žaidimuose. Pagal specialius užsakymus gaminami skaitmeniniai reljefo modeliai yra patogūs tuo, kad vartotojas gali pats keisti duomenis ir pritaikyti juos pagal savo poreikius. Tokios trimačio reljefo duomenų bazės naudojamos statyboje bei planavime, hidrologijos bei meteorologijos tarnybose, kartu su kataklizmų rizikos vertinimais, distancinių zondavimų kodavime ir kitur.

Industrinėje srityje skaitmeniniai reljefo modeliai naudojami rinkai orientuotų produktų technologijos vytymui pagerinti bei padidinti tos produkcijos pelningumui. Reljefo modeliai naudojami telekomunikacijoje (Europoje apie 60% visų parduotų skaitmeninių reljefo modelių teko telekomunikacijų sričiai), telematikoje, aviacijos elektronikoje, kasyboje, gamtinių resursų paieškoje, inžinerijoje bei turizme.

Operatyvėje srityje skaitmeniniai reljefo modeliai reikalingi geoinformacijos kūrimui bei atnaujinimui valstybinėms reikmėms, administuoti pagalbą katastrofų paveiktoms teritorijoms, oro navigacinių maršrutų saugumui užtikrinti. Į tai įeina vandens bei mineralų žvalgyba, skrydžių kontrolė bei mokymas, miškų palanavimas bei naudojimas, užtvankų planavimas bei statyba, potvynių bei kitų katastrofų pavojaus įvertinimui.

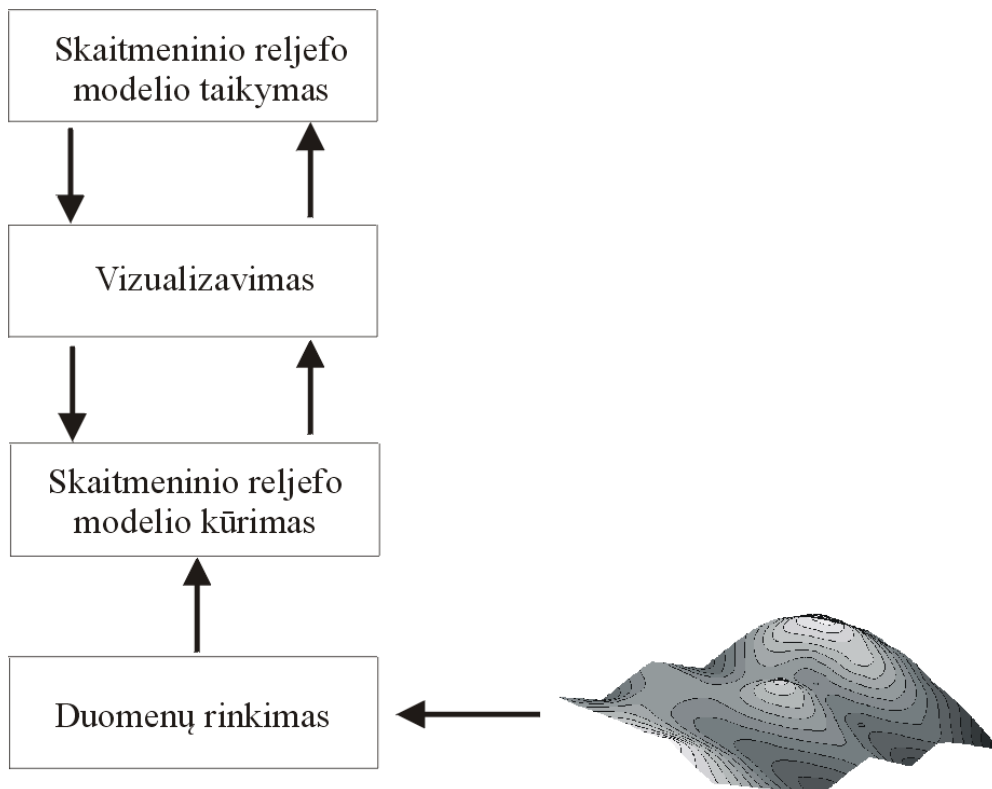
Karinėje srityje reikalingis žinios apie reljefą daugelyje atvejų – raketų paleidimo trajektorijos nustatyme, kariuomenės judėjimo valdyme ir pan.

Čia išvardinti pagrindiniai, tačiau ne visi skaitmeninių reljefo modelių trijose dimensijose panaudojimo atvejai. Jų pritaikomumas yra platesnis ir vis auga kartu su naujomis kompiuterinio kartografinio modeliavimo galimybėmis.

3. Skaitmeninis reljefo modelis

Skaitmeninio reljefo modelio darbų seka yra tokia (2 pav):

- Žemės paviršiaus aukščių duomenų rinkimas,
- skaitmeninio reljefo modelio kūrimas
- vizualizavimas,
- skaitmeninio reljefo modelio taikymas įvairių uždavinių sprendimui.



2 pav. Skaitmeninio reljefo modelio darbų seka.

Skaitmeninio trimačio reljefo modelio darbų seka nėra vienos krypties, per įvairius tarpinius ryšius sukurti modelio variantai gali persipinti (vizualizavimas ir duomenų atnaujinimas) ir būti pakartotinai panaudoti. Kaip išsirikiuoja darbai, taip išanalizuoti ir skaitmeninio trimačio reljefo modelio etapai (Tumas, 2006).

3.1 Žemės paviršiaus auksčių duomenų rinkimas

Koordinacių gavimo technologijos keitėsi kartu su technologine pažanga. Kaip keitėsi įvairūs duomenų gavimo būdai ir technologija istorijos bėgyje pateikta 1 lentelėje:

1 lentelė. Duomenų gavimo būdai ir technologijos istorijos bėgyje.

Data	Metodas	Duomenų pateikimas
2500 pr. Kr.	Kompasas	Rankraščiai ritiniuose sudaryti rankiniu būdu
17 a. pab.	Teodolitas	Žemėlapiai sudaryti rankiniu būdu
19 a. pr.	Alidadė	Topografiniai ir planimetriniai žemėlapiai
19 a. pr.	Tacheometras	Žemėlapiai sudaryti rankiniu būdu
1910	Aerofotografija	Žemėlapiai sudaryti rankiniu būdu, skaitmeniniai reljefo modeliai, CAD failai
1960	Optinis teodolitas	Žemėlapiai sudaryti rankiniu būdu
1970	Elektroninis teodolitas	Žemėlapiai sudaryti rankiniu būdu, skaitmeniniai reljefo modeliai
1980	Totalinė stotis	Skaitmeniniai reljefo modeliai, CAD failai, žemėlapiai sudaryti rankiniu būdu
1990	GPS	Skaitmeniniai reljefo modeliai, CAD failai
20 a. pab.	Distancinis zondavimas	Skaitmeniniai reljefo modeliai

Šiuo metu dažniausiai naudojami metodai koordinatėms gauti yra totalinė stotis, GPS, aerofotografija bei distancinis zondavimas.

Totalinės stoties metodas (kitai žinomas kaip antžeminė nuotrauka) yra grindžiamas principu, kad bet kokio taško 3-D padėtis gali būti nustatyta matuojant kampus ir atstumus iš taškų, kurių padėtis yra žinoma. Matavimai pradedami nuo atramos taško, kurio

koordinacinių sistema yra žinoma, visi kiti taškai nustatomi šioje koordinacinių sistemoje. Jei koordinacinių sistema – nežinoma, matavimai vykdomi santykinėje vietinėje koordinacinių sistemoje. Visų matuojamų taškų padėtis susijusi su kitų taškų padėtimi, todėl matavimo paklaidos pasklinda tarp visų taškų.

Šiuolaikinė totalinė stotis yra elektroninis-optinis kompiuterizuotas instrumentas, įgalintis matuoti atstumus 1 mm tikslumu. Paprastai matavimus atlieka du žmonės, kurių vienas dirba su totaline stotimi, o antras nešioja atspindinčiąją prizmę, kuri statoma matuojamuose taškuose. Kai kurios naujausios sistemos leidžia matavimus atlikti ir vienam žmogui. Tai darbo sąnaudų reikalaujantis būdas, bet jis vis dar yra geras ir plačiai naudojamas sprendimas, siekiant gauti ypač aukšto tikslumo duomenis apie taškų padėtį.

GPS sistema tai pirmoji ir labiausiai paplitusi Pasaulinės kosminės navigacijos sistemos dalis, kurią sudaro šiuo metu veikiančios bei artimiausiu metu numatomos paleisti sistemos:

- Jungtinių Amerikos Valstijų GPS (Global Positioning System) – pirmoji ir labiausiai paplitusi sistema.
- Rusijos GLONASS (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система).
- Planuojama paleisti Europos sistema Galileo.

GPS, arba pasaulinė padėties nustatymo sistema, yra apibrėžiama kaip „radijo signalus skleidžiantys palydovai, naudojami padėčiai Žemėje nustatyti. Naudojantis GPS imtuvu įmanoma tiksliai nustatyti jo padėtį ant ar šalia Žemės paviršiaus“. GPS sudaro:

- 24 palydovai (kosminis segmentas). Papildomai orbitoje skrieja keletas atsarginių palydovų.
- 5 Žemės stotys (kontrolinis segmentas).
- GPS imtuvai (vartotojų segmentas).

GPS imtuvai, kurių konstrukcija, tikslumas, kaina bei panaudojimo ypatumai skiriasi skirstomi į skirtus geodeziniams matavimams, kuriais pasiekiamas milimetrų bei

centimetrų tikslumas bei mėgėjiškus, kurių tikslumas mažesnis kaip 5 metrai. GPS matavimai grindžiami atstumu, nustatomu pagal radijo signalų sklidimo trukmę tarp palydovo (kurio padėtis tiksliai žinoma) ir imtuvo, naudojant vadinamąjį „trianguliacijos“ iš palydovo metodą. Paprastai norint nusakyti taško padėtį reikalinga nustatyti atstumą tarp GPS imtuvo ir 4 palydovų. GPS matavimų tikslumui įtaką gali daryti (Živatkauskas ir kt. 2008):

- jonosferos aktyvumas (priklauso nuo paros meto ir nuo Saulės aktyvumo),
- troposferinis vėlinimas (priklauso nuo palydovo pakilimo kampo),
- signalo kliūtys (pastatai, kalvos, matuotojo žmogaus kūnas),
- signalo atspindžiai (signalas atsispindi nuo namo ar kitos kliūties ir tik tada pasiekia imtuvą),
- radijo bangų interferencija.

Panaudodami GPS galime išmatuoti visas tris koordinates, tačiau reikia turėti omenyje, jog z koordinatės tikslumas bus mažesnis nei x ir y . GPS yra patogus ir tuo, kad matavimus gali atlikti vienas žmogus.

Aerofotografijos metodui naudojami atitinkama įranga aprūpinti aukštaskraidžiai ar žemaskraidžiai lėktuvai ar sraigasparniai. Pripažinta, kad aerofotografija vienas iš ekonomiškiausių nuotolinio duomenų surinkimo būdų. Fotografuojant iš aukštai apimamos nemažos teritorijos bei platus erdvinių objektų išsidėstymas, ko negalima aprėpti akimis esant ant žemės. Tokioje nuotraukoje matyti visi vienu metu užfiksuoti objektai. Naudojant aerofotografines nuotraukas galima gana tiksliai išmatuoti atstumus, kryptis, plotus, nuolydžius bei tūrius (Tumas, 2006). Daugelis topografinių planų, žemėlapių šiuo metu sudaromi aerofotografinių nuotraukų pagrindu. Mokslo šaka, kuri tiria įvairių objektų formą, dydį ir padėtį remdamasi fotografinių vaizdų matavimais, vadinama fotogrametrija. Aerofotografinės nuotraukos analizuojamos vizualiniais būdais, jose erdviniai objektai dažnai yra užfiksuoti kaip trimačiai dydžiai, o tai įgalina nustatyti objektų (pastatų, reljefo) aukščius. Pastaraisiais metais paplito skaitmeninės fotografijos, kurios apima platesnį bangų spektrą. Kartografuojant reljefą,

čia pasiekiamas iki trijų centimetrų tikslumas auskčio koordinatei, naudojant lėto greičio žemaskraidžius lėktuvus ar sraigtasparnius (Vendor Solutions).

Distancinis zondavimas – naujausia ir labiausiai paplitusi pirminių geografinių duomenų surinkimo forma. Distanciniu zondavimu paprastai yra laikomas informacijos apie objektų fizines, chemines ir biologines savybes gavimas be tiesioginio fizinio kontakto. Gaunama informacija yra elektromagnetinių bangų atspindžio, sklaidos nuo objektų rezultatas. Tam tikslui naudojami įvairaus spektro elektromagnetinių bangų (ultravioletinių, regimosios šviesos - mėlynųjų, žaliųjų, raudonųjų, infraraudonųjų - artimųjų, terminųjų, mikrobangų) jutikliai. Svarbiausia fizinė charakteristika yra skiriamoji geba, kuri skirstoma į erdvinę, spektrinę ir laiko. Distancinio zondavimo sistemos yra grindžiamos: pasyviais jutikliais, fiksuojančiais atspindėtą ar išspinduliuotą elektromagnetinę spinduliuotę (tradicinė bei skaitmeninė aerofotonotrauka, pagrindinės kosminio distancinio zondavimo sistemos – Landsat, Spot, Ikonos ir pan.) bei aktyviais jutikliais, kurie patys generuoja elektromagnetines bangas, siunčia jas į Žemės paviršių bei fiksuoja atspindėjimo ypatumus (RaDAR – Radio Detection And Ranging, LiDAR – Light Detection And Ranging). Jutiklių nešėjais paprastai būna dirbtiniai Žemės palydovai bei lėktuvai, tačiau taip naudojami ir kiti skraidymo aparatai – malūnsparniai, oro balionai, lengvi skraidymo aparatai, įskaitant ir nepilotuojamus.

Kokį pirminių geografinių duomenų rinkimo būdą geriausia pasirinkti? Tai priklauso nuo daugelio faktorių, kurie vienas su kitu yra tarpiai susiję. Tinkamam koordinačių gavimo metodo pasirinkimui yra išskiriami tokie pagrindiniai kriterijai:

- metodo kaina,
- kartografuojamos teritorijos plotas,

- duomenų gavimo tikslumas, lyginant su kitais metodais, reikalingas sėkmingam projekto įvykdymui,
- laiko sąnaudos,
- įrangos reikalingos koordinačių surinkimui pasiekiamumas,
- personalo kiekis
- priklausomybė nuo oro sąlygų (Vendor Solutions).

Kiekvienam iš aptartų metodų pasirinkimui nustatyti sudaryta kriterijų lentelė (2 lentelė), apimanti kiekvieno metodo plusus ir minusus skaitmeniniams reljefo modeliams sudaryti, pagal aukščiau išvardintus kriterijus:

2 lentelė. Pirminių geografinių duomenų surinkimo metodų kriterijų lentelė.

Metodas	Totalinė stotis	GPS	Aerofotonuotauka	Distancinis zondavimas
Kaina	+	+	±	-
Teritorijos plotas	-	-	+	+
Tikslumas	+	+	±	+
Laiko sąnaudos	+	+	±	+

Įrangos pasiekiamumas	+	+	-	-
Personalo kiekis	+	+	-	-
Oro įtaka	±	±	±	±

3.1.1 Aukuro kalno piliakalnio koordinatinių matavimų GPS metodu

Šiame darbe buvo pasirinktas GPS metodas. Tai palyginti su kitais metodais pigus būdas greitam ir tiksliam koordinatinių surinkimui vietovėje. GPS įranga yra paplitusi tarp geodezininkų, inžinierių ir kitų techninių sričių specialistų, ją galima lengvai išsinuomoti. Už totalinę stotį ji yra pranašesnė, nes daugelyje atvejų ją gali naudoti vienas žmogus. Meteorologinės sąlygos (lietus, sniegas, debesuotumas, rūkas) turi įtakos GPS panaudojimui vietovėje kaip ir visiems metodams, todėl reikia į jas atsižvelgti. Tačiau jei GPS metodu norima surinkti koordinates didelei teritorijai, tai pareikalaus didelių laiko sąnaudų, todėl ją tikslinga naudoti sąlyginai nedidelėms teritorijoms kartografuoti.

GPS duomenys naudojami greitam automatizuotam kartografinių kūrinių kūrimui. Lauko darbams buvo naudojamas profesionalus, geodezininkams skirtas firmos TOPCON, GPS

imtuvus „Assy, Hiper + 900/1800“ kartu su kontrolieriu TOPCON „FC – 200“. Jo techninės charakteristikos leidžia pasiekti kelių milimetrų tikslumą, galima dirbti bet kuriuo paros metu ir įvairiomis oro sąlygomis. Jo matavimai visiškai automatizuoti ir rezultatai iškart pateikiami vietovėje. Esminis (kaip ir visų tokių prietaisų) trūkumas yra tas, kad darbas su juo mažiau efektyvus miškingose ar urbanizuotose teritorijose, t.y. ten, kur signalui gauti trukdo tiesioginės fizinės kliūtys.

Matavimams pasirinktas Aukuro kalno piliakalnis, esantis Kernavės piliakalnių komplekse, kadangi jis yra atviras matavimams, lengvai pasiekiamas ir puikiai visuomenei žinomas. GPS imtuvu buvo išmatuoti 162 taškai (1 priedas), matuojant atsižvelgiant į reljefo kitimą erdvėje. Matuojant tikslumas buvo labai aukštas nuo kelių milimetrų iki kelių dešimtųjų milimetro. Matavimų metu signalai buvo gaunami iš 9 – 10 palydovų, o vieno taško koordinatės buvo užfiksuojamos per keletą sekundžių. Išmatuoti duomenys įrašyti į kontrolierį įvairiais universaliais formatais (.txt, dxf, .dxf, .shp). Tai leido skaičiavimams panaudoti plačiai paplitusias kompiuterines programas.

Matavimai iš viso užtruko pusantros valandos. Jei matavimai būtų vykdomi optiniais geodeziniais prietaisais, o koordinatės būtų išskaičiuojamos remiantis topografiniais žemėlapiais, visa tai būtų pareikalavę ženkliai daugiau laiko sąnaudų.

Vienas esminių metodo trūkumų – įrangos kaina, kuri siekia keliasdešimt tūkstančių litų. Tyrimams galima naudoti pigesnius turistinius GPS imtuvus, tačiau tai lemia didesnes matavimų klaidas, ko pasekoje kartografinis vaizdas bus iškreiptas.

4. Skaitmeninio erdvinio reljefo modelio kūrimas

Trimačio reljefo modelio kūrimui šiame darbe panaudota naujausia SURFER automatizuoto reljefo projektavimo programos versija 8.0. „Ji maksimaliai pritaikyta vartotojui, todėl norinčiam ja naudotis specialus pasirengimas nereikalingas“ (Bautrėnas, 2002). Pirmoji

šios programos versija atsirado dar 1994 metais, ir greitai išpopuliarėjo ne tik tarp kartografų, bet ir tarp įvairių sričių specialistų, kuriems reikalinga greita erdvinių duomenų analizė, pavyzdžiui geomorfologų, geologų ir kitų, kuriems reikalinga trimačių geoduomenų vizualizacija naujoms interpretacijų galimybėms. Naujausia programos versija nuo ankstesnių skiriasi patogesniu valdymu, joje daugiau matematinių algoritmų (papildyta keturiais naujais) bei išplėstos ir patobulintos vizualizavimo galimybės.

Išmatuoti duomenys iš kontrolerio elektroninio žurnalo buvo perkelti tekstiniu failu į Windows Notepad dokumentą. Tada visi failo duomenys perkelti į SURFER 8.0 programos duomenų tvarkyklę, primenančią gerai žinomą MS Excel darbalaukį. Su naujausia versija nereikia atlikti jokių pertvarkymų (išskyrus tai, kad reikia patikrinti ar nesumaišyti koordinatinių stulpeliai), ko ankstesnėje versijoje nebuvo ir reikdavo duomenis papildomai sutvarkyti, kas užimdavo šiek tiek laiko. Skaitmeniniam žemėlapiui ar blokdiagramai sukurti, reikia transpormuoti x, y ir z koordinatas į taip vadinamą 3D tinklą (angl. *grid*), kuri kompiuteris atpažįsta kaip Žemės paviršių. Tuo pat metu nustatomi ir matematiniai parametrai – interpoliavimo algoritmas, koordinatinių ašių kryptys ir pan., kad paruošti duomenis vizualizavimui.

SURFER 8.0 versijoje yra klasikiniai trimačio vaizdo pateikimo būdai – tinklelinis (wireframe map), šešėlių (shaded relief map) bei taip pat naujas būdas – realistiškas trimatis modelis (3D surface), ko ankstesnėse versijose trūkdavo, norint greitai sukurti patrauklų trimatį vaizdą. Vaizdo informatyvumui padidinti galima derinti trimačius reljefo vizualizavimo būdus su dvimačiais, pavyzdžiui su izolinijų metodu, įvedant matuotų taškų reikšmes ir pan., pateikiant jų kombinaciją.

4.1 Duomenų interpoliavimo metodo pasirinkimas

Kaip adekvačiai panaudoti daugybę plačiai išsidėsčiusių aukščio taškų yra svarbus uždavinys trimačio modeliavimo srityje. Bendrai kalbant, interpoliavimas yra būdas tiksliai

apibūdinti paviršiaus reljefą įvairiais būdais, kurie yra priimtinausi žmogaus akiai (Yang ir kt., 2005). Pavieniai surinkti aukščio taškai turi būti interpoliuoti, kad suformuotų išlenktą paviršių, o interpoliavimo metodas apsprendžia jo kokybę, tikslumą ir pritaikomumą tolimesniems tyrimams. Interpoliavimo metodai yra naudojami nežinomų aukščių apskaičiavimui naudojantis aukščių informacija iš žinomų šalia esančių taškų. Sudarant skaitmeninį reljefo modelį interpoliacija naudojama šiems tikslams:

- pasirinkto taško aukščio reikšmei apskaičiuoti;
- tinklinio paviršiaus aukščių reikšmėms apskaičiuoti naudojant išmatuotus taškų aukščius;
- horizontalių padėčiai rasti;
- stačiakampių tinklinio modelio skiriamajai gebai pakeisti (Kumetaitienė, 2006).

Šiandien sukurta daug komercinių interpoliavimo metodų, tačiau dalis mažo universalumo ir yra skirti spręsti specifinius uždavinius. SURFER 8 programoje yra dvylika interpoliavimo metodų, kurie gali būti pasirenkami įvairiems tikslams. Norint reljefą modeliuoti kokybiškiau, pirmiausia būtų tikslinga turėti supratimą apie kiekvieną metodą ir jo panaudojimą. Toliau darbe bus trumpai apibūdinamas kiekvienas interpoliavimo metodas.

Svorio metodas (The Inverse Distance to a Power method)

Svorio metodas yra svorinio vidurkio interpoliavimas, jis gali būti ir tikslus, ir glotnus kalbant apie grafinę išraišką. Tai toks paviršiaus modeliavimo metodas, kai pradiniais taškų aukščiams priskiriami svoriai, atvirkščiai proporcingi atstumui iki skaičiuojamo taško (Kumetaitienė, 2006). Svoris duomenims nustatomas per svorio jėgos naudojimą, kuri kontroliuoja kaip svorio faktorius mažėja didėjant atstumui nuo tinklelio susikirtimo taško. Kuo didesnė svorio jėga, tuo mažiau interpoliavimas paveikia taškus, esančius toliau nuo tinklelio taško. Svorio jėgai padidėjus taško reikšmė priartėja prie artimiausio taško reikšmės. Veikiant mažai jėgai, svoriai yra vienodžiau išsidėstę aplink kaimyninius tinklelio taškus.

Paprastai svorio metodas skirtas tiksliam interpoliavimui. Skaičiuojant tinklelio tašką, svoriai priskirti duomenims yra trupmenos, kurių suma yra lygi 1. Tai reiškia, kad tarp taškų yra paprasta linijinė interpoliacija. Kuo didesnė suma ($p > 1$), tuo labiau mažėja tolesnių taškų svoriai ir gaunamas mažiau apibendrintas paviršiaus vaizdas. Glotninimo parametras yra mechanizmas slopinantis tiesinę priklausomybę. Kai glotninimo parametras yra ne 0, o didesnis, gaunamas glotnesnis vaizdas.

Krigingo metodas (The Kriging Method)

Krigingo metodas yra plačiai pripažintas ir naudojamas daugelyje sričių geostatinis metodas. Šis metodas sukuria patrauklius akiai reljefo modelius iš nereguliariai esančių taškų. Tai labai lankstus interpoliavimo metodas. Krigingo metodas paremtas variogramų modeliu. Variograma – parametrinė funkcija, naudojama nustatant gretimų taškų aukščių koreliaciją (statistinę priklausomybę). Variograma surandami optimaliausi erdviniai sprendimai, nustatomi bendriausi struktūrinio pavaizdavimo ypatumai, įvertinami objektų matmenys ir padėtis. Neigiama krigingo savybė – sudėtingas skaičiavimas. Reikia išspręsti dideles lygčių sistemas kiekvienai krigingo metodu skaičiuojamai tinklinio modelio ląstelei, todėl, modeliuojant reljefą krigingo metodu, reikia daugiau kompiuterio resursų negu interpoliuojant paviršių kitais reljefo modeliavimo metodais.

Minimalaus kreivumo metodas (The Minimum Curvature Method)

Minimalaus kreivumo metodas yra plačiai naudojamas fiziniuose moksluose. Šiuo metodu interpoliuojamas paviršius yra lyg plona, elastinga plokštė kertanti kiekvieną duomenų tašką su minimaliais užlinkimais. Minimalaus kreivumo metodas sukuria labiausiai įmanomą glotnų paviršių su minimalias duomenų nukrypimais. Tai nėra tiesinis interpoliavimo metodas.

Metodas sukuria tinklą iš pasikartojančiai pritaikomų glotninimo lygčių einant visu tinkleliu nuo mažiausios iki didžiausios aukščio reikšmės. Kiekvienas ėjimas per tinklą priimamas kaip viena iteracija. Tinklo taškų reikšmės yra pakartotinai perskaičiuojamos kol reikšmių pasikeitimai yra mažesni nei maksimalios liekanos, arba kai pasiekiamas maksimalus iteracijų skaičius.

Modifikuotas Shepard'o metodas (The Modified Shepard's Method)

Modifikuotas Shepard'o metodas naudoja atvirkštinės distancijos svorinį mažiausio kvadrato metodą. Šis metodas panašus į svorio metodą, bet vietinės mažiausio kvadrato reikšmės eliminuoja arba sumažina kontūrų centriškumo vaizdą. Šis metodas gali būti ir tiesinės priklausomybės ir gali būti glotnus.

Natūralus kaimyno metodas (The Natural Neighbor Method)

Šis metodas yra gana populiarus kai kuriais atvejais. Kad įsivaizduoti šį metodą reikia žinoti Thiessen poligonus (dvigubą Delauney trianguliaciją). Jei nauji taškai pridedami prie serijos senų, Thiessen'o poligonai bus modifikuoti. Kai kurių poligonų sumažės dydžiai, kitų dydžiai nepasikeis. Plotas susijęs su modifikuotais dėl naujų pridėtų taškų Thiessen'o poligonais, kuris buvo paimtas iš egzistuojančių poligonų vadinamas „skolintu plotu“. Natūralaus kaimyno metodo interpoliacijos algoritmai naudoja kaimyninių taškų svorinį vidurkį, kur svoris yra „skolinto ploto“ proporcijos. Šis metodas neekstrapoluoja kontūrų už poligonų linijų.

Artimiausio kaimyno metodas (The Nearest Neighbor Method)

Artimiausio kaimyno metodas priskiria artimiausio taško reikšmes kiekvienam tinklo taškui. Šis metodas yra naudingas kai duomenys yra vienodai nutolę vienas nuo kito, bet juos reikia interpoliuoti. Šis metodas yra veiksmingas kada reikia tinkleliui priskirti kelias trūkstamas tinkleliui reikšmes, taip užpildant jo tuščius tarpus. Kartais norima į tinklą įtraukti

papildomas turimas reikšmes. Šiuo atveju, priskiami konkrečios reikšmės paieškos elipsė ir tušti plotai papildomi duomenimis.

Daugianario mažėjimo metodas (The Polynomial Regression Method)

Šis metodas yra naudojamas apibrėžti didelio mastelio kryptis ir modelius turimuose duomenyse. Daugianario mažėjimo metodas nėra tikra interpoliacija, kadangi jis neatsižvelgia į numatomas aukščio reikšmes. Yra keletas opcijų galimų naudoti apibūdinti paviršiaus krypčių tipams.

Radialinio pagrindo funkcijos interpoliavimo metodas (The Radial Basis Function Interpolation Method)

Radialinio pagrindo funkcijos interpoliacija yra skirtingų duomenų grupių interpoliavimo metodas. Nustatant gebėjimą gaminti glotnius paviršius, multikvadratinis metodas laikomas geriausiu. Visi radialinio pagrindo funkcijos interpoliavimo metodai yra tikslinės priklausomybės ir gaunamas rezultatas yra tikslus, kad gauti glotnius paviršius, reikia įtraukti glotninimo koeficientą.

Trianguliacijos kartu su linijine interpoliacija metodas (The Triangulation with Linear Interpolation Method)

Šis metodas naudoja optimalią Delaunay trianguliaciją. Algoritmas sukuria trikampus nubrėždamas linijas tarp duomenų taškų. Originalūs taškai yra sujungiami taip, kad nei viena trikampio kraštinė nekirstų kito trikampio. Gaunamas trikampių rinkinys ištiesi viso tinklelio plotą. Tai tiesinės priklausomybės rezultatas. Kiekvienas trikampis apibrėžia plokštumą virš tinklelio susikirtimo taškų, kartu gaunant informaciją apie trikampio apspręsto trijų

originalių taškų, aukštį ir polinkio kampą. Visi tinklelio taškai yra nulemti trikampio paviršiaus. Kadangi gaunami trikampiai, suomenys yra pakankamai tikslūs. Šis metodas labiausiai pasiteisina tada, kai duomenų taškai yra išsidėstę vienodais tarpais interpoliuojamoje teritorijoje. Duomenų tikslumas tiesiogiai priklauso nuo atstumo tarp taškų.

Eigos vidurkio metodas (The Moving Average Method)

Eigos vidurkio metodas tinklelio taškams priskiria reikšmes išvedamas vidurkį tarp duomenų taškų naudodamas paieškos elipsę. Naudojant eigos vidurkį, paieškos elipsė turi būti apibrėžiama nurodant minimalų duomenų skaičių. Kiekvienam tinklelio taškui, šalimais esantys duomenys nustatomi centruojant paieškos elipsę ant to taško. Ši reikšmė nustatoma išvedant vidurkį iš nustatytų šalia esančių taškų. Jei šalia esančių taškų bus mažiau nei nurodžius minimalų duomenų skaičių, tinklelis bus tuščias toje vietoje.

Duomenų metrikos metodas (The Data Metrics Methods)

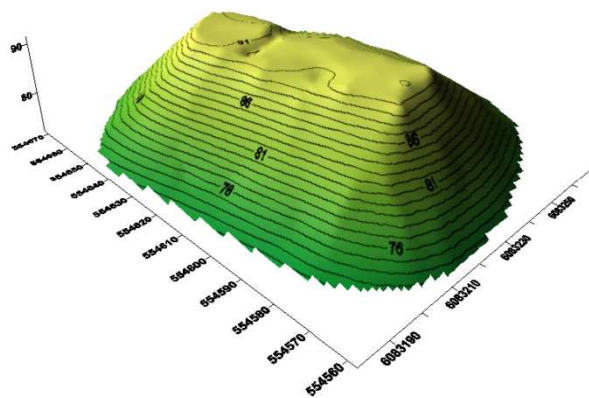
Duomenų metrikos rinkiniai sukuria tinklelio duomenų informaciją naudodamiesi „taškas-šalia-taško“ principu. Šis metodas, iš principo, nėra svorio krypties interpoliatorius aukščiui nustatyti. Galima išgauti tokią informaciją:

a) duomenų skaičių naudotą kiekvieno tinklelio taško interpoliavimui.

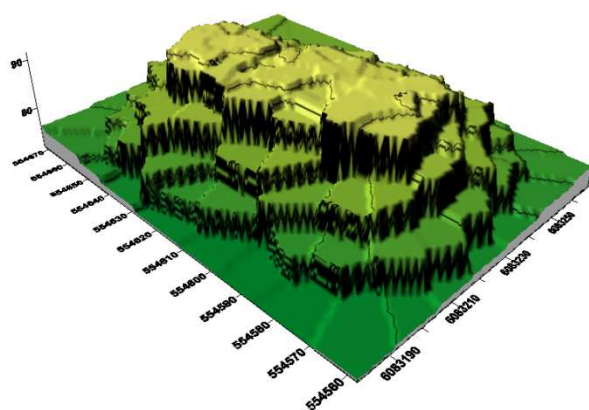
Jei naudotų duomenų yra lygiai tiek pat kiekvienam tinklelio taškui, tada tinklelio kokybė yra patenkinama.

b) Standartinį nuokrypį, variantiškumą, nuokrypio koeficientą, kiekvieno tinklelio taško duomenų absoliutinį medianinį nuokrypį. Tai yra tinklelio erdvės kintamumo matavimai, svarbūs statistinei informacijos analizei.

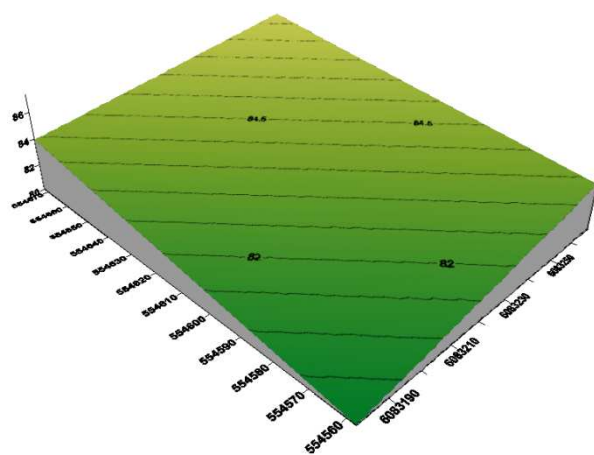
c) Atstumą tarp artimiausių tinklelio taškų.



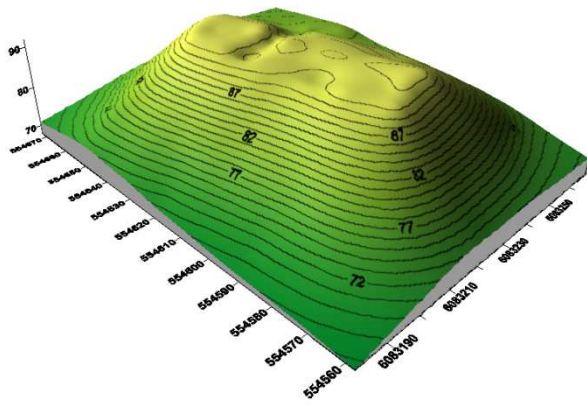
7 pav. Natūralus kaimyno metodas (The Natural Neighbor Method)



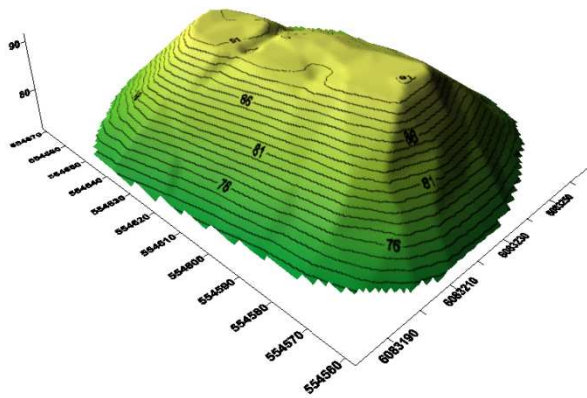
8 pav. Artimiausio kaimyno metodas (The Nearest Neighbor Method)



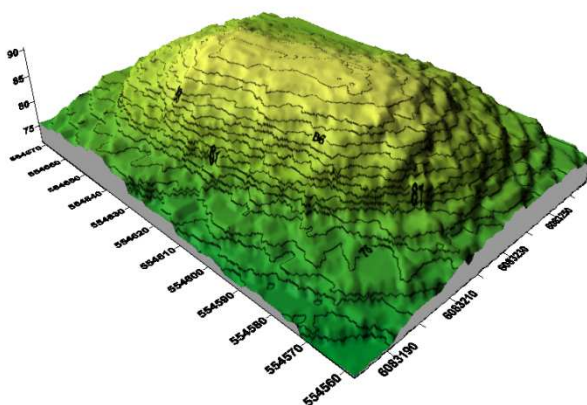
9 pav. Daugianario mažėjimo metodas (The Polynomial Regression Method)



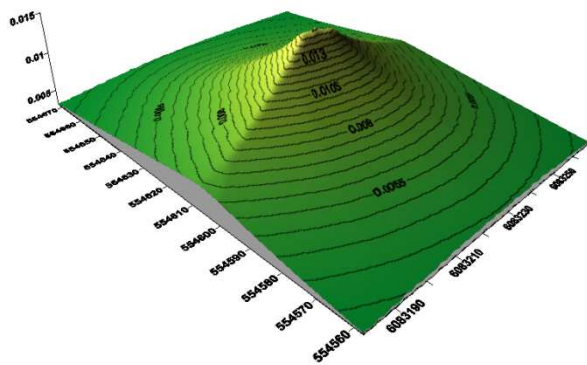
10 pav. Radialinio pagrindo funkcijos interpoliavimo metodas (The Radial Basis Function Interpolation Method)



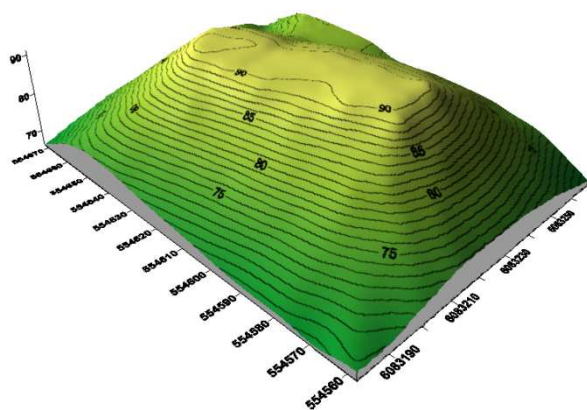
11 pav. Trianguliacijos kartu su linijine interpoliacija metodas (The Triangulation with Linear Interpolation Method)



12 pav. Eigos vidurkio metodas (The Moving Average Method)



13 pav. Duomenų metrikos metodas (The Data Metrics Methods)



14 pav. Vietinio daugianario metodas (The Local Polynomial Method)

Iš įvairiais interpoliavimo metodais gautų reljefo modelių matyti, kad gaunamas skirtingas vaizdas. Reikia paminėti, jog nustatant parametrus visiems interpoliavimo metodams, buvo stengtasi išgauti, kiek leidžia metodas, kuo tikroviškesnį modelio vaizdą, lyginant su realiu, todėl parametrai skiriasi nuo pradinių užduotų SURFER programiniame pakete. Tai įtakoja interpoliavimo laiką bei kitus kriterijus. Labiausiai tikrovę atitinkantys modeliai buvo gauti atlikus interpoliaciją Kringingo, Radialinio pagrindo funkcijos interpoliavimo bei Vietinio daugianario metodais. Tais atvejais kai norima pavaizduoti reljefą neekstrapoliuojant duomenų už tinklelio kraštinių taškų praverčia Natūralus kaimyno ir Trianguliacijos kartu su linijine interpoliacija metodai. Kitų metodų tinkamumas reljefo grafiniam vaizdavimui yra ribotas, o keturi metodai (Artimiausio kaimyno, Daugianario mažėjimo, Eigos vidurkio ir Duomenų

metrikos) pasirodė visai netinkami. Šie metodai skirti labiau specifiniams uždaviniams spręsti, nei reljefo korektiškam vizualizavimui.

Kiti svarbūs faktoriai lemiantys optimalaus interpoliavimo metodo pasirinkimą yra interpoliavimo laikas ir standartinis nuokrypis. Interpoliavimo laikas priklauso nuo interpoliavimo algoritmo sudėtingumo bei kompiuterio techninių parametrų. Skaičiavimai buvo atlikti naudojantis kompiuteriu su šiais parametrais: procesorius - Pentium 3,2 GHz, operatyvioji atmintis kiekis - 3 GB. Standartinis nuokrypis (standart deviation) tai nukrypimo kvadratinė šaknis. Žemiau pateikiami visų interpoliavimo metodų sunaudotas laikas bei gautas standartinis nuokrypis (3 lentelė).

3 lentelė. Skirtingais interpoliavimo metodais gautų rezultatų palyginimas.

Interpoliavimo metodas	Laikas (s)	Standartinis nuokrypis (m)
Svorio metodas	0,41	0,47
Kringingo metodas	28,2	0,44
Minimalaus kreivumo metodas	233	0,69
Modifikuotas Shepard'o metodas	0,23	0,69
Natūralus kaimyno metodas	0,46	0,54
Artimiausio kaimyno metodas	0,07	0,62
Daugianario mažėjimo metodas	0,01	1,51
Radialinio pagrindo funkcijos interpoliavimo metodas	0,92	0,64
Trianguliacijos kartu su linijine interpoliacija metodas	0,01	0,55
Eigos vidurkio metodas	0,01	0,48
Duomenų metrikos metodas	0,9	0,01
Duomenų metrikos metodas	1,16	0,65

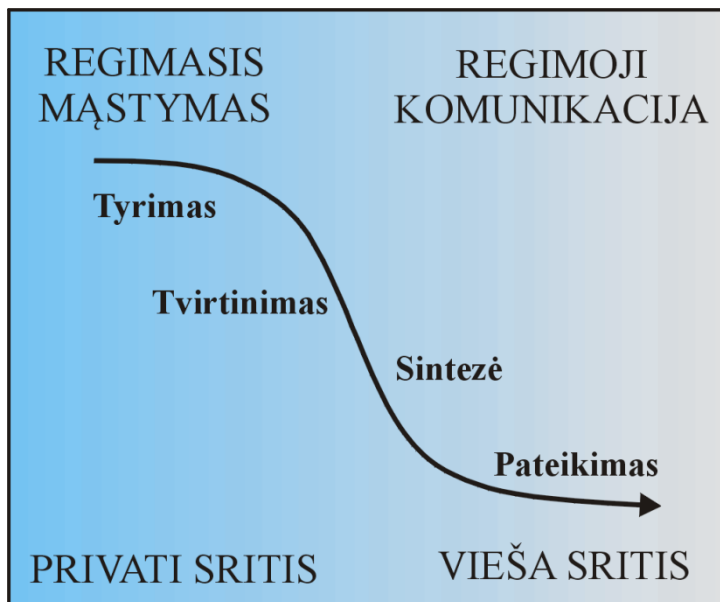
Apibendrinat galima teigti jog visiems atvejams vieno optimaliausio interpoliavimo metodo nėra, ir kiekvieno panaudojimas priklauso nuo sprendžiamo uždavinio bei reljefo tipo (Kumetaitis, 2004). Kad sėkmingai naudotis interpoliacija, reikia susipažinti su kiekvienu metodu, žinoti kam jis skirtas naudoti, tai ypač svarbu jei sudarytojas nėra susipažinęs su modeliuojama teritorija. Modeliuojant erdvinį Aukuro kalno reljefo modelį naudojantis GPS duomenimis, korektiškiausias vaizdas gautas naudojant Krigingo metodą, tačiau dėl paties metodo sudėtingo skaičiavimo bei nusistatytų algoritmo parametrų gausos sunaudotas laikas skaičiavimams buvo vienas ilgiausių tarp visų metodų. Į tai reikia atsižvelgti jei turima dideli kiekiai duomenų bei mažesni kompiuterio techniniai parametrai.

5. Vizualizacija

Žodis „vizualizacija“ tarptautinių žodžių žodynuose dažniausiai turi dviejų sričių apibūdinimus. Psichologijoje šis žodis suprantamas kaip įvairių rūšių duomenų kodavimas į regimuosius vaizdus. Informatikoje tai duomenų regimasis teikimas, informacijos atvaizdavimas displėjaus ekrane. Vizualizacija susijusi su tam tikrais procesais. Tai serija transformacijų, kurios paverčia neapdorotus duomenis į vaizdinį paveikslą. Vizualinis pateikimas tai produktas bet kokio lygio mentalinio įvaizdžio ar duomenų, pateiktas vaizdiniu paveikslu. Kompiuterinė vizualizacija susijusi su laikiniais ir lengvai transformuojamais vaizdiniais paveikslais pateiktas kompiuterio ekrane.

Kartografinėje literatūroje randama keletas vizualizacijos teorijų (Dorling, 1997). Vizualizacija yra skirstoma į paprastąją vizualizaciją ir mokslinę vizualizaciją. Skirtumas tarp šių dviejų yra kompiuterinių technologijų panaudojimo vizualizacijos procese lygis.

Remdamasis mokslinės vizualizacijos ir tiriamųjų duomenų analizės principais, DiBiasas aprašė geografinės vizualizacijos struktūrą mokslinių tyrimų kontekste. Jo struktūra pabrėžia žemėlapių svarbą tyrimų sekoje. Ji apibrėžiama kaip žemėlapiams paremta mokslinė vizualizacija kartu su visais žemėlapių panaudojimo lygmenimis moksle, nuo pirminių duomenų tyrimų, hipotezių formulavimo iki galutinio rezultatų pateikimo (15 pav.).



15 pav. DiBiaso vizualizacijos, kaip mokslinių tyrimų įrankio, apibūdinimas.

Taylor'as apibrėžia vizualizaciją kaip supratimą (analizės ir pritaikymo), komunikaciją (naujas demonstravimo galimybes) bei formalizmą (naujas kompiuterines technologijas). MacEahren'as ir Ganter'is šiam apibūdinimui pritaikė atskirai privačių bei viešų sričių koncepciją. Skirtumai tarp šių požiūrių yra iš esmės kompiuterinių technologijų galimybių panaudojimo vizualizacijos procese svarba. Taylor'as akcentuoja kompiuterinių technologijų svarbą vizualizacijos galutinio produkto taikymuose, tuo tarpu kiti – jų panaudojimą vizualizacijos produkto gamyboje.

5. 1. Trimatė kartografinė vizualizacija

Kartografija visada apima kartografinį vizualizavimo procesą. Kartografinės vizualizacijos produktai yra tematiniai ir topografiniai bei kiti žemėlapiai. Kartografinės vizualizacijos procesas nusakomas sakiniu „*Kaip aš pasakysiu kažką kažkam*“. „*Kaip*“ nusako kartografavimo techniką bei metodus. „*Aš*“ – tai kartografijos specialistas, „*pasakysiu*“ – turima galvoje grafika ir semantika, apibrėžianti erdvinius duomenis. „*Kažką*“ – tai erdviniai duomenys ir jų charakteristikos, nežiūrint į tai ar jie yra kiekybiniai ar kokybiniai. Ir žodžiu „*kažkam*“ apibūdinama žemėlapių vartotojų grupė bei žemėlapių sukūrimo tikslas, žemėlapis skirtas

mokslininkams savo išraiška turi būti kitoks nei tos pačios temos žemėlapis skirtas vaikams. Prie šio sakinio galima pridėti galūnę – „*ir kaip efektyviai, tai padarysiu?*“.

Plėtojantis kompiuterinėms technologijoms išsiplėtė ir mokslinės vizualizacijos pobūdis. Mokslinė vizualizacija apibrėžiama kaip vaizdinio pateikimo kūrimas, naudojantis kompiuterinėmis priemonėmis, kad palengvinti mąstymą ir problemų sprendimą. Žvelgiant iš kartografinės perspektyvos, mokslinės vizualizacijos tikslas yra hipotezių ir nuomonių apie geografinę informaciją vystymosi palengvinimas.

Kai erdviniai duomenys papildomi trečia koordinate, apibūdinančią aukštį, kartografiniai kūriniai klasifikuojami kaip trimačiai. Reljefas natūraliai taip pat yra trimatis nes jis turi platumos, ilgumos bei aukščio koordinates. Reljefo vizualizavimas erdviniais skaitmeniniais modeliais taip pat yra trimatis vaizdo pateikimo būdas, nes tokia natūros išraiška yra plastiška ir vizualiai suvokiama kaip natūrali trimatė aplinka. Kartografiniai kūriniai, kurie neturi apčiuopiamo plastiškumo, bet pateikia reljefą, yra vadinami 2,5-čiais.

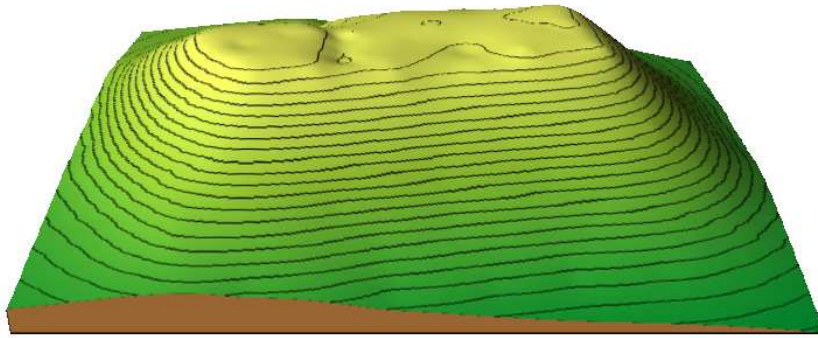
Vystantis technologijomis atsirado įvairių interaktyvių žemėlapių gaminimo technologijų ir būdų. Kartografas gali sąveikauti su žemėlapiu įvairiais naujais būdais – keisti vaizdo rakursą, apšvietimo intensyvumą ir kampą, „vaiksčioti“ po reljefą, „skristi“ virš jo (fly-by maps), ir pan. Taip pat skaitmeniniai erdviniai kartografiniai kūriniai gali būti susieti animacijos metodais. Kartografinė animacija vaizdo pokytis sutartiniam laiko momentui. Skiriamos dvi animacijos rūšys - laiko ir vietos. Laiko animacija naudojama erdviniams duomenims pavaizduoti laiko sekoje. Vietos animacija naudojama vaizduoti erdvinius procesus ir reiškinius tokia seka, kuri nesusijusi su laiko faktoriumi. Tai leidžia praplėsti tradicines kompiuterines vizualizavimo galimybes.

5. 2. Trimačio reljefo vizualizacija kompiuterinėmis priemonėmis

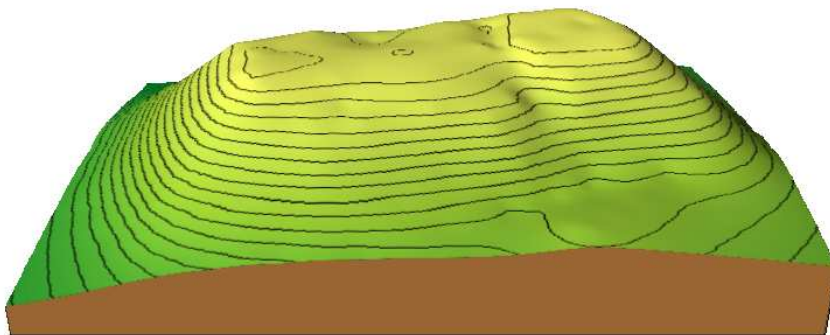
Bet kokio trimačio skaitmeninio reljefo modelio sukūrimui, reikalingos tokios programinės priemonės, kurios savo grafinėmis sąsajomis, tenkintų pagrindinius reikalavimus, korektiškai trimačio reljefo vizualizacijai. Yra išsikiriamos 4 pagrindinės tokių funkcijų grupės:

- trimačio vizualizavimo praktiškumas,
- kartografinis dizainas,
- kartografinis modeliavimas,
- demonstravimo galimybės (Kraak, 2003).

Trimačio vizualizavimo praktiškumas susijęs su vartotojo žemėlapiu stebėjimo galimybėmis. Tai yra geometrinės trimačio reljefo modelio transformavimo galimybės, tokios kaip rakurso keitimas, mastelio kaita, vaizdo priartinimo – nutolinimo funkcija ir pan., atsižvelgiant į tai, kokių tikslų reljefo modelis yra daromas ir kas jame vaizduojama. Geometrinės manipuliacijos trimačiame reljefo pateikime yra būtinos, kadangi dažnai vieni objektai slepiasi už kitų. Dėl reljefo „šiurkštumo“ atsiranda „nematomi“ plotai (kalvos užstoja daubas ir pan.) nėra pageidaujami. Kad aprėpti visą teritoriją, reikia surasti tinkamą stebėjimo poziciją, sukiojant modelį pagal visas tris koordinačių ašis. Kartu su dinamiu vaizdu, išsprędžiama ne tik minima problema, bet taip pat pridedama psichologinės realybės imitacija - judėsenos erdvėje galimybė, vadinama judėjimo paralaksu (*angl. motion parallax*). Jis atsiranda kada stebėtojo pozicija tolygiai keičiasi kartu su trimačiu vaizdu (MacEachren, 1995). Vaizdo pateikimas įvairiais rakursais leidžia apžvelgti objektus iš įvairių pusių (16 ir 17 pav.), taip pat leidžia nekreipti dėmesio į modelio pateikimo kampą. Dar 1978 metais Rowles atliko tyrimus, kurie parodė, kad reljefo šiurkštumas ir matavimai vienodai įmanomi, jei reljefo modelis pateiktas intervale nuo 15 iki 75 laipsnių kampu.



16 pav. Trimačio reljefo modelio pateikimas šiaurės kryptimi.



17 pav. Trimačio reljefo modelio pateikimas pietų kryptimi.

Trimačiai kartografiniai modeliai dažniausiai turi du mastelius – įprastą horizontalų ir vertikalų, atsirandantį dėl z koordinatės įvedimo. Stambiame mastelyje galima vaizdą pateikti vienodais masteliais, tačiau smulkiame gali nesimatyti vietovės nelygumų. Išėitis - objektų vertikalios ašies didinimas, ko pasekoje išryškintas vietovės reljefo „šurkštumas“, tačiau vaizdas gaunasi iškreiptas bei padaugėja morfometrinių skaičiavimų.

Kita problema su kuria susiduriama analizuojant trimačius vaizdus yra mastelio kitimas išilgai žemėlapiu. Ši mastelio netolygumą galima išspręsti pateikiant reljefo modelį ne perspektyviniu, bet aksonometriniu vaizdu. Ir nors galima aksonometrinę projekciją interpretuoti kaip trimatį vaizdą, tačiau jis atrodo blogai, kadangi formos, jų orientacija ir turinio pozicijos yra iškreiptos, t.y. atrodo kitaip, nei jas matytų stebėtojas realioje trimatėje figūroje. Žmogaus akis

nėra įpratusi matyti erdvinio tikroviško vaizdo kai jis neturi dydžio skirtumo žiūrint iš priekio į galą.

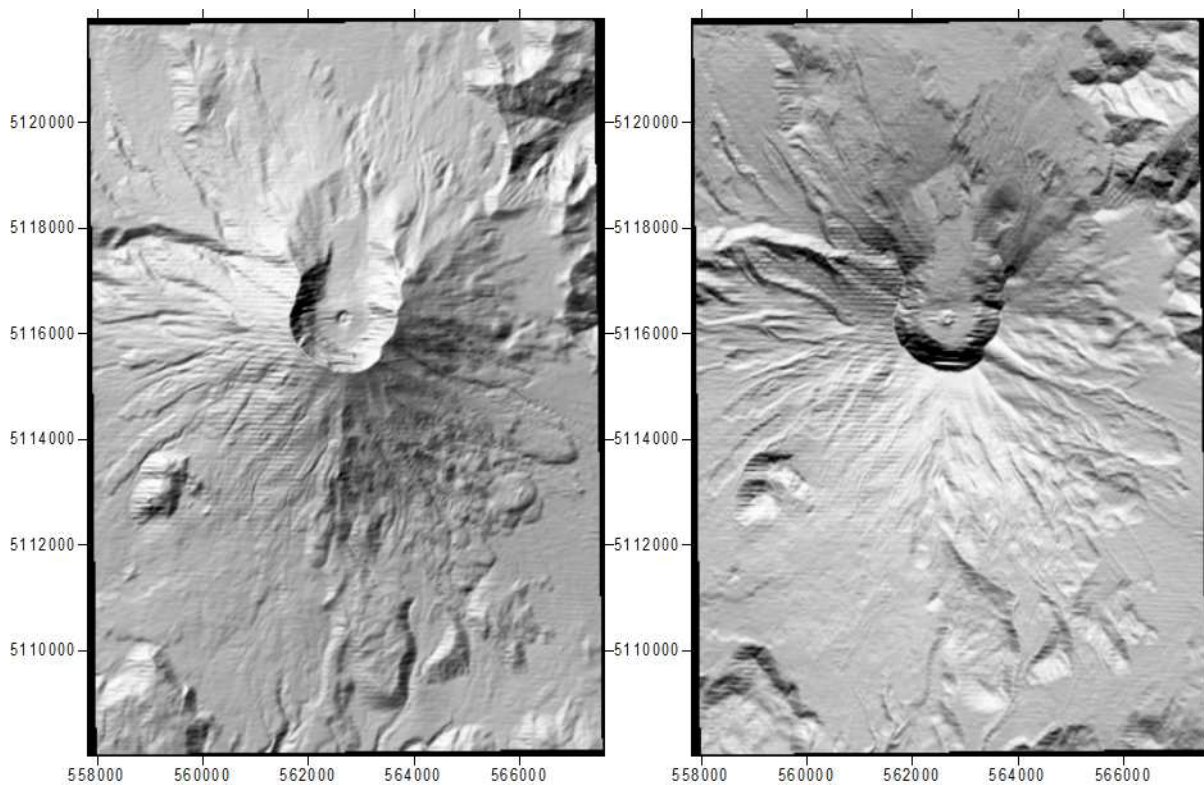
Kartografinio dizaino galimybės susijusios su pagrindinėmis dizaino funkcijomis, kurios apima kartografinius vaizdavimo būdus ir metodus. Čia įeina tokios funkcijos kaip spalvų nustatymai, linijų dydžiai, šriftai, kiti parametrai, taip pat šiaurės krypties rodyklė bei mastelis. Taip pat svarbu orientavimosi žemėlapiu komponentuose pavaizdavimas, susiejant simbolius naudotus pateikiant reljefą su legenda. Dizaino procesas siejamas su trimačio suvokimo taisyklėmis. Tai reiškia, kad kartu su grafinėmis priemonėmis turi atsispindėti ir reljefo šiurkštumo imitacijos, tokios kaip šešėliavimas, tekstūra, perspektyva ir kontūrų spalvinimas. Kiekvienos šiurkštumo imitacijos svarba atsispindi galutiniame produkte. Kitos bazinės operacijos, kurios lemia kartografinį dizainą, tokios kaip koordinačių transformavimas, duomenų klasifikacija ir generalizacija turi būti numatytos iš anksto.

Kartografinis modeliavimas traktuojamas kaip manipuliacija žemėlapiais ar žemėlapiu sluoksniais. Vizualizavimo procese, tai yra įvairių to pačio žemėlapiu skirtingų duomenų sluoksnių pateikimas, skirtingų pateikimo būdų kombinacijos ir pan.

Skaitmeninių trimačių reljefo modelių demonstravimo galimybės yra pagalbinės priemonės, kurios padeda sukurti galutinį produktą naudojant žinomus kartografavimo būdus kartu su tam skirtomis kompiuterinėmis programomis, priklausančiomis nuo išvesties lygio (pvz. monitoriaus ekrano ir kt.). Sukurti reljefo modeliai gali būti tobulinami kitomis grafinėmis programomis. Į tai įeina, ne tik papildomi grafiniai elementai, tekstūrų ar šešėliavimo tobulinimai, bet ir galimybės įtraukti fotorealistiško išpūdį, naudojant atmosferos vaizdavimo galimybes ir kt. Tokie realistiški kūriniai gali būti naudotini tik tada, kai netrukdo sėkmingam kartografinės informacijos perteikimui žemėlapiu vartotojui.

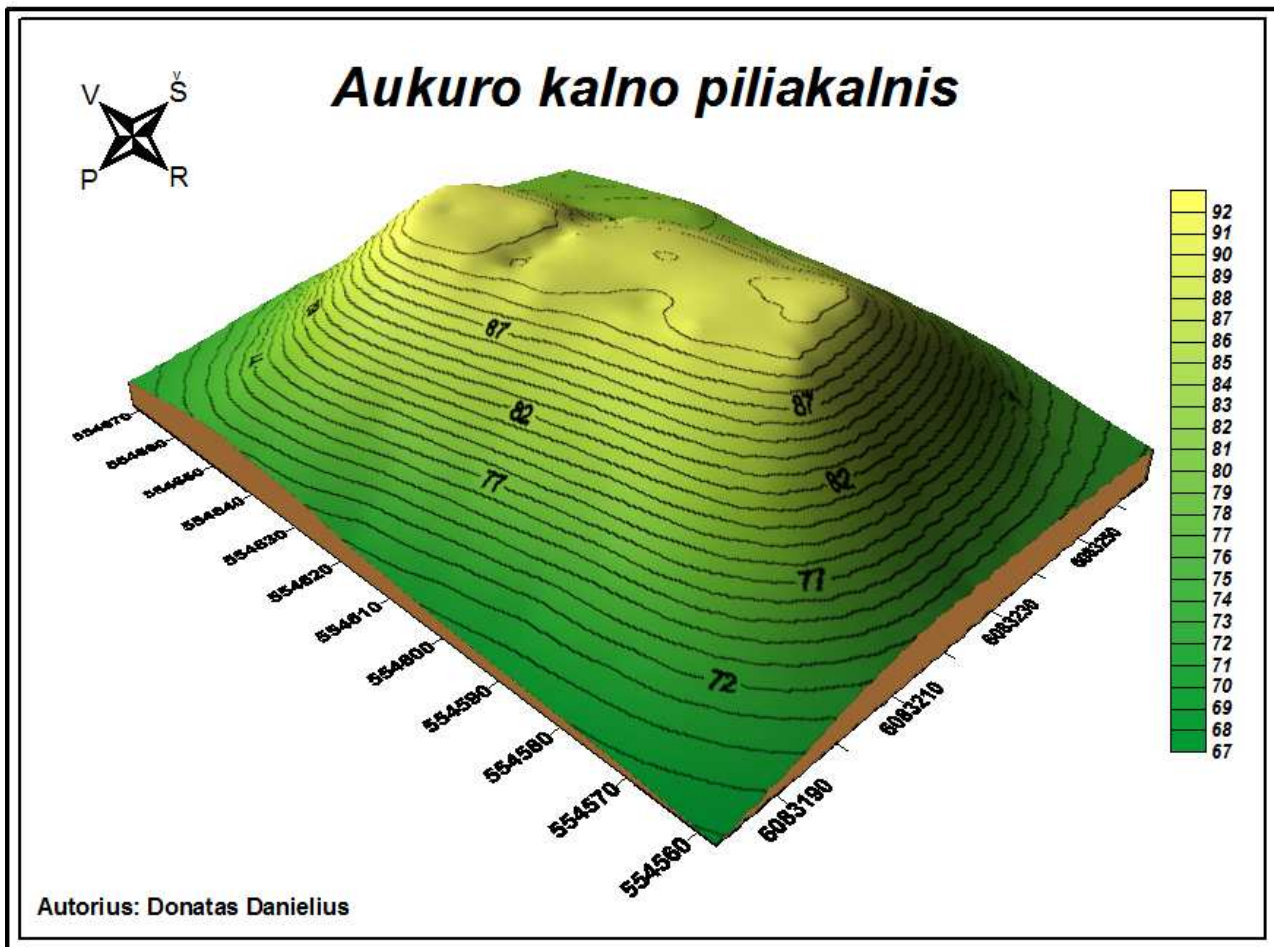
Vienas labiausiai paplitusių reljefo vaizdo pateikimo būdų yra reljefo pateikimas šešėline forma. Ši funkcija yra daugelyje kompiuterinių trimačio modeliavimo programų ir naudojama įvairiems tikslams. Antai landšafto architektūroje svarbu numatyti, kaip atrodys

vietovė, kur galimi šesėliai žvelgiant iš pasirinkto taško (Tumas, 2006). Pateikiant reljefą šiuo būdu, reikia laikytis vienos svarbios taisyklės - svarbu nustatyti šviesos šaltinį. Geriausia kai jis yra šiaurės vakarų pusėje (šią taisyklę, kartografiškai pasiskolino iš dailės (MacEachren, 1995)), 45° kampu nuo žemėlapių centro. Jei šviesos šaltinis nustatomas kitur, pavyzdžiui pietuose, kas atrodytų natūralu šiaurinio pusrutulio gyventojams, žemėlapių vartotojai gali klaidingai suprasti kai kurias reljefo formas, pavyzdžiui vietoje slėnių matyti kalnus ir pan. Tai aiškiai matyti 18 paveiksle. Tokią reljefo inversiją natūraliai sukelia žmogaus smegenys.



18 pav. Reljefo pateikimas, kada šviesos šaltinis šiaurės vakaruose (kairėje) ir pietuose (dešinėje).

Remiantis minėtomis trimačio reljefo vizualizacijos taisyklėmis, kompiuterinėmis 3D modeliavimo programa SURFER 8 sukurtas Aukuro kalno piliakalnio skaitmeninis reljefo modelis (19 pav.) bei Terragen, fotorealistiško trimačio reljefo pateikimo, programa sukurtas fotorealistiškas to paties piliakalnio portretas (20 pav.). Abiems piliakalnio modeliams panaudoti GPS duomenys.



19 pav. Aukuro kalno piliakalnis, sudarytas SURFER 8 programa.



20 pav. Aukuro kalno piliakalnis, sukurtas Terragen programa.

Rezultatai ir išvados

1. Vystantis kompiuterinėms trimačio modeliavimo technologijoms, kuriami patrauklūs skaitmeniniai trimačiai reljefo modeliai, ko pasekoje vartotojų požiūris į trimačius reljefo pateikimo būdus vystosi teigiama linkme.
2. Iš visų pirminių geografinių duomenų surinkimo šiuolaikinių metodų, GPS metodas yra patogiausias kuriant nedidelių teritorijų skaitmeninius reljefo modelius, jis nereikalauja didelių laiko sąnaudų bei personalo, o duomenys gauti GPS imtuvais yra aukšto tikslumo.
3. Naudojant šiuolaikinį profesionalų didelio tikslumo GPS imtuvą bei pritaikant SURFER 8.0 reljefo projektavimo programą, sukurtas Aukuro kalno piliakalnio trimatis skaitmeninis modelis, tenkinantis didelio tikslumo matavimų reikalavimus.
4. Skaitmeninių trimačių reljefo modelių kūrime reikia pritaikyti tinkamiausią interpoliavimo metodą priklausomai nuo sprendžiamo uždavinio, atsižvelgiant į reljefo pobūdį, tinkamą metodo grafinę išraišką, atsirandančias paklaidas bei kompiuterio techninius parametrus.
5. Trimačių skaitmeninių reljefo modelių vizualizavimui reikia pasirinkti programines priemones tenkinančias korektiško trimačio vizualizavimo praktiškumo, kartografinio dizaino, modeliavimo ir demonstravimo funkcijas bei naudoti tinkamus vizualizavimo būdus.

Literatūros ir kitų informacijos šaltinių sąrašas

Knygos

1. Tumas R. (2006). *Aplinkos geoinformacijos sistemos*. Vilnius: Enciklopedija.
2. Živatkauskas A., Sližienė G., Kriaučiūnaitė-Neklejonovienė V., Venckus S., Stravinskienė V., Sližys J. (2008). *Geodezija*. Mokymosi priemonė.
3. Dorling D., Fairbairn D. (1997). *Mapping. Ways of representing the world*, Harlow: Pearson education.
4. Kraak M., Ormeling F. (2003). *Cartography: Visualization of geospatial data; Second edition*. Harlow: Pearson Education.
5. MacEachren, A. M. (1995). *How maps work*, New York: Guildford Press.
6. Салищев К. А. (1982). *Картоведение*, Москва: МУ.

Straipsniai žurnaluose

1. Bautrėnas A. (2000). Reljefo automatizuoto kartografavimo galimybės. *Geografijos metraštis* 33: 391-397.
2. Kumetaitienė A. (2006). Skaitmeninio reljefo modelio sudarymas skirtingais geostatiniiais reljefo modeliavimo metodais. *Geografija* 42 (1): 28 – 32.
3. Kumetaitis A. (2004). Skaitmeninio reljefo modelio sudarymas ir tobulinimas geostatiniiais metodais. *Geodezija ir kartografija* 30 (1): 29 - 34.
4. Phillips R. J., Noyes L., (1978). An objective comparison of relief maps produced with the SYMAP and SYMVU programs. *Bulletin of the Society of University Cartographers*. 12 (2): 13-25.
5. Sulebak J. R. (2000). Application of digital elevation models, DYNAMAP project: “White paper”.

6. Wood M., Pearson D. G., Calder C., Miller D. (2005). The comparative effects of 2D and 3D representations on human wayfinding. ICA-CMC-Session, Coruña, Spain.

Internetas

www.topcon.lt

www.mountaincartography.org/publications/papers/papers_bohinj_06/16_Petrovic_Masera.pdf

www.acsm.net/sessions03/VendorSolutions42b.pdf

www.isprs.org/congresses/istanbul2004/comm2/papers/231.pdf

www.goldensoftware.com

Priedas 1

Aukuro kalno piliakalnio x, y ir z koordinatės išmatuotos GPS metodu.

6083216	554646	91,577
6083214	554644	91,634
6083212	554642	91,619
6083209	554640	90,431
6083212	554630	90,756
6083213	554618	89,707
6083214	554605	88,175
6083218	554606	89,633
6083220	554597	90,734
6083223	554584	89,901
6083234	554584	89,66
6083241	554590	90,969
6083248	554595	88,018
6083250	554600	87,389
6083249	554607	87,891
6083245	554604	88,438
6083240	554602	90,396
6083246	554617	88,661
6083238	554617	90,443
6083242	554630	88,276
6083239	554633	87,267
6083237	554639	89,165
6083233	554643	90,226
6083230	554649	90,74
6083225	554651	91,267
6083220	554649	91,455
6083220	554643	91,347
6083225	554637	91,417
6083231	554634	91,211
6083226	554631	91,539
6083220	554630	90,939
6083220	554627	89,983
6083217	554627	89,637
6083214	554626	90,447
6083218	554623	90,608
6083217	554630	90,82
6083216	554619	90,521
6083224	554616	90,58
6083229	554611	90,98
6083235	554609	90,864
6083227	554604	90,586
6083222	554607	89,383
6083217	554605	89,609
6083224	554598	90,744

6083225	554604	90,246
6083231	554598	90,907
6083230	554593	90,879
6083227	554589	90,72
6083231	554588	91,159
6083239	554587	90,796
6083239	554604	90,507
6083231	554619	90,927
6083228	554626	91,083
6083227	554628	90,133
6083226	554631	91,518
6083212	554639	91,465
6083253	554640	80,582
6083250	554652	80,806
6083245	554666	81,123
6083236	554671	78,955
6083243	554669	80,56
6083227	554672	77,266
6083217	554670	76,796
6083205	554666	76,483
6083197	554661	75,937
6083187	554653	75,042
6083182	554648	73,716
6083181	554639	72,67
6083184	554619	71,797
6083186	554604	71,557
6083188	554593	71,394
6083189	554579	71,263
6083194	554568	71,694
6083202	554561	72,101
6083211	554558	72,602
6083225	554558	73,075
6083235	554559	73,597
6083249	554564	74,791
6083259	554570	75,592
6083266	554576	76,097
6083269	554587	76,934
6083268	554596	77,937
6083268	554607	78,682
6083264	554619	79,624
6083259	554628	80,017
6083256	554635	80,257
6083252	554630	84,064
6083247	554626	87,131
6083250	554622	85,782
6083255	554619	83,006
6083259	554612	81,948
6083254	554609	85,03
6083256	554601	84,584
6083262	554600	81,258
6083263	554590	80,093
6083256	554588	83,564

6083248	554587	87,371
6083251	554582	84,234
6083255	554577	79,912
6083254	554573	77,977
6083246	554570	78,347
6083240	554574	82,313
6083236	554579	86,012
6083227	554575	84,067
6083228	554568	78,676
6083216	554566	77,728
6083209	554569	77,805
6083212	554577	82,301
6083207	554582	81,255
6083199	554580	76,084
6083196	554589	75,319
6083203	554595	79,892
6083206	554602	83,247
6083202	554611	81,536
6083194	554610	76,47
6083190	554621	75,519
6083193	554627	78,255
6083202	554631	84,8
6083199	554638	83,566
6083199	554645	83,494
6083193	554646	79,226
6083190	554650	77,182
6083198	554655	79,023
6083205	554658	80,835
6083211	554655	84,872
6083217	554660	83,738
6083220	554664	81,266
6083220	554664	81,272
6083226	554668	80,282
6083235	554660	86,161
6083227	554659	86,83
6083240	554661	84,201
6083237	554652	86,998
6083244	554651	84,022
6083238	554647	87,325
6083243	554645	84,802
6083242	554640	86,617
6083250	554641	81,588
6083238	554635	87,826
6083234	554634	89,963
6083225	554627	90,411
6083224	554628	90,359
6083234	554630	89,446
6083233	554631	89,416
6083239	554632	87,279
6083239	554633	87,248
6083244	554634	86,005
6083244	554635	86,012

6083255	554638	80,722
6083254	554639	80,793
6083255	554638	80,515
6083254	554639	80,528
6083256	554644	80,639
6083255	554645	80,665
6083257	554646	80,74
6083261	554643	80,755
6083260	554639	80,543
6083262	554638	80,679
6083265	554639	80,768
6083262	554638	80,66
6083264	554636	80,674
6083258	554633	80,134

BAIGIAMASIS PUSLAPIS

Darbo autorius: Donatas Danielius
(parašas)

Mokslinis vadovas: prof., habil. dr. A. Česnulevičius
(parašas)

Recenzentas: doc. A. Baurėnas
(parašas)

Atsakingas už darbo parengimą: GMF Kartografijos centras
Kartografijos centro vedėjas:

doc. Albinas Pilipaitis
(parašas)

Įvertinimas:.....
(balas, balas raštu)

Baigiamųjų magistro darbų gynimo
Komisijos pirmininkas

.....
(m. v., m. l., v. pavardė, parašas)
200.....m.... mėn.d.
(darbo gynimo data)