



**VILNIAUS UNIVERSITETAS
GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
KARTOGRAFIJOS CENTRAS**

Agnė Damaševičiūtė

**RELJEFO GENERALIZACIJOS METODOLOGIJA
LIDAR DUOMENŲ PAGRINDU**

**METHODOLOGY OF LANDFORM GENERALIZATION
BASED ON LIDAR DATA**

Baigiamasis magistro darbas

Studijų programa – Kartografija

Vadovas: prof. habil. dr. Algimantas Česnulevičius

Damaševičiūtė A. Reljefo generalizacijos metodologija LiDAR duomenų pagrindu. Magistro darbas. Vilnius: VU. 2016.

Anotacija. Pastaruoju metu geografinėi informacijai apie erdvinį žemės paviršių kaupti taikomas efektyvus vietovės skenavimo (zondavimo) lazeriu iš orlaivio metodas *LIDAR (Light Detection and Ranging)*. Skenuojant gaunama nereguliari labai tanki taškinė trijų dimensijų žemės paviršiaus objektų išdėstymą modeliuojanti geometrinė informacija. Šios informacijos pritaikymo spektras itin platus – reljefo analizė (pvz.: nuolydžiai, šlaitų ekspozicijos) geomorfologiniams tyrimams, hidrologiniams matavimams bei topografiniams duomenims kaupti, naujų pastatų modeliavimui, duomenų atnaujinimui ir kadastrinių duomenų palaikymui, medžių registrui ir t.t. Tačiau nepriklausomai nuo erdvinių duomenų panaudojimo srities ar pateikimo, lazerinio skenavimo būdu gauta taškinė trijų dimensijų žemės paviršiaus objektų išdėstymą modeliuojanti geometrinė informacija yra pernelyg didelės apimties analizėms atvaizduoti. Dėl šios priežasties žemėlapyje vaizduojami ne visi, bet rinktiniai objektai ar reiškiniai. Šių objektų pasirinkimas priklauso nuo kartografinės generalizacijos. Darbo objektas – reljefo generalizacijos metodai, panaudojant žemės paviršiaus lazerinio skenavimo (LIDAR) duomenis. Darbo tikslas – LIDAR duomenų panaudojimo reljefo vaizdo generalizacijai galimybių įvertinimas ir optimizuotos tyrimų metodikos sukūrimas. Darbo tikslui pasiekti buvo išsikelti uždaviniai išanalizuoti LIDAR panaudojimo galimybes reljefo kartografavimui, išanalizuoti reljefo vaizdo generalizacijos metodų galimybes, įvertinti skaitmeninių reljefo generalizacijos metodų efektyvumą bei optimizuoti reljefo generalizacijos metodiką LIDAR duomenų pagrindu. Tyrimo hipotezė – labiau apibendrintas vaizdas gaunamas padidinus izohipsių intervalą, ko pasekoje gaunamas sumažėjęs reljefo formų išreikštumas. Įvykdžius uždavinius buvo gauti atitinkami darbo rezultatai: aukščių kontūrų duomenų generalizacija paprastai yra nulemta kraštovaizdžio elementų įvairovės. Pasirinkus netinkamą izohipsių laiptą, rizikuojama netekti daug svarbių reljefo parametrų, kurie galėtų būti reikalingi atliekant tolimesnius tyrimus; reljefo formų išreikštumo sumažėjimas tampa ypač akivaizdus smulkaus mastelio reljefo formose, kurios tiesiog pranyksta. Šios prarastos reljefo formos tik parodo, kaip svarbu yra parinkti tinkamą izohipsių laiptą tam tikram kraštovaizdžio tipui; vizualiai atpažinti ar atvaizduoti reljefo struktūras baziniame žemėlapyje nėra lengva, todėl labai svarbi užduotis – sugebėti atpažinti plika akimi nepastebimas erdvines reljefo struktūras ir jų tarpusavio sąsajas; automatinio generalizavimo įgyvendinimas priklauso nuo sėkmingo žmogiškųjų žinių perteikimo loginėmis taisyklėmis ir algoritmais, plėtojant skaičiavimo metodus, įrankių dizainą ir modelių kūrimą.

Tekstas 73 psl., 47 pav., 3 lentelės. Santrauka lietuvių ir anglų kalbomis.

Raktažodžiai: LIDAR, kartografinė generalizacija, reljefas, modeliavimas, geografinė informacinė sistema, GIS

Turinys

| | |
|---|----|
| Įvadas..... | 3 |
| 1. Reljefo kartografinės generalizacijos raidos apžvalga..... | 5 |
| 2. Darbo metodologija..... | 9 |
| 3. Reljefo vaizdavimo būdų raida | 21 |
| 3.1. Reljefo tyrimų ir vaizdavimo raida pasaulyje..... | 22 |
| 3.2. Reljefo tyrimų ir vaizdavimo raida Lietuvoje..... | 24 |
| 4. Reljefo generalizacijos metodai panaudojant LiDAR duomenis | 28 |
| 4.1. Pusiau automatinis generalizacijos metodas | 30 |
| 4.2. Automatinis generalizacijos metodas | 62 |
| 5. Reljefo generalizacijos metodų optimizavimo galimybės | 63 |
| Išvados..... | 66 |
| Naudota literatūra | 67 |

Įvadas

Žemės paviršius vaidina ypatingą vaidmenį modeliuojant atmosferinius, hidrologinius, ekologinius ir geomorfologinius procesus. Paviršiaus ir procesų sąryšis yra toks svarbus, kad supančios aplinkos suvokimas gali tiesiogiai informuoti apie minėtų procesų mastus. Programos, kurios išnaudoja šių sąryšių žinias dažniausiai remiasi skaitmeniniais reljefo modeliais. Šie modeliai tampa vis svarbesni skaitmeniniams žemėlapiams kurti bei geografinėms analizėms atlikti. Plėtojantis skaitmeninėms ir lazerinėms technologijoms, atsirado naujų trimačių tikrovės modelių kūrimo priemonių, todėl vis populiarsnis tampa lazerinio skenavimo metodu surinktų duomenų taikymas reljefui modeliuoti.

Pastaruoju metu geografinėi informacijai apie erdvinį žemės paviršių kaupti taikomas efektyvus vietovės skenavimo (zondavimo) lazeriu iš orlaivio metodas *LIDAR (Light Detection and Ranging)*. Skenuojant gaunama nereguliari labai tanki taškinė trijų dimensijų žemės paviršiaus objektų išdėstymą modeliuojanti geometrinė informacija. Šios informacijos pritaikymo spektras itin platus – reljefo analizė (pvz.: nuolydžiai, šlaitų ekspozicijos) geomorfologiniams tyrimams, hidrologiniams matavimams bei topografiniams duomenims kaupti, naujų pastatų modeliavimui, duomenų atnaujinimui ir kadastrinių duomenų palaikymui, medžių registrui ir t.t.

Nepriklausomai nuo erdvinį duomenų panaudojimo srities ar pateikimo, lazerinio skenavimo būdu gauta taškinė trijų dimensijų žemės paviršiaus objektų išdėstymą modeliuojanti geometrinė informacija yra pernelyg didelės apimties analizėms atvaizduoti. Dėl šios priežasties žemėlapyje vaizduojami ne visi, bet rinktiniai objektai ar reiškiniai. Šių objektų pasirinkimas priklauso nuo kartografinės generalizacijos.

Darbo objektas – reljefo generalizacijos metodai, panaudojant žemės paviršiaus lazerinio skenavimo (LIDAR) duomenis.

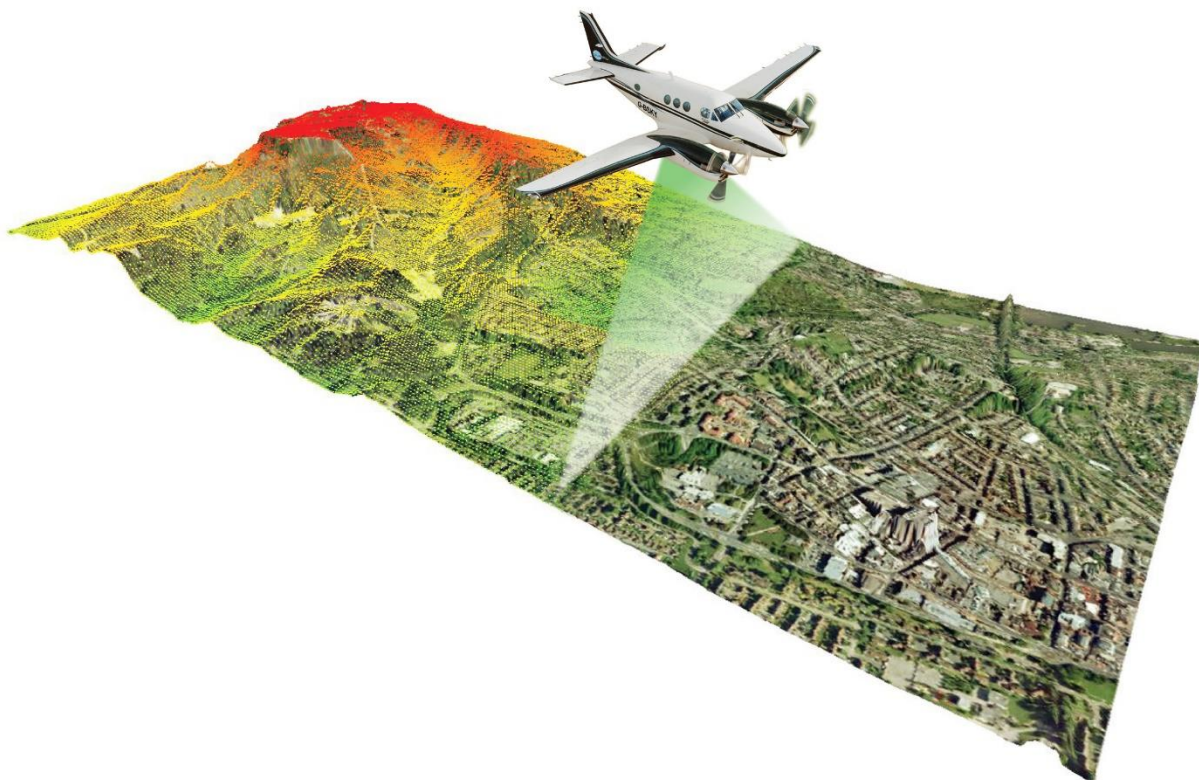
Darbo tikslas – LIDAR duomenų panaudojimo reljefo vaizdo generalizacijai galimybių įvertinimas ir optimizuotos tyrimų metodikos sukūrimas.

Darbo tikslui pasiekti buvo išsikelti **uždaviniai**:

1. Išanalizuoti LIDAR panaudojimo galimybes reljefo kartografavimui
2. Išanalizuoti reljefo vaizdo generalizacijos metodų galimybes;
3. Įvertinti skaitmeninių reljefo generalizacijos metodų efektyvumą;
4. Optimizuoti reljefo generalizacijos metodiką LIDAR duomenų pagrindu.

Tyrimo hipotezė – labiau apibendrintas vaizdas gaunamas padidinus izohipsių intervalą, ko pasekoje gaunamas sumažėjęs reljefo formų išreikštumas.

Dabartinėse geografinėse informacinėse sistemose reljefo kartografavimas dažnai yra viena iš pagrindinių žemėlapių dalių. Kita vertus, reljefo izohipsių sudarymo procesas nėra toks paprastas, kaip gali pasirodyti. Siekiant sukurti duomenis daugiausia problemų sukelia „ArcGIS“ programinės įrangos įrankių sudėtingas pritaikymas. Kita problema yra ta, kad šiais laikais nėra sudėtinga surinkti tikslius ir kokybiškus duomenis tokius kaip LIDAR duomenys, tačiau juos apdoroti reikalinga galinga kompiuterinė įranga.



1 pav. LIDAR duomenų gavimas (<http://lidar-america.com>)

Negalima teigti, kad šis darbas yra naujas pasauliniu požiūriu. Daug mokslininkų užsienio universitetuose tyrinėja LIDAR duomenų pritaikymo perspektyvas ir generalizacijos metodų efektyvinimo procesus. Situacija Lietuvoje yra kitokia, todėl Lietuvos mastu šis darbas vis dar aktualus. Ši tema aktuali geomorfologams, geologams, kraštotvarkininkams, bei daugelio kitų sričių specialistams tiriantiems ir analizuojantiems procesus vykstančius žemės paviršiuje, prognozuojantiems ateities perspektyvas.

1. Reljefo kartografinės generalizacijos raidos apžvalga

Lietuvos Žemės paviršiaus atvaizdavimo metodai istoriniais laikotarpiais kito, stengtasi Žemės paviršiaus formas teikti kuo vaizdžiau ir tiksliau. Senuosiuose žemėlapiuose kalnai buvo atvaizduojami perspektyviniais kalnų piešiniais. 1718 m. H. J. Baptista (1663–1724) pirmą kartą kalnų šlaitus pavaizdavo plonais radialiniais brūkšneliais. Šis metodas paplito XVIII a. viduryje, o XIX a. pradžioje pripažintas visuotinai. XVIII a. pabaigoje Saksonijos kartografas J. G. Lėmanas (1765–1811) reljefui atvaizduoti pasiūlė štrichavimo metodą, pagrįstą paviršiaus apšvietimo dėsnium, statumą išreiškiant dviejų spalvų linijomis. Šis metodas žinomas štrichinis reljefo kartografavimo būdas. Horizontalių metodas pirmą kartą taikytas Prancūzijos topografiniui nuotraukai, kuri buvo atlikta 1730–1780 metais. Izohipsių juostos pirmą kartą skirtingomis pereinamosiomis spalvomis buvo nuspalvintos 1835 metais Skandinavijos M 1:500 000 žemėlapyje. Vaizdžiausia reljefo išraiškos forma laikytinas šešėlinimo būdas. Skaitmeninės technologijos laikais reljefo modeliuose reljefas interpretuojamas spalvine skale, spalvų intensyvumu, imituojant šlaitų apšvietimą ir pan (Girkus, Lukoševičius, 2005).

Pirmuoju Lietuvos reljefo modelio sudarytojas yra Povilas Matulionis (1860–1932). Jo sudarytas reljefo modelis „Lietuvių ir latvių žemė“ 1922 m. Smolenske „Vilijos“ fabrike buvo išlietas iš gipso. Reljefo modelio 45×49 cm stačiakampis apima lietuvių ir latvių istorines žemes ir jų pakraščius. Reljefo modelio horizontalus mastelis – 1:1 260 000, vertikalus – 1:10 000. Modelio autoriaus parengtame apraše „Lietuvių ir latvių žemė“ nurodomos modelio kraštų dienovidinių nuo Grinvičo ir lygiagrečių geografinės koordinatės. Modelyje jos išbrėžtos ir reikšmės pažymėtos kas 1°. Apraše išvardyti modelyje atvaizduoti kalvynai, nurodomi žymiausių viršukalnių aukščiai metrais virš jūros lygio. Pateikiama duomenų apie svarbesnes upes, jų ištakų aukščiai virš jūros lygio bei upių ilgiai kilometrais (Girkus, Lukoševičius, 2005).

Susisiekimo ministerijos hipsometrinis žemėlapis (M 1:300 000) sudarytas Hidrometrijos biure, kuriam vadovavo S. Kolupaila. Jis buvo šio vadinamojo „Lietuvos upių ir jos baseinų hipsometrinių ir hidrografinio žemėlapių“ redaktorius, o sudarytojas – biuro darbuotojas S. Mižutavičius. Žemėlapis apima teritoriją ir į rytus bei pietus už Lietuvos ribų besitęsiančias aukštumas. Žemėlapiui sudaryti panaudota turima kartografinė M 1:84 000 (rusų) ir M 1:100 000 (vokiečių) medžiaga, pažymint didesnius vietovės pokyčius ir lietuvinant vietovardžius. Reljefas pavaizduotas horizontalėmis kas 20 m ir hipsometrines skalės spalvinėmis juostomis kas 40 m, jūros dugnas išreikštas izobatėmis – 5, 10, 20 ir t. t. metrų gylis (Girkus, Lukoševičius, 2005).

Karo topografijos skyriaus žemėlapis – Lietuvos krašto apsaugos ministerijos Vyriausiojo štabo 1933 m. M 1:400 000 leidinys – du sugretinami lapai. Lietuvos teritorijos žemėlapis sudarytas pagal buvusią rytinę sieną, 1920 m. patvirtinus sutartį su Sovietų Rusija. Jame Lietuvos paviršiaus

nelygumai kartografuoti horizontalėmis, kurių laiptas buvo 20 m, Baltijos jūros šelfe – izobatėmis, kurių laiptas 10 m, o Kuršių mariose – izobatėmis, kurių laiptas 2 m. Žemėlapis išleistas penkių modifikacijų, trys iš jų – su reljefu. Sudarant žemėlapių naudotasi 1:84 000 mastelio rusiškais ir 1:100 000 mastelio vokiškais žemėlapiais, kadangi lietuviškas 1:100 000 mastelio žemėlapis dar tik buvo pradėtas rengti (Girkus, Lukoševičius, 2005).

1988 metais Valstybiniame žemėtvarkos institute, Kauno kartografijos skyriaus darbuotojų pastangomis sudarytas 1:300 000 mastelio Lietuvos reljefo žemėlapis. Keleto žemėlapių, kuriuos rengė kartografijos skyrius, mastelis buvo priderintas prie jau turimo matematinio ir geografinio pagrindo. Reljefo žemėlapiui buvo nusistatytas 20 m horizontalių laiptas, aukščių juostoms spalvinti – 16 atspalvių skalė, kas suteikė žemėlapiui spalvingumo. Sudarant žemėlapių naudotasi tarybiniais topografiniais 1:100 000 – 1:200 000 mastelio žemėlapiais. Lietuvos užribio teritoriją žemėlapių lapuose stengtasi užpildyti scheminiais žemėlapiais iš LTSR atlaso (polinkio kampai, geomorfologinis žemėlapis) bei naujai sudarytomis orografinėmis ir hidrografinėmis schemomis, kuriose išskirtos stambiosios Lietuvos reljefo formos ir upių baseinai. Žemėlapyje lokalizuoti ir įvardyti aukščiausieji ir žemiausieji taškai. Legendoje teikiama lentelė su duomenimis apie aukštumų viršugalvių absoliutų aukštį (Girkus, Lukoševičius, 2005).

V. Kvietkausko morfografinis žemėlapis rengtas Lietuvos TSR atlasui. Tai vaizdžiausias reljefo žemėlapis - žymėta keturių spalvų metodu, reljefui atvaizduoti derinant kintamo intensyvumo spalvų fonus. Geltona spalva rodo absoliutų aukštį, pilka – nuolydį, raudona – išgaubtą, o mėlyna – įgaubtą paviršiaus kreivumą. Manoma, kad šis metodas padeda detaliau pavaizduoti pakopas, lūžius, briaunas ir kt., ko neįstengiama išgauti izohipsių metodu. Savo originalų metodą V.Kvietkauskas aprašė keliuose moksliniuose straipsniuose bei daktaro disertacijoje (Kvietkauskas, 1973).

Lietuvai atgavus nepriklausomybę Vakarų Europos valstybės pradėjo teikti Lietuvai naujų technologijų diegimo, taip pat ir kartografijos reikmėms, pagalbą. Taip Lietuvą pasiekė skaitmeninės technologijos, pritaikytos kartografiniams kūriniams kurti (Girkus, Lukoševičius, 2005).

Distancinių tyrimų ir geoinformatikos centro (GIS-Centras) – Lietuvos geoinformacinė duomenų bazė GDB 200, sukurta M 1:200 000 topografinių žemėlapių pagrindu. Šioje bazėje reljefo elementai teikiami dviem sluoksniais: horizontalėmis ir aukščio bei vandens lygio taškų duomenimis. 2001 m. GIS-centras Lietuvos visuomenei pateikė populiarų šalies reljefo spaudinį (M1:1 000 000). Reljefas žymimas kaitaliojant žalsvos gelsvos spalvos intensyvumą, iškilias reljefo vietas išreiškiant pagal įstrižinio apšvietimo dėsnius ir taip sudarant iškilumo įvaizdį (Girkus, Lukoševičius, 2005).

Aerogeodezijos instituto Lietuvos reljefo žemėlapis atspausdintas 2005 m. pradžioje 1:300 000 masteliu. Vizualiai žemėlapis primena 1990 m. Žemėtvarkos instituto žemėlapi. Šie žemėlapiai tapatūs masteliu, aukščių laiptu ir dviem paskirties tarpais už rėmelio. Naujojo žemėlapiro

privalumas – turinio atnaujinimas ir tai, kad pažymėta gausiau 1 m tikslumu fiksuotų charakteringų vietovės žemės paviršiaus taškų. Žemėlapyje įbraižytas geografinis tinklelis, kurio nebuvo ankstesniajame žemėlapyje dėl sovietinio laikotarpio slaptumo nuostatų (Girkus, Lukoševičius, 2005).

Pirmasis kartografinės generalizacijos problemas ėmėsi nagrinėti vokiečių kartografas Karlas Ekertas. Į generalizaciją jis žiūrėjo kaip į subjektyvų procesą, kuri būtina objektyvizuoti. Tačiau iki 3 – 4 dešimtmečio kartografinė generalizacija buvo suvokiama kaip labai subjektyvus procesas, kuri dar labiau komplikuoja žemėlapių tema. XX amžiaus pirmoje pusėje kartografinės generalizacijos tyrimai buvo orientuoti į topografinių žemėlapių generalizacijos principų kūrimą. Per kelis dešimtmečius pavyko sunorminti topografinę generalizaciją. Tam įtakos turėjo topografinių žemėlapių specifika: objektų kartografavimas, fiksuota mastelių eilė, apibrėžti žemėlapių komponentai. Sukurtus topografinės generalizacijos principus bandyta mechaniškai perkelti į teminę kartografiją. Toks perkėlimas nedavė efekto: temų įvairovė, mastelių įvairovė, neapibrėžtas žemėlapių turinys. Kiek geriau kartografinės generalizacijos norminimą pavyko atlikti gamtinių reiškinių kartografavime, ypač ten, kur buvo kuriami įvairiamasteliniai žemėlapiai, apimantys visą šalies teritoriją: geologiniai, dirvožemių, miškų, žemės naudmenų. Be to, pasirodė darbai, kuriuose buvo nagrinėjamos ir konstruojamos įvairiamastelinių teminių žemėlapių legendos. Daliai kai kurių žemėlapių elementų buvo sukurtos tipinės legendos (Girkus, Lukoševičius, 2005).

Unifikavimo problemos teminėje kartografijoje siejosi su labai svarbia generalizacijos problema – aiškios ribos tarp svarbiausių ir antraeilė reiškinių nustatymas. Be to, nemažiau svarbi buvo ir išorinė generalizacijos pusė – žemėlapių informacinės apkrovos riba. Buvo ieškoma būdų nustatyti maksimalų ir optimalų ženklų kiekį žemėlapių ploto vienetu, susiejant visa tai su žemėlapių tema. Tyrimų rezultatas buvo “kvadratinės šaknies” principas: jeigu žemėlapių mastelis skiriasi dešimt kartų, tai vaizduojamų elementų skaičius turi skirtis kvadratinės šaknies rezultatu. Kartografinės generalizacijos problemas nagrinėjo Vienos mokyklos kartografai: E. Arnbergeris, I. Krečmer. 1978 metais I. Krečmer paskelbė veikalą “Teminės informacijos generalizacija – pagrindinė mokslinių žemėlapių sudarymo problema” (Kretchmer, 1978). Krečmer nuomone generalizacija tampa kompleksiniu reiškiniu. Pagrindiniu generalizaciją lemiančiu veiksniu tampa žemėlapių tema ir mastelis. Jie formuoja turinį ir erdvę. Krečmer nuomone generalizacija atlieka tam tikrą informacijos filtravimą. Tai būtų neigiama, tačiau neišvengiama generalizacijos pusė. L. Ratajskis savo veikale “Kartologijos koncepcijos” (Ratajski, 1975), kartografinę generalizaciją apibūdino kaip procesą, kurio metu apibendrinama kiekybinė informacijos dalis ir transformuojama kokybinė informacijos dalis. Informacijos transformacija reikalauja konkretaus mokslo specialiųjų žinių, tuo tarpu apibendrinimas – greičiau suapvalinimo veiksmas. Savitą kartografinės generalizacijos sampratą turėjo A. Aslanikašvilis. Jis visos žemėlapyje esančios informacijos generalizaciją skyrė į dvi

sudedamąsias: turinio apibendrinimas ir tūrio apibendrinimas. Tūrio apibendrinimas – tai perėjimas prie aukštesnio klasifikacinio lygmens ir žemėlapių legendos struktūros pakeitimas. Turinio apibendrinimas – tai perėjimas prie sintetinių rodiklių naudojimo (Girkus, Lukoševičius, 2005).

2. Darbo metodologija

Nuo 1999 m. Žemės paviršiui tyrinėti bei erdvinei informacijai kaupti pradėtas taikyti naujas metodas LIDAR (*Light Detection and Ranging*). Šiuo metodu vietovė lazeriniu skeneriu skenuojama iš orlaivio. Specialus prietaisas, įmontuotas lėktuve, siunčia lazerio spindulio impulsus į Žemės paviršių, šie atsispindėję grįžta atgal. Fiksuojama lazerio impulsų nuo išspinduliavimo momento iki atsispindėjimo nuo objekto laiko trukmė. Lėktuve įrengta globali pozicionavimo sistema (GPS). Ja nustatoma lazerinės skenavimo sistemos padėtis erdvėje. Kameros posvyrio ir posūkio kampams nustatyti lėktuve įrengta inercinė matavimų sistema (IMU). Vietovės taškų padėtis apskaičiuojama pagal signalo sklidimo laiko tarpą, orlaivio padėtį ir skenerio orientavimą erdvėje (Rusonytė, Kairienė, 2010).

Skenavimo lazeriu principas – žemės paviršius skenuojamas (tiriamas) pasyviuoju būdu (aerofotografija) – registruojamos nuo Žemės paviršiaus atsispindėjusios (saulės spindulių) arba spinduliuojamos (terminės radiacijos) elektromagnetinės bangos – ir aktyviuoju būdu – registruojama iš orlaivyje įrengto jutiklio siunčiama energija (lazerio spinduliai ar radijo bangos). Specialus prietaisas, įmontuotas lėktuve ar sraigtasparnyje, siunčia lazerio spindulio impulsus (*pulsed laser*) į Žemės paviršių, šie atsispindėję grįžta atgal. Vietovę skenuojant lazeriu iš oro (*ALS – Airborne Laser Scanning*) fiksuojama lazerio impulsų nuo išspinduliavimo momento iki atsispindėjimo nuo objekto (taikinio) laiko trukmė (Pilipaitis, 2011).

Lazerio spinduliu vietovės paviršius skenuojamas išilgai arba skersai lėktuvo skrydžio krypties tam tikro pločio ištisiniais ruožais, ir gaunamas milijoninis trijų dimensijų (3D) labai tankus taškų rinkinys, vadinamas taškų debesimi. Taškų tankis gali būti iki kelių dešimčių taškų ir daugiau viename paviršiaus kvadratiname metre (Pilipaitis, 2011).

Skenavimo ruožo plotis yra 0,5-0,9 skrydžio aukščio. Ruožai tarpusavyje sudaro sanklotą. Erdviniams skenavimo ruožams sujungti parenkami ryškių kontūrų paviršiai – dažnai nuožulnios pastatų stogų plokštumos su mažiausiai keturiais fiksuotaisiais taškais. Sukuriamas georeferencinis vietovės pagrindas (Pilipaitis, 2011).

Lazerio spindulio atspindžio energija silpnėja. Spindulio charakteristika priklauso ir nuo skenuojamojo paviršiaus. Lazerio spindulio atspindžio geba: smėlio – 10-20 %, augalijos – 30-50 %, sniego ar ledo – 50-80 % (Pilipaitis, 2011).

Kiekvienas išspinduliuotas lazerio impulsas gali atsispindėti po keletą kartų (nuo Žemės paviršiaus, medžių lajos viršūnės, elektros linijų ar stulpų ir kt.). Šis daugkartinis grįžtamasis signalas analizuojamas ir, apdorojus gautą informaciją, atsižvelgiant į atspindžio intensyvumą, interpretuojama, koks objektas registruojamas (Pilipaitis, 2011).

Lazerinio skenavimo rezultatų kokybė priklauso nuo taškų debesies tankumo. Pavyzdžiui, labai

tiksliai nustatomi medžių arba statinių aukščiai, jei taškų 1 m^2 daugiau kaip 16. Lazerinės nuotraukos efektyvumui bei pavienių objektų išrinkimo galimybei tirti skenavimui pageidautina parinkti 3 tipų vietovę: neužstatytą teritoriją, kurioje pavieniai statiniai yra nesudėtingos formos; tankiai užstatytą teritoriją, kurioje statiniai yra nesudėtingos formos, tačiau jų yra labai daug (apie keletas šimtų); užstatytą teritoriją, kurioje yra labai daug ir sudėtingos konfigūracijos statinių (Pilipaitis, 2011).

Aeroskenavimas gali būti vykdomas iš tam pritaikytų įprastų lėktuvų arba iš malūnsparnių. Oro priemonėje sumontuota techninė įranga, reikalinga skenavimui, susideda iš dviejų pagrindinių elementų: lazerinio skenavimo sistemos, kuri matuoja atstumą tarp taškų Žemės paviršiuje ir skenerio, esančio lėktuve, bei GPS/ IMU sistemų kombinacijos, užtikrinančios tikslų sistemos padėties erdvėje fiksavimą ir orientavimą. Šios sistemos, veikiančios tarpusavyje sinchroniškai, yra nepriklausomos nuo saulės šviesos ir gali veikti tiek dieną, tiek ir naktį. Ši galimybė vykdyti tyrimus tiek dienos, tiek ir nakties metu ženkliai padidina šios sistemos efektyvumą, lyginant su kitomis žinomomis technologijomis (Pilipaitis, 2011).

Orlaivyje įmontuotas lazerinis skeneris yra susietas su antžemine GPS stotimi. Ši stotis tarnauja kaip atramos stotis, atliekant žemės paviršiaus taškų erdviųjų koordinačių skaičiavimus. Atliekant didelių teritorijų žemės paviršiaus skenavimą, tam, kad besikeičiančios atmosferos sąlygos nepakenktų ryšiui tarp borto skenerio sistemų ir antžeminės GPS stoties, būtina, kad atstumas tarp užskridimo teritorijoje esančių antžeminių GPS stočių nebūtų didesnis $\leq 30 \text{ km}$. Aeroskenavimas dažnai yra dubliuojamas aerofotografavimu su vidutinės skiriamosios gebos skaitmenine kamera. Aerovaizdai, gauti šia kamera leidžia žymiai lengviau atpažinti objektus duomenų masyvuose, gautuose lazerinio skenavimo pasekoje (Pilipaitis, 2011).

Planuojant aeroskenavimo užskridimą yra nustatomas skenavimo debesies tankis į ploto vienetą, kuris priklauso nuo teritorijos topografinių charakteristikų. Šioje fazėje fiksuojamos ir kitos užskridimo charakteristikos: skrydžio aukštis, greitis, skenavimo spindulių kampas. Tinkamas skenavimo spindulių kampo reikšmės parinkimas – ypatingai svarbus aeroskenavimo parametras. Bet tai priklauso nuo reljefo pobūdžio: plokščių vietovių skenavimui, kampo reikšmė visuomet bus užsiduodama didesnė nei raižytos vietovės. Skenuojant gyvenvietes arba miškingas teritorijas būtina atsižvelgti į šešėlių efektus, o tai reiškia, kad tokiais atvejais skenavimo kampo reikšmės turi būti parinktos mažesnės, nei skenuojant plokščias teritorijas (Pilipaitis, 2011).

Priklausomai nuo IMU sistemos matavimų tėkmės charakteristikų, maksimalus užskridimo maršruto linijos ilgis svyruoja nuo 30 iki 40 km. Skersinio skenavimo linijos yra planuojamos vienodais viena nuo kitos atstumais, mažiausiai viena kiekvienam užskridimo blokui. Apdorojant duomenis, šių skersinių skenavimo linijų duomenys padeda patikrinti apjungtų maršrutų vidinį tikslumą ir sudaro skenavimo kokybės kontrolės dalį (Pilipaitis, 2011).

Skenavimo planavimas yra neatsiejamas nuo specifinio programinio aprūpinimo. Šių priemonių

tikslas – užtikrinti skenuojamos teritorijos skenavimą lygiagrečiomis maršrutų linijomis ir užtikrinti tinkamą maršrutų persidengimą. Paprastai planuojamas tarp gretimų maršrutų 20 % persidengimas. Tuo siekiama išvengti nenuskenuotų vietų tarp skenavimo maršrutų. Programinė įranga, užtikrinanti užskridimo aukštį ir skenavimo pabaigą leidžia sujungti visus projekto 3 – D žemės paviršiaus modelius maršrutų ribose į vieną visumą (Pilipaitis, 2011).

Duomenų sudarymo procesas gali būti suskirstytas į dvi dalis: pirma, antžeminės GPS stoties duomenų ir orlaivio GPS/IMU duomenų susiejimas ir, antra, gautųjų duomenų susiejimas su atstumų matavimo duomenimis. Šioms procedūroms yra sukurta įvairi programinė įranga.

Pirmas uždavinys, kuris sprendžiamas GPS/IMU sistemų pagalba, yra pataisyti orlaivio GPS matavimus antžeminės GPS stoties matavimų atžvilgiu. Tada, kai ši procedūra atlikta, šie duomenys yra susiejami su IMU sistemos matavimais tam, kad būtų galima tiksliausiai atkurti užskridimo kryptį, optimizuoti užskridimo aukštį (Pilipaitis, 2011).

Užskridimo maršruto duomenys ir atstumų matavimai yra susiejami su laiko matavimais. Šioje duomenų sudarymo fazėje įvairių duomenų korekcijos faktoriai yra įvertinami. Pavyzdžiui, kalibravimo duomenys, atmosferiniai faktoriai ir kt. Šioje fazėje yra atliekamas išskaičiuotų debesies taškų X, Y, Z koordinačių, kurių reikšmės yra gaunamos WGS'84 koordinačių sistemoje transformavimas į norimą koordinačių sistemą. Nuo šios proceso vietos, gautos taškų erdvinės padėty, išreikštos koordinatėmis X, Y, Z, vadinamos 3D taškų debesimi. Pirminiame rezultatu kontrolės etape duomenys patikrinami jų sudarymo išbaigtumo ir matavimų tankio požiūriais. Toliau, tikrinamos maršrutų linijos, užskridimo aukščiai. Po šių procedūrų, atliekamas taškų erdvių padėčių sulyginimas su reikšmėmis, gautomis iš antžeminių matavimų (Pilipaitis, 2011).

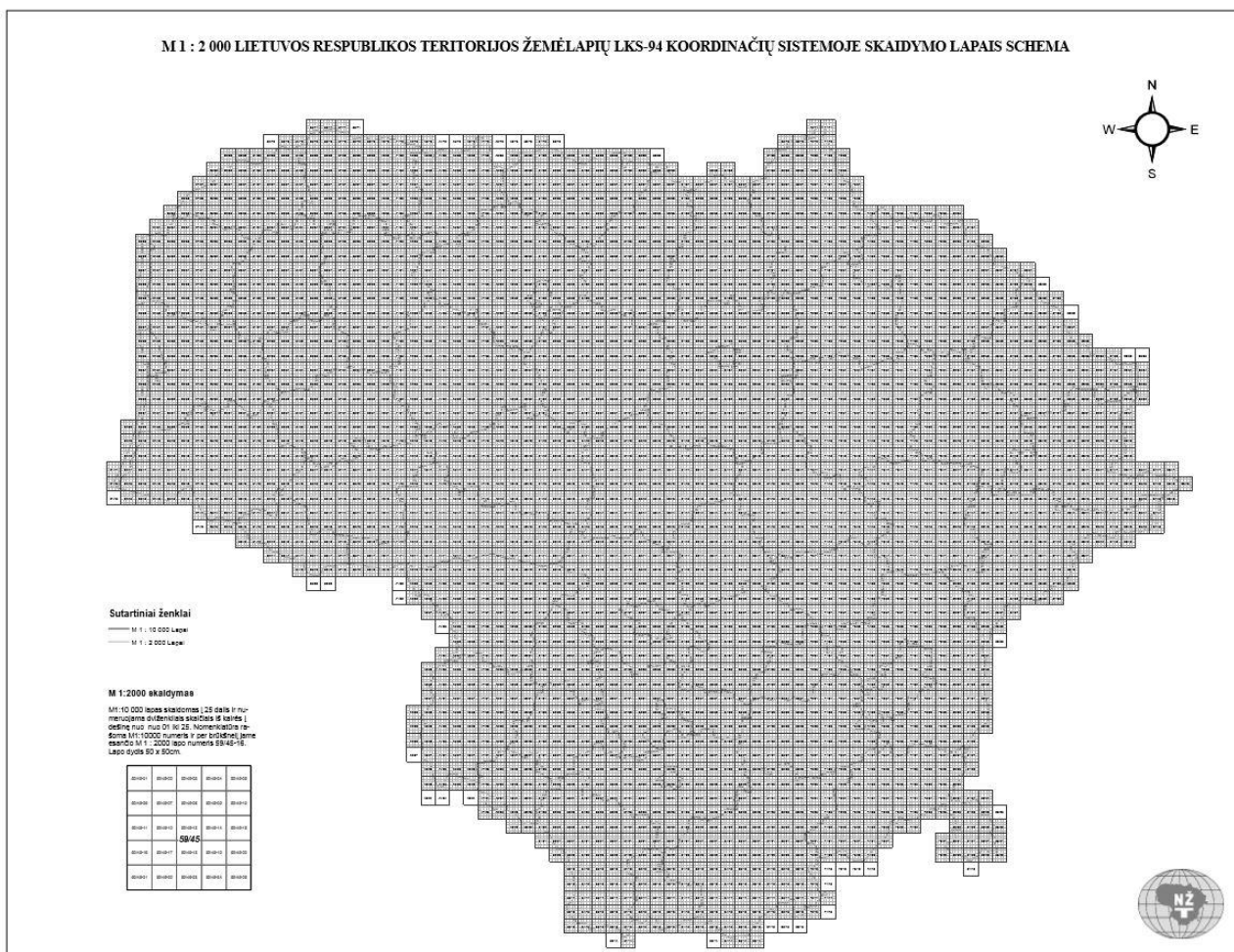
Skenuojant žemės paviršių ši procedūra dažnai dubliuojama vidutinės skiriamosios gebos skaitmeninėmis aerokameromis tam, kad būtų galima papildyti aukščio duomenų sudarymą ir kitą informaciją papildomais duomenimis, gautais iš aerovaldų to paties užskridimo metu. Svarbu, kad lazerinis skeneris, sumontuotas orlaivyje, galėtų kartu veikti su didelio formato skaitmenine kamera (Pilipaitis, 2011).

Lazerinio skenavimo taškų debesies vizualizacija seka po taškų debesies sudarymo procedūros. Tolimesnė procedūra – nustatyti ar tinkamai ir korektiškai projekto teritorijoje yra padengti ten esantys objektai ir žemės paviršius. Vaizdai, sudaryti iš taškų debesų, teikia daug informacijos, sudarytos lazerinio skenavimo metu. Kad šią informaciją būtų galima paprasčiausiu būdu išgauti, yra sukurta įvairių technologinių sprendimų: pavyzdžiui spalvinimas arba šešėliavimas. Nors taškų debesies vizualizacija yra reikalinga įvairiems uždaviniams spręsti, tačiau dauguma lazerinio skenavimo projektų reikalauja tolimesnio taškų debesies apdorojimo tam, kad sudaryti tikslesnę informaciją: atstatyti objektų formą, medžių aukštį ir tankumą, pastatų modelius, atstumus tarp elektros linijų ir augalų ir t.t. Tam, kad sudaryti tokią informaciją, taškų debesiui turi būti suteikta

atitinkama struktūra. Šiame etape taškų debesies struktūra suvedama į koordinacių X, Y ir koordinatės – Z sąrašą su galimais atributais: amplitudė ir galimu pasikartojimu. Nors taškų duomenys dažniausiai suvedami pagal skenavimo tvarką, tai dar nereiškia, kad negalima pakeisti šios tvarkos tam tikrose ribose. Kuomet pradinė duomenų struktūra yra sudaryta, tolimesnė taškų debesies struktūra gali būti sudaryta iš gretimų taškų, priklausančių tam tikrai plokštumai ar paviršiui (Pilipaitis, 2011).

Gerai suvokiama taškų debesies vizualizacija pasiekama konvertuojant taškų debesį į įvairių tipų rastrinius vaizdus arba, yra galimybė, konvertuoti į 3D taškų debesį įvairiems uždaviniams spręsti, tačiau dauguma lazerinio skenavimo projektų reikalauja tolimesnio taškų debesies apdorojimo tam, kad sudaryti tikslesnę informaciją: atstatyti objektų formą, medžių aukštį ir tankumą, pastatų modelius, atstumus tarp elektros linijų ir augalų ir t.t. Tam, kad sudaryti tokią informaciją, taškų debesiui turi būti suteikta atitinkama struktūra. Šiame etape taškų debesies struktūra suvedama į koordinacių X, Y ir koordinatės – Z sąrašą su galimais atributais: amplitudė ir galimu pasikartojimu. Nors taškų duomenys dažniausiai suvedami pagal skenavimo tvarką, tai dar nereiškia, kad negalima pakeisti šios tvarkos tam tikrose ribose. Kuomet pradinė duomenų struktūra yra sudaryta, tolimesnė taškų debesies struktūra gali būti sudaryta iš gretimų taškų, priklausančių tam tikrai plokštumai ar paviršiui (Pilipaitis, 2011).

Lietuvoje LiDAR taškų duomenų bazės sudarytos keliais etapais. Visų pirma buvo atlikti 10-ies didžiausių Lietuvos miestų, apskričių centrų (Vilniaus, Kauno, Klaipėdos, Šiaulių, Marijampolės, Alytaus, Tauragės, Telšių, Panevėžio ir Utenos) teritorijų nuskaitymai lazeriu. 2007 m. pavasarį pagal Nacionalinės žemės tarnybos prie Žemės ūkio ministerijos užsakymą Prancūzijos firma „FIT Conseil-Géomètres Experts“ atliko nuskaitymo lazeriu iš orlaivio darbus, o antžeminius matavimus atliko Lietuvos UAB „InfoERA“. Lietuvos miestų teritorijos nuskaitytos skaitytuvu „Optech ALTM 3100“. Pagrindinių Lietuvos miestų centrai buvo nuskaityti laikantis šių reikalavimų: vidutinis skrydžių aukštis LiDAR nuskaitymo metu buvo ~ 800 m (palyginimui su iki tol vykdyta aerofotografija – ~ 7,6 km); lazerio taškų tankis 3–4 tšk./m²; vidutinis nuokrypis tarp taškų vyravo iki 0,5 m (Žalnierukas ir kt. 2009, 56). Duomenys vartotojui pateikiami .xyz formatu, suskaidyti pagal Lietuvos Respublikos apskričių centrų M 1:2 000 skaitmeninio rastrinio orto fotografinio žemėlapiu ORT2LT padengimo schemas (Tamulynas ir kt., 2013).



2 pav. ORT2LT padengimo schema (www.nzt.lt)

Antrame Lietuvos Respublikos teritorijos nuskaitymo LiDAR etape 2009–2010 m. buvo apimta visa likusi Lietuvos teritorija. 2009 m. buvo nuskaitytos Panevėžio, Kauno, Alytaus, Vilniaus apskritys (apie 25 000 km²), po metų – likusi Lietuvos teritorija (iš viso 65 300 km²). Nacionalinės žemės tarnybos užsakymu nuskaitymo darbus atliko Danijos firma „COWI A/S“. Šie darbai vykdyti vadovaujantis kiek kitokiais kriterijais nei minėti apskričių centrų nuskaitymai. Lietuvos Respublikos teritorijos skaitmeninis Žemės paviršiaus nuskaitymas vyko laikantis tokių reikalavimų: vidutinis skrydžių aukštis LiDAR nuskaitymo metu buvo ~ 2,5 km; lazerio taškų tankis 1 tšk./2m²; vidutinis nuokrypis tarp taškų ~ 0,5 m. Šių darbų rezultatas – Lietuvos Respublikos teritorijos skaitmeniniai erdviniai Žemės paviršiaus lazerinio nuskaitymo taškų duomenys (sutrumpintas pavadinimas – SEŽP_0,5LT). Jie vartotojui pateikiami .txt formatu, duomenys suskaidyti pagal M 1:10000 Lietuvos Respublikos teritorijos žemėlapių LKS-94 koordinatinių sistemoje skaidymo lapais schemą (2 pav.), t. y. į 2 707 lapus. Viešai neprieinami duomenys apie pasienius su Rusija ir Baltarusija (Tamulynas ir kt., 2013).

Vartotojui pateikiami duomenys – paprastas tekstinis failas, kurį sudaro antraštė ir x, y ir z koordinatės kiekvienam išmatuotam vietovės taškui. Tokio formato duomenis tiesiogiai gali

nuskaityti „ESRI” įmonės programinės įrangos „ArcGIS” plėtinys „3D Analyst”. Plėtinys turi įrankius įvairioms operacijoms atlikti. Pati paprasčiausia operacija – duomenų įkrovimas. Jos metu sukuriama taškų atvaizdavimas. Vėliau duomenys eksportuojami į GIS naudojamą vektorinį SHAPE (.shp) failo formatą.

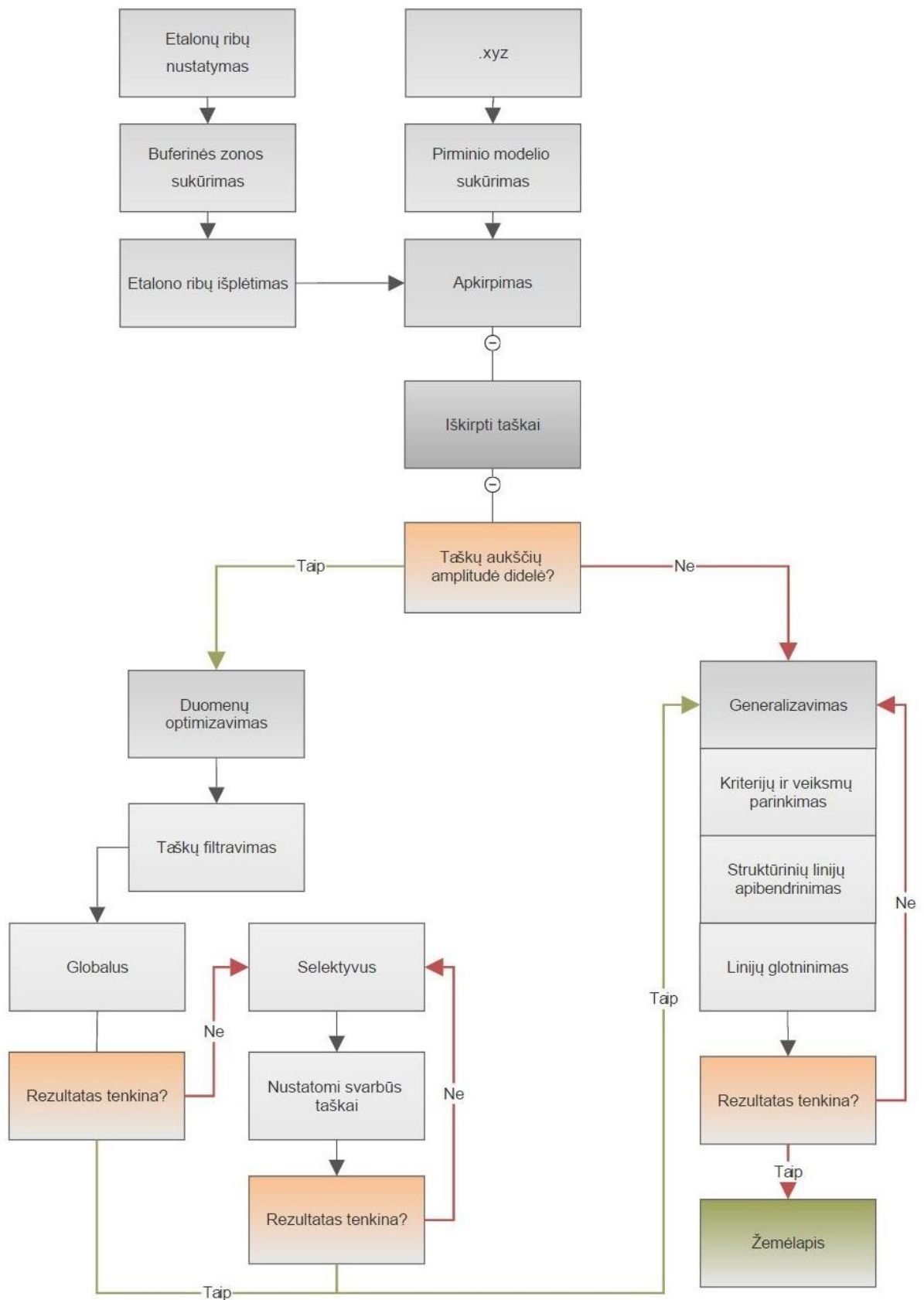
Iš duomenų debesies, naudojant „3D Analyst” plėtinio įrankius, kuriami įvairūs vektoriniai ir rastriniai duomenys. Prie vektorinių duomenų priskiriamas TIN duomenų modelis (vaizduoja Žemės paviršiaus morfologiją) ir horizontalės.

Taip pat plėtinys turi įrankius ir rastrinių vaizdų kūrimui. Šlaitų nuolydžio rastras nurodo didžiausią aukščio pokytį konkrečioje paviršiaus vietoje. Šlaitų ekspozicijos rastras parodo didžiausio aukščio kitimo kryptį. Turint nuolydžio ir ekspozicijos rastrus bei saulės azimutą ir altitudę, kuriamas reljefo šešėliavimo rastras, kuris dažnai naudojamas kaip teminių žemėlapių fonas ir sudaro 3D įspūdį. Matomumo analizė atsako į klausimą, kurie elementai arba kurios paviršiaus sritys matomos iš vieno ar kito stebėjimo taško.

Be vektorinių ir rastrinių duomenų kūrimo, „3D Analyst” turi įrankius interpoliavimui (bet kur spragtelėjus pele, suskaičiuojamos koordinatės), nuotakumo skaičiavimui (parodoma, kokių kelių tekėtų vanduo), reljefo grafiko kūrimui bei kitoms operacijoms.

Tiek iš LIDAR debesies sukurti duomenys, tiek atlikti įvairūs skaičiavimai eksportuojami į GIS formatus ir vėliau naudojami kartografavimui, įvairių modelių kūrimui, erdvinei analizei. (Rusonytė, Kairienė, 2010).

Šiame darbe pateikiami etalonų reljefo žemėlapiai buvo sudaryti vadovaujantis 3 paveiksle pateikta metodika, „ESRI” įmonės programinės įrangos „ArcGIS” programa.

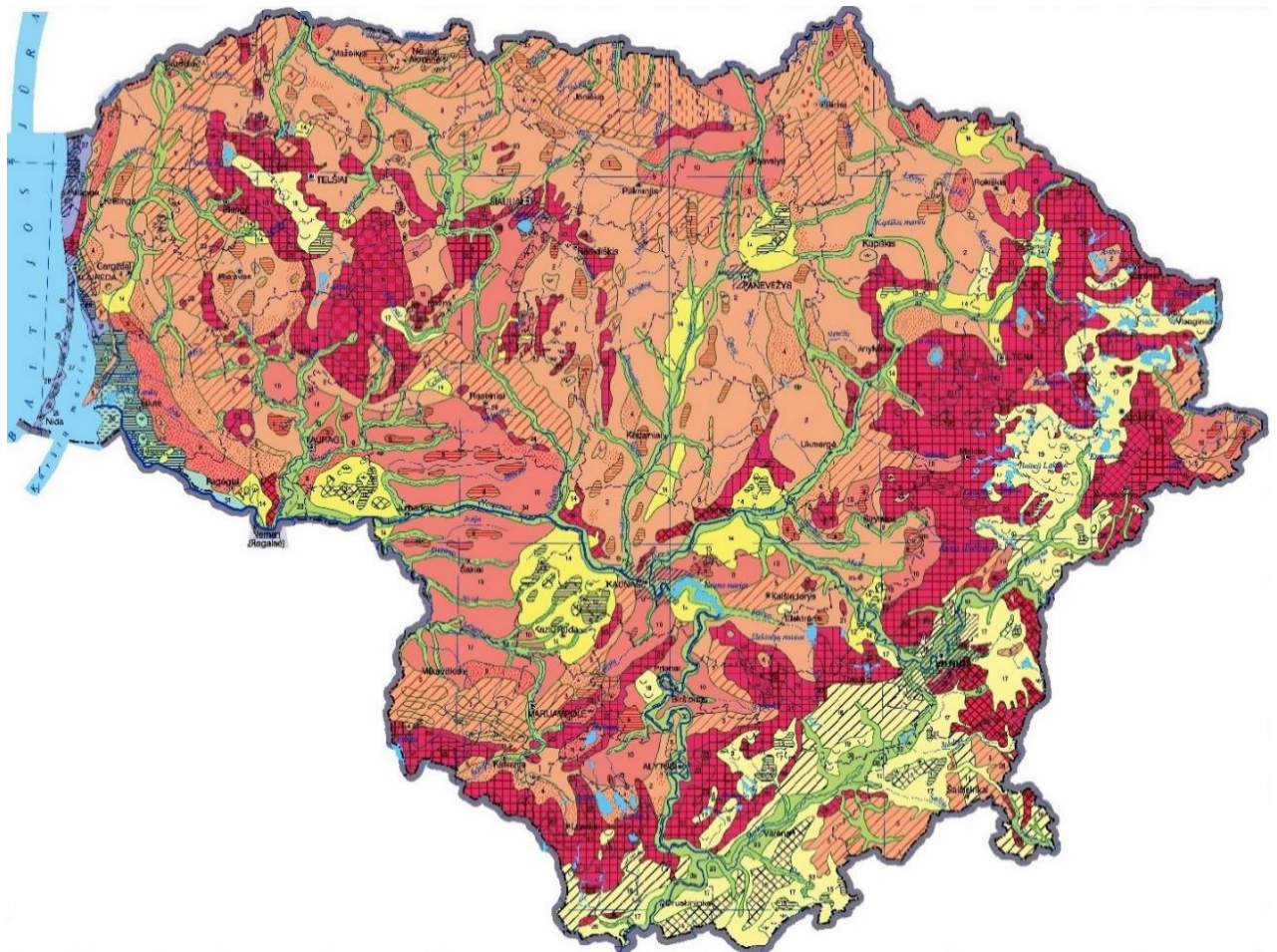


3 pav. Reljefo žemėlapių sudarymo metodika

Etalonai pasirinkti vadovaujantis naujausiu Lietuvos nacionalinio atlaso žemėlapiu – „Gamtinio kraštovaizdžio tipai“ išskiriamais devyniais vietovaizdžių tipais žemėvaizdžiuose (4, 5 pav.): I — moreninė lyguma; II — prieledyninė ežerinė lyguma; III — senovinė aliuvinė lyguma; IV — prieledyninė upinė (zandrinė) lyguma; V — kalvotoji moreninė ežeringa aukštuma; VI — kalvotoji moreninė raguvota aukštuma; VII — jūros pakrantės lyguma; VIII — deltinė lyguma; IX — upių slėniai. Pasirinktų etalonų dydis 5x5 km – siekiant optimalaus programos darbo ir gaunamam rezultatui saugoti ir perduoti didžiausiu įmanomu tikslumu.

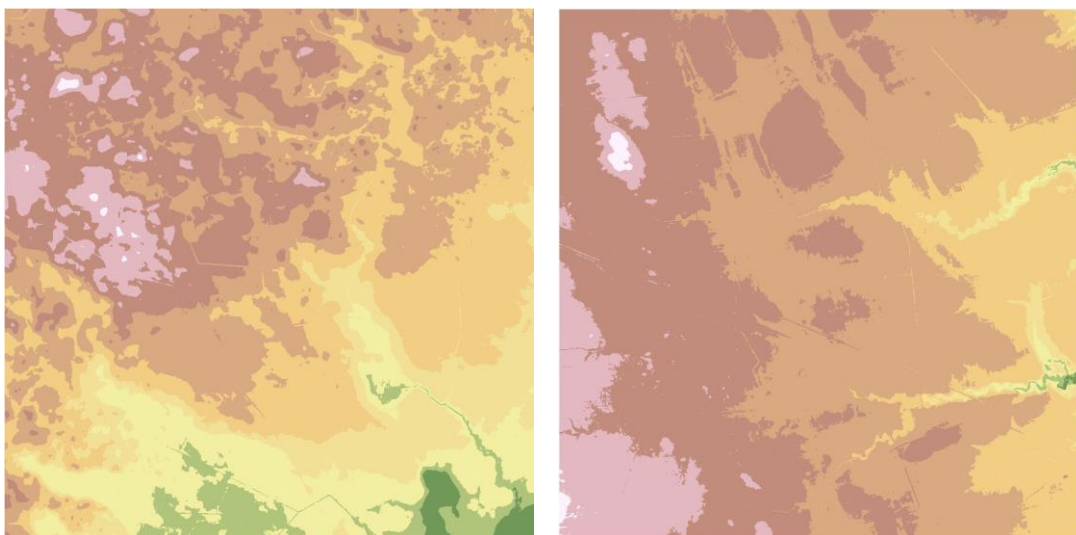
| ŽEMĖVAIZDŽIŲ GRUPĖS | ŽEMĖVAIZDŽIŲ TIPAI | VIETOVAIZDŽIŲ IR JŲ ANTROPOGENINIO PERFORMAVIMO LAIPSNIS | | |
|------------------------------|---|--|--|---------------------------------------|
| | | MAŽAI PAKEISTI (MIŠKINGI) | VIDUTINIŠKAI PAKEISTI (SU DAŽNU MIŠKŲ IR ŽEMĖS ŪKIO NAUDMENŲ KAITALIOJIMUSI) | LABAI PAKEISTI (ŽEMĖS ŪKIO NAUDMENOS) |
| MOLINGOS LYGUMOS | I MORENINĖS LYGUMOS | 1 | 2 3 4 | 5 6 7 |
| | II PRIELEDYVINĖS EŽERINĖS LYGUMOS | 8 | 9 | 10 11 |
| SMELINGOS LYGUMOS | III SENOVINĖS ALIUVINĖS LYGUMOS | 12 13 14 | | |
| | IV ZANDRINĖS LYGUMOS | 15 16 17 | 18 19 | |
| KALVOTOS MORENINĖS AUKŠTUMOS | V KALVOTOS MORENINĖS EŽERINGOS AUKŠTUMOS | | 20 21 22 | 23 |
| | VI KALVOTOS MORENINĖS RAGUVOTOS AUKŠTUMOS | 24 | 25 26 | |
| PAJŪRINĖS LYGUMOS | VII JŪROS PAKRANTĖS LYGUMOS | 27 28 29 | | |
| | VIII DELTINĖS LYGUMOS | | 30 | 31 32 |
| | IX UPIŲ SLĖNIAI | 33 | 34 35 | |

4 pav. Kraštovaizdžio teritoriniai kompleksai – žemėvaizdžiai (Lietuvos nacionalinis atlasas, 2015)



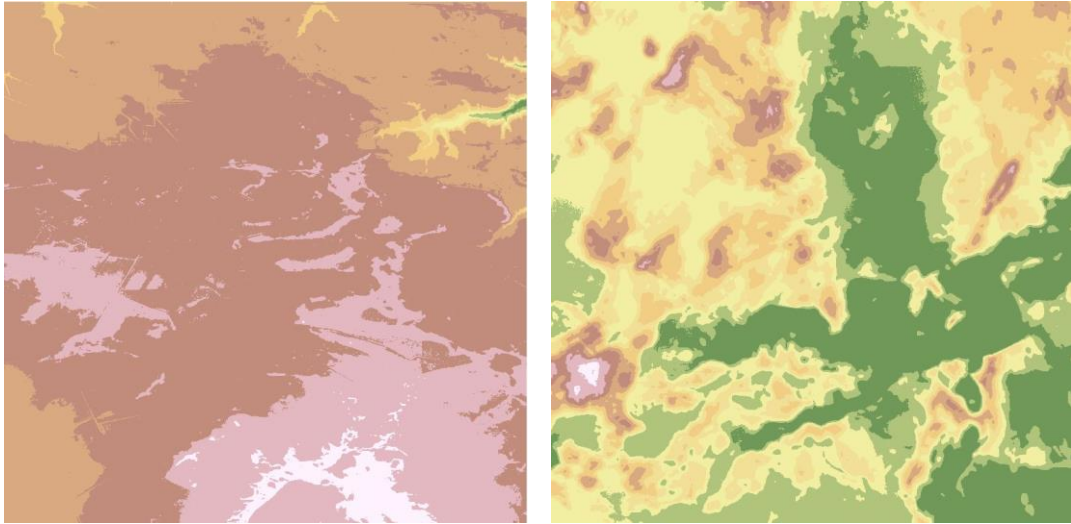
5 pav. Kraštovaizdžio teritoriniai kompleksai – žemėvaizdžiai (Lietuvos nacionalinis atlasas, 2015)

I – II etalonai – Molingų lygumų kilmė skiriasi. Daugiausia yra moreninių lygumų (I etalonas; ORT2LT lapo nr. 26/60) – jos užima net 42% šalies teritorijos. Daugiau kaip pusė visų moreninių lygumų susidarė, kai ledyno dugnas suslėgė atvilkta priemolį. Jos vadinamos dugninėmis moreninėmis lygumomis. Kitose vietose dugnines morenas užklojo molis, dengęs tirpstančio ledyno paviršių. Nutirpus ledynams, susidarė dideli prieledyniniai ežerai arba marios. Jų dugne nusėdo drumzliname vandenyje buvusios dulkių ir dumblo (molio) dalelės. Taip atsirado prieledyninės ežerinės lygumos (II etalonas; ORT2LT lapo nr. 56/28) (Basalykas, 1977).



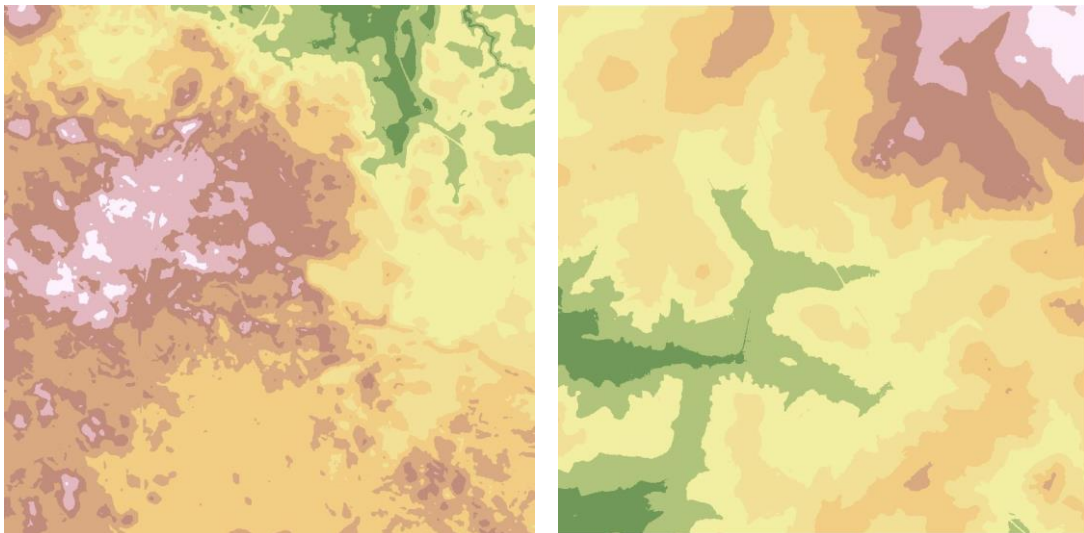
6 pav. Kairėje - I etalonas, ORT2LT lapo nr. 26/60, dešinėje - II etalonas, ORT2LT lapo nr. 56/28

III – IV etalonai – Lietuvoje gausu smėlynų, kuriuos suplovė į prieledynines marias tekėjusios upės arba sudarė tirpstančio ledo vandens srautai. Smėlingų prieledyninių upių (zandrinės) lygumos (IV etalonas; ORT2LT lapo nr. 82/44) susidarė kuomet vandens srautai, atitekėdavę iš tirpstančio ledyno, dugnu vilko daug nešmenų. Maži, be pastovių vagų ledyno tirpsmo vandens srautai suklostė žvyrynus, o didelės ledyno maitinamos upės – gerai išrūšiuoto smėlio lygumas su trasomis. Vėjai sausą smėlį supustė į dideles žemynines kopas, kurių aukštis Pietų Lietuvoje siekia iki 30 m. Senovines aliuvines lygumas (III etalonas; ORT2LT lapo nr. 54/37) suklostė vanduo, plūdęs į prieledynines marias ne tik nuo tirpstančio ledyno, bet ir iš ledu nepadengtų plotų. Vandeningos upės suplovė didžiules smėlio deltas. Dabartinėje Lietuvos teritorijoje yra 5 didelės senovinės aliuvinės lygumos, bei daugybė mažesnių senovinių upių suplautų lygumų (Basalykas, 1977).



7 pav. Kairėje - III etalonas, ORT2LT lapo nr. 54/37, dešinėje - IV etalonas, ORT2LT lapo nr. 82/44

V – VI etalonai – Kalvotosios moreninės aukštumos susiformavo ledyno pakraščiuose skirtingomis aplinkybėmis ir sąlygomis vykusių procesų metu. Todėl šių aukštumų paviršiaus formų kilmė ir sudėtis skiriasi. Kalvotame kraštovaizdyje kalvos, gūbriai, kauburiai yra atskirti vienas nuo kito daubomis, kurių vienos yra pelkėtos, kitose tyvuliuoja ežerai, dar kitose yra sausa. Kalvotosios moreninės aukštumos pagal savo pobūdį skirstomos į morenines ežeringas (V etalonas; ORT2LT lapo nr. 79/48) ir morenines raguvotas aukštumas (VI etalonas; ORT2LT lapo nr. 78/28) (Basalykas, 1977).



8 pav. Kairėje - V etalonas, ORT2LT lapo nr. 79/48, dešinėje - VI etalonas, ORT2LT lapo nr. 78/28

VII – VIII etalonai – Nedidelę vakarinę Lietuvos dalį užima siauru ruožu palei Baltijos jūrą besidriekianti jūrinė lyguma (VII etalonas; ORT2LT lapo nr. 24/62). Jai būdingi seklios smėlio priekrantės, platūs smėlėti paplūdimiai, įvairaus aukščio kopos, ištisi kopagūbriai. Už jų paprastai

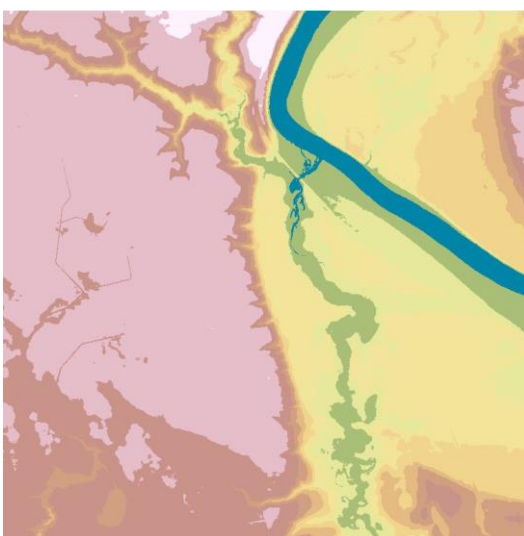
driekiasi užmirkę ruožai – palvė. Pakrantėje esama ir senovės jūrų paliktų terasų, todėl pajūrio kraštovaizdis yra gana įvairus.

Nemuno upės vandenys suformavo Kuršių mariose didelę deltinę lygumą (VIII etalonas; ORT2LT lapo nr. 27/49). Ji užima beveik 2% Lietuvos ploto. Tai plokščia, vietomis net žemiau jūros lygio esanti aliuvininiais smėliais dengta lyguma. Delta sudaro keli šimtai salų ir dideli prieupiniai senovinės deltos plotai (Basalykas, 1977).



9 pav. Kairėje - VII etalonas, ORT2LT lapo nr. 24/62, dešinėje - VIII etalonas, ORT2LT lapo nr. 27/49

IX etalonas - Įvairius Lietuvos žemėvaizdžius – tiek aukštumas, tiek lygumas – raižo gilūs, išraiškingi upių slėniai (IX etalonas; ORT2LT lapo nr. 58/28). Lietuvos hidrografinis tinklas yra tankus, todėl slėniai užima apie 4% šalies teritorijos. Pagrindiniai upių slėniai Lietuvoje atsirado baigiantis apledėjimui, tačiau daugelis jų atkartoja dar senesnių laikotarpių – priešledynmečio – upių tinklą (Basalykas, 1977).



10 pav. IX etalonas, ORT2LT lapo nr. 58/28

3. Reljefo vaizdavimo būdų raida

Geomorfologijos mokslas Lietuvoje pergyveno tuos pačius raidos etapus kaip ir kitose Europos šalyse. Tyrimų pradžia susijusi su mėginimais išoriškai apibūdinti reljefo formas bei įvertinti jų vidinę sąrangą. Išsamesni Lietuvos reljefo tyrimai pradėti XVIII amžiuje. Tą ilgą laiko tarpą galima periodizuoti, remiantis tyrimų tikslais, naudojamais tyrimų instrumentais ir metodologinėmis nuostatomis (1 lentelė, 2 lentelė) (Česnulevičius ir kt., 2011).

1 lentelė. Istoriniai geomorfologinių tyrimų laikotarpiai (Česnulevičius, 2011).

| Reljefo tyrimo laikotarpiai | → | Žymiausi tyrėjai |
|---|---|--|
| Aprašomasis (XVII-XVIII a.) | → | A Busching, J.B. Fisher |
| Geologinių tyrimų užuomazgos (XIX a.) | → | LDomeika, F.Dubois de Monpereaux, E.Eichwald, K.Grewingk |
| Geomorfologinių tyrimų pradžia (XIX a. pabaiga - XX a. pradžia) | → | A.Giedraitis, A. Misuna, L.Savickis, D.N. Sobolevas, N.N. Sobolevas, S.Volosovičius |
| Klasikinių geomorfologinių tyrimų (pirmoji XX a. pusė) | → | J.Dalinkevičius, J.Glinicka, M.Friederchsenas, B.Halickij, H.Hes fon Vichdorfas, R. Huntas, A.Jaroševič-Klišinska, J.Kondrackis, R.Kongielis, S.Lencevičius, M.Limanovskis, L.Matvejuvna, H.Mortensenas, Č.Pakuckas, M.Prošinskis, B.Rydzlevskis, O.Svianlavičiova |
| Modernūs geomorfologinių tyrimų laikotarpis (XX a. antroji pusė - XXI a. pradžia) | → | A.Basalykas, V.Čepulytė, A.Garunkštis, V.Gudelis, Č.Kudaba, L.Micas, A.Mikalauskas, P.Vaitiekūnas, V.Vonsavičius |

2 lentelė. XX amžiaus antrosios pusės geomorfologinių tyrimų poetaipiai ir svarbiausi darbai (Česnulevičius, 2011).

| Etapas | Poetapis | Svarbiausi darbai ir rezultatai |
|---|--|---|
| Modernūs reljefo tyrimų laikotarpis (XX amžiaus antroji pusė – XXI amžiaus pradžia) | Inventorizacinis (1950-1962) | Geomorfologiniai ir morfogenetiniai žemėlapiai (1:500 000) |
| | Detalių geomorfologinių tyrimų (1963-1995) | Lietuvos teritorijos geomorfologinis žemėlapis (1:50 000) Monografijos: „Lietuvos TSR geografija“ (geomorfologiniai rajonai) „Lietuvos aukštumos“ „Lietuvos fluvio-glacialinės lygumos“ |

| | | |
|--|--|--|
| | Matematinio reljefo modeliavimo (nuo 1995) | Lietuvos geomorfologinis žemėlapis (1:200 000) Lietuvos morfogenetinis žemėlapis (1:200 000) Geodinaminių procesų žemėlapis (1:200 000) Litomorfogenetinis žemėlapis (1:25 000) Glacigeninių darinių žemėlapis (1:400 000) |
|--|--|--|

XX amžiaus pabaigoje geografijoje buvusias specializacines tendencijas pakeitė integracinės. Integracija vyko geografijos mokslo viduje, kartu išryškindama tarpšakines ir tarp kryptines mokslų sąsajas. Geomorfologijoje šios sąveikos išryškėjo keturiomis kryptimis:

1. Platus distancinių metodų panaudojimas;
2. Intensyvus GIS ir kartografinių metodų taikymas;
3. Kiekybinių rodiklių nustatymas;
4. Sintetinis požiūris į tiriamąjį objektą.

Tokie reiškiniai geomorfologijoje vyko ir anksčiau, tačiau XX a. pabaigoje - XXI amžiaus pradžioje jie tapo labai akivaizdūs (Česnulevičius ir kt., 2011).

3.1. Reljefo tyrimų ir vaizdavimo raida pasaulyje

Dauguma Europos geomorfologinių žemėlapių yra suprantami kaip daugiaspalviai, daugiasluoksniai žemėlapiai, apimantys morfografinius ir morfometrinius aspektus, genetinius ir dabartinius procesus, taip pat medžiaginių pamatą (litologiją, struktūrą) ir chronologiją, kartu su pamatiniu kartografuojamos teritorijos žemėlapiu. Dėl šios priežasties didžioji dalis tiek mokslininkų, tiek vartotojų kompleksiškus geodinaminių procesų žemėlapius laiko itin sunkiai skaitomais, ypač tuomet, kai sudėtingų teritorijų žemėlapių legendos užima daugiau vietos nei patys žemėlapiai. Akivaizdu, kad sutelkti tokį didžiulį kiekį informacijos viename žemėlapyje, neperkraunant jo įvairiais vizualizacijos būdais yra sudėtinga užduotis.

Iki pat penktojo dešimtmečio pabaigos, beveik visi žemės paviršiaus formų apibūdinimai būdavo aprašomojo pobūdžio, o tuometiniai prie aprašymo pridėti žemėlapiai riboto panaudojimo, neatspindintys sisteminio požiūrio, dažniausiai tik iliustruojantys autoriaus išvadas. Deja dėl bendros terminologijos trūkumo, tokie aprašymai buvo ypatingai sudėtingi, tos pačios reljefo formos vadintos daugeliu skirtingų vardų, jų palyginimas skirtinguose regionuose itin painus.

Panašu, kad situacija pradėjo keistis tik po antrojo pasaulinio karo, kuomet civiliniams ir karo inžinieriams, projektuotojams, topografams bei kitiems specialistams prireikė precizinių matavimų ir naujų instrumentų naujausiems reljefo vertinimams ir žinioms pateikti.

Topografiniai žemėlapiai buvo pirmieji kartografiniai kūriniai, kurie suteikė žinių apie reljefą, o juos analizuojant buvo galima gauti pakankamai daug žinių apie reljefo formų dydžius ir paplitimą. Deja šiuose žemėlapiuose trūko daug svarbios informacijos, tokios kaip genezė, formos amžius, litologija ir morfometriniai rodikliai. Pirmasis detalizuotas geomorfologinis žemėlapis buvo sudarytas Passarge'o dar 1914 metais ir išleistas „Morfologijos atlase“ masteliu 1:50 000. Jame buvo pateikta informacija apie šlaitus, slėnių formas, petrografiją ir reljefo tipus. Nuo to meto iki pat Antrojo Pasaulinio karo pabaigos atsirado atotrūkis, kuomet buvo išleista vos keletas lokalių detalizuotų geomorfologinių žemėlapių, o Europos geomorfologiniai tyrimai buvo atliekami labai retai.

18 a. įvykusiame Tarptautinės Geografų Sąjungos (TGS) Kongrese Rio de Žaneire (1956 m.) buvo iškelta detalizuotų geomorfologinių žemėlapių svarbos problema, buvo sudaryta speciali komisija geomorfologinio žemėlapių kūrimui. Po dviejų metų, TGS Kongrese Stokholme, naujai komisijai buvo pateiktos trys užduotys:

- Geomorfologinio kartografavimo metodologijos diegimas ir plėtra;
- Vieningos kartografinės geomorfologinių objektų vaizdavimo sistemos diegimas siekiant užtikrinti tarptautinį suderinamumą;
- Naujosios geomorfologinio kartografavimo sistemos pritaikymas regioninės ekonomikos planavimui bei racionalaus žemės paviršiaus panaudojimo supaprastinimui.

Daug valstybių, tokių kaip Šveicarija, TSRS, Lenkija, Prancūzija, Čekoslovakija, Japonija, Belgija ir Vengrija, dar iki specialiosios komisijos sudarymo, buvo pradėję sudarinėti detalizuotus geomorfologinius žemėlapius. Visose šalyse šių žemėlapių turiniai ir metodologijos skyrėsi, taigi patys žemėlapiai buvo sunkiai palyginami, jų nauda platesnių regionų geomorfologinei analizei ribota ir neadekvati. Europos geomorfologai pripažino vieningos technikos poreikį išsamiam kartografavimui, įskaitant vieningą legendos sistemą. TGS sudarytos komisijos susitikime Krokuvoje (1962 m.), šio projekto labui 15 šalių delegatai nustatė rekomendacijų rinkinį geomorfologinių žemėlapių rengimui (Sharma, 1982):

- Rekomenduojamos priemonės - lauko darbai, kaip pagrindinis informacijos šaltinis, bei aerofotografijų analizė kameraliniams tyrimams;
- Kartografavimas atliekamas masteliuose nuo 1:10000 iki 1:100000, siekiant pavaizduoti reljefą ir jo ypatumus, neprarandant svarbios informacijos;
- Kartografuojami reljefo aspektai: morfografija, morfometrija, morfogenezė ir morfochronologija, siekiant galimybės reljefo praeities, dabarties ir ateities analizei;

- Informacijos pateikimui naudojamos tiek spalvos, tiek simboliai;
- Reljefo formų chronologinio atvaizdavimo sistemos sukūrimas;
- Litologinės informacijos įtraukimas;
- Žemėlapių legendos suskirstymas pagal genetinę-chronologinę tvarką;
- Pripažinimas, kad išsamūs geomorfologiniai žemėlapiai yra būtina priemonė siekiant būsimo geomorfologijos mokslo vystymosi.

1972 metais, rekomendacijomis remiantis sukurtas, geomorfologinio kartografavimo vadovas buvo išleistas ir pristatytas Brno vykusioje konferencijoje. Visgi bendro darbo ir pastangų Geomorfologinių tyrimų ir kartografavimo komisijai nepakako, išliko daugybė nesutarimų dėl geomorfologinių žemėlapių pobūdžių įvairovės ir jų turinio. Padaugėjo skaičius legendų, atstovaujančių skirtingus požiūrius ir metodus, iš kurių daugelis atspindėjo specifinius nacionalinius ar regioninius akiračius. Nuo 1970-ųjų, geomorfologinio kartografavimo svarba išaugo dėl naujovių geomorfologijos moksle. Naujosios globalios tektonikos teorijos ir kosminių žemės tyrimų plėtra, pagerino tiek endogeninių, tiek egzogeninių procesų suvokimą (Pavlopoulos, Evelpidou, Vassilopoulos 2009; Sharma 1982; M.Radoane, Christea, N.Radoane, 2011).

3.2. Reljefo tyrimų ir vaizdavimo raida Lietuvoje

Dabartinių geomorfologinių procesų sistemingi tyrimai Lietuvoje pradėti 6-ame XX a. dešimtmetyje ir tęsiasi iki šiol. Tyrimų istorija apima tik pusę amžiaus. Pirmosios publikacijos dabartinių geomorfologinių procesų tematika pasirodė 1957–1958 m., jos žymi oficialią procesų tyrimų pradžią, nors realiai šie tyrimai prasidėjo 3–5 metais anksčiau, t. y. pradinės informacijos kaupimu, sisteminiu ir panašiai. Šių tyrimų pradininkai buvo VU Gamtos mokslų fakulteto ir MA Geologijos ir geografijos instituto mokslininkai, 1952 metais pradėję stebėjimus Baltijos pakrantėje.

V. Gudelis su bendradarbiais pradėjo tirti jūros krantų dinamiką ir morfologiją (Gudelis ir kt., 1957). Vėliau, nuo 1962 m., pradedami stacionarūs instrumentiniai krantinių procesų tyrimai, orientuoti į vandens plūsmo srauto, nešmenų dinamikos dėsnų išaiškinimą, povandeninio šlaito morfodinamikos nustatymą. Šiuos tyrimus vykdė S. Jankevičiūtė, R. Stauskaitė, V. Kirlys ir kiti mokslininkai, vadovaujami V. Gudelio. Su Baltijos pajūryje vykstančiais krantinių procesų tyrimais iki šio šimtmečio pradžios, jų tematika, tyrimų metodais, vykdytojais supažindina apžvalginis Z. Janukonio straipsnis (Janukonis, 2001). Pastaraisiais metais, be natūrinių krantinių procesų tyrimų (Žilinskas, Jarmalavičius 2003; Jarmalavičius ir kt., 2003), pasitelkiami matematinio modeliavimo metodai (Gailiusis, Kriaučiūnienė 2000; Kriaučiūnienė ir kt., 2006).

1958 m. pradedami ežeruose ir jų pakrantėse vykstančių procesų (krantų abrazijs ir akumuliacijos, atabrady užaugimo ir kt.) tyrimai (Garunkštis, 1958). Tačiau krantinių procesų tyrimai

ežerų pakrantėse platesnio masto neįgavo. Kiek labiau tyrėjus domino Kauno marių krantiniai procesai 9-ame dešimtmetyje, kai jų pastangomis buvo nustatyti krantų performavimo dėsniumai, intensyvumas, įvertinti procesus veikiantys veiksniai bei atskirų procesų vaidmuo krantų modifikavimuisi (Jucevičiūtė ir kt., 1988; Мардосене 1991; Žaromskis 1996; Kriaučiūnienė, 2002).

Panašiu laiku, 1956 m., A. Pajarskaitė, A. Račinskas pradeda Lietuvos dirvožemių erozijos tyrimus, įrengiamos pirmosios stacionarios ilgalaikės tiesioginių erozijos tyrimų aikštelės (Račinskas, 1958). Ilgalaikiais tyrimais pavyko atskleisti pagrindinius dirvožemių erozijos vyksmo dėsniumus, ją veikiančius faktorius, proceso dinamiką ir tų tyrimų pagrindu buvo pasiūlyti praktiniai sprendimai, kaip valdyti šį procesą (Račinskas 1990). Šiuo metu stacionarūs erozijos stebėjimai tęsiami tik Žemaičių aukštumoje, kur procesai analizuojami per antierozinių priemonių prizmę (Jankauskas, Jankauskienė 2003; Jankauskas, Jankauskienė, 2004). Pastaraisiais metais, atliekant reljefo procesų kartografavimą, vertinimą bei prognozavimą, pereinama prie empirinių lygčių, matematinių modelių bei GIS technologijų taikymo (Česnulevičius 1998; Povilaitis 1997; Dėnas ir kt., 2006; Mažvila ir kt., 2010).

Kiek vėliau, 1960 m., susidomima dirvožemių mechanine erozija, parinktuose etalonuose pradedami stacionarūs instrumentiniai šio proceso tyrimai, kurie vykdomi beveik du dešimtmečius. Aiškinantis šio proceso ypatumus ir dėsniumus bei sprendžiant su šia erozija susijusias problemas, daugiausia dirbo K. Ėringis ir B. Kiburys. Pastarojo mokslininko indėlis į šio proceso pažinimą bus bene didžiausias – jis atskleidė proceso esmę ir daromą žalą, pateikė dabartinės mechaninės erozijos dirbant kalvotą reljefą modelį bei pasiūlė antierozines priemones (Kiburys, 1989). Pastaraisiais metais dirvožemio mechaninės erozijos tyrimai nėra vykdomi.

A. Basalyko iniciatyva pradedami fluvialinio reljefo tyrimai, kurių metu užsimenama ir apie fluvialinius procesus (Basalykas, 1958), tačiau detalesni jų tyrimai pradėti tik 7-ojo dešimtmečio pabaigoje (Beconis 1967, 1974). Procesų pobūdis, intensyvumas, juos veikiančios sąlygos bei procesų teritorinė diferenciacija, tai klausimai kurie aktualumo nepraranda iki šiol atliekant fluvialinius tyrimus. Bene išsamiausiai šiuos uždavinius pavyko spręsti vykdant ilgalaikius procesų tyrimus Neries vidurupyje, kurių rezultatai paviešinti eilėje straipsnių (Baltakis ir kt., 1982; Beconis, Dvareckas, 1991) ir kolektyviniame darbe (Geodinaminiai..., 1992). Pastaruoju metu padaugėjo fluvialinių procesų tyrimų mažų upių baseinuose analizuojant upių vagų transformacijas (Paškauskas ir kt., 2000). Dalis tyrėjų gilinasi į fluvialinių procesų hidrauliką, fluvialinės pernašos fizinį bei matematinį modeliavimą (Vaikasas, Stankevičius 2004; Vaikasas, Poškus 2007; Vaikasas 2009).

Vadovaujant V. Narbutui, pradėti karstinių procesų tyrimai šiaurės Lietuvoje (Narbutas, 1957). Tačiau jie nebuvo pakankamai gausūs ir informatyvūs. Daugiau žinių apie šių procesų intensyvumą, pobūdį, raidą ir sąlygas suteikia pastarųjų dešimtmečių tyrimai, grindžiami instrumentinių bei analitinių tyrimų duomenimis (Taminskas, 1999).

Eolinių procesų tyrimo pradininkas Lietuvoje yra V. Minkevičius, kuris stacionarius eolodinamikos stebėjimus Kuršių nerijos pustomose kopose pradėjo 1962 m. Šiais ilgalaikiais tyrimais nustatytas eolinio proceso intensyvumas ir priklausomybė nuo aplinkos sąlygų, atskleista vėjo–smėlio srauto struktūra bei dėl šio proceso įtakos vykstantis reljefo modifikavimasis (Minkevičius 1963–1964; 1968). Vėliau eolinių procesų tyrimus nerijos kopagūbryje, taikant kartometrinius, fotogrametrinius bei geodezinius matavimus, vykdė D. Mardosienė (Mardosienė 1986; Mardosienė 1988), o pastaraisiais metais R. Povilanskas (Povilanskas, 2009). Daug metų vykdyti eolinių procesų tyrimai jūros paplūdimyje bei apsauginiame kopagūbryje apibendrinti monografijoje (Žilinskas ir kt., 2001). Tyrėjų dėmesio susilaukė ir agrolandšaftuose vykstantys eoliniai procesai. Jų tyrimai buvo aktualūs pereinamo amžiaus paskutiniaisiais dešimtmečiais vakarinėje šalies dalyje. Tyrimų metodai, spęstų problemų spektras bei gauti rezultatai aptariami šiam klausimui skirtame apžvalginiame straipsnyje (Paškauskas, 2003).

Aštuntame dešimtmetyje prasidėjo dabartinių sedimentacijos procesų tyrimai Pietryčių Lietuvos ežeruose. Pažymėtina, kad minėtųjų procesų greitis daugelyje ežerų pirmiausia buvo nustatytas teoriškai. J. Tamošaičio, F. Martinkėnienės, M. Vasiliauskienės ir kt. tyrėjų iniciatyva pradėti procesų tyrimai natūralioje aplinkoje, atliekant matavimus *in situ*. Intensyvūs tyrimai vyko apie du dešimtmečius, pavyko įvertinti nuosėdų sedimentacijos sezoninius bei metinius greičius, atskleisti akumuliuojamos medžiagos sudėtį, kilmę bei nemažai kitų dėsningumų (Tamošaitis, Martinkėnienė 1980; 1991; Martinkėnienė, Tamošaitis 1988). Didėjantis antropogeninis poveikis geosistemoms bei dėl jo kylanti problema devintajame dešimtmetyje paskatino pradėti sedimentacijos procesų tyrimus akvasistemoje Nemuno žemupyje–Kuršių marios–Baltijos jūra. Sedimentacijos procesai šioje erdvėje analizuojami įvairiais pjūviais: sezoninė, metinė bei erdvinė procesų dinamika, sedimentų genezė, geocheminės savybės ir kt., taikant įvairius tyrimų metodus – nuo natūrinių instrumentinių *in situ* iki sudėtingų laboratorinių analizių, GIS technologijų (Galkus, Stakėnienė 1996; Galkus, Jokšas 1997). Šiuo metu tik šioje akvasistemoje vyksta produktyvūs sedimentacijos procesų tyrimai, ko negalima pasakyti apie ežerų tyrimus.

Deramo dėmesio nesulaukia antropogeninių procesų tyrimai, nors žmogaus veikla reikšminga dabartiniam reljefo modifikavimuisi. Paskelbta keletas darbų, skirtų hidrografinio tinklo antropogeninei pertvarkai (Vaitkevičius, 1986; Kavoliūtė, 1999), reljefo denudacijai (Švarcaitė, 1982). Mažai žinoma apie šalyje vykstančius šlaitinius (Gaigalas ir kt., 1982; Bucevičiūtė ir kt., 2005), biogeninius procesus (Kunskas, 1986) (Paškauskas, Vekeriotienė, 2011).

Distanciniai metodai geomorfologiniuose tyrimuose (aerofotografijos) taikyti jau XX a. pradžioje, tačiau kosminių technologijų galimybės įgalino vykdyti giluminių struktūrų tyrimus bei sensorinį kvartero nuogulų skanavimą. Kvalifikuotų specialistų ir profesionalios įrangos stoka varžo platesnį šių metodų naudojimą Lietuvoje.

Geomorfologinis kartografavimas – viena seniausių geomorfologinių tyrimų krypčių, kuri Lietuvoje realizuojama nuo XIX a. pabaigos. Tačiau geografinės informacinės sistemos atvėrė platesnes galimybes tikslesniam erdvės atvaizdavimui. Naudojant GIS technologijas atliekamas sukauptų duomenų sisteminimas, analizė ir vizualizavimas.

Kiekybiniai rodikliai reljefo analizei atlikti, Lietuvoje imti taikyti XX amžiaus septintame dešimtmetyje (Krasauskas, 1960). Topografinių žemėlapių analizės pagrindu atlikta morfometrinė Lietuvos reljefo analizė. Skaitmeninių duomenų bazių kiekybinė analizė atvėrė galimybes sieti į vieną visumą paviršių apibūdinančius kiekybinius ir kokybinius rodiklius (Česnulevicius, 1999).

Sintetinis požiūris į tiriamą objektą – reljefą – atvėrė platesnes taikomas galimybes, leidusias susieti į vieną visumą ne tik gamtinius, bet ir socialinius – kultūrinius pradus. Geomorfologija tapo mokslu, kiekybiškai apibūdinančiu Žemę ir jos žmonijos gyvenamąją aplinką (Jania, 2004).

4. Reljefo generalizacijos metodai panaudojant LIDAR duomenis

Natūralaus dydžio žemės paviršiaus ar didesnės jo dalies pavaizduoti kartografiniame kūrinyje negalima. Kiekvienas kartografinis vaizdas yra sumažintas, o jame negalima parodyti visų vaizduojamų reiškinių ar objekto detalių. Dėl šios priežasties žemėlapyje vaizduojami ne visi, bet rinktiniai objektai ar reiškiniai. Šių objektų pasirinkimas priklauso nuo kartografinės generalizacijos.

Kartografinė generalizacija – tai mastelio nulemtas tikslingas svarbiausių kartografuojamų objektų apibendrinimas ir atrinkimas, siekiant žemėlapyje pavaizduoti būdingus tikrovės bruožus ir savybes, susijusias su žemėlapių tematika ir paskirtimi.

Visų generalizacijos sprendimų pradinė sąlyga – neiškraipyti būdingų kartografuojamos teritorijos bruožų. Generalizuojant vaizdą, būtina atkreipti dėmesį į tris pagrindinius dalykus: žemėlapijo mastelį, temą ir paskirtį. Visa tai lemia vaizdo generalizacijos pobūdį: kartografuojamų objektų kontūrus, jų kokybės ir kiekybės apibendrinimus bei objektų atrinkimą. (Česnulevičius, Švedas, 2013)

Kartografinė generalizacija yra atliekama pritaikant įvairias generalizacijos operacijas turimiems duomenims. Išskiriami keturi pagrindiniai veiksmai – panaikinti (eliminate), supaprastinti (simplify line), apjungti (dissolve) ir pritraukti (snap) – kurie dažniausiai yra naudojami juos derinant tarpusavyje.

Įrankis „panaikinti“ (eliminate) pašalina pažymėtus plotų objektus prijungiant juos prie bendrą ribą turinčių objektų. Eliminavimo veiksmą galima atlikti pagal ribą – tuomet bus prijungiama prie ploto objekto, su kuriuo apjungto ploto ribos ilgis bus didžiausias. Jei eliminavimas pagal ribą nepasirenkamas – tuomet prijungiama prie ploto objekto, su kuriuo apjungto ploto užimamas plotas bus didžiausias.

Įrankis „supaprastinti“ (simplify line) pasirinktu algoritmu supaprastina linijinį objektą sumažindamas viršūnių kiekį. Viršūnės pašalinamos taip, kad atstumas nuo bet kurios pradinės linijos viršūnės iki pačios supaprastintos linijos būtų ne didesnis už supaprastinimo dydį. Algoritmas nekeičia linijos objekto pradžios ir pabaigos taškų, o supaprastinto objekto likusios viršūnės sutampa su pradinio objekto viršūnėmis.

Įrankis „apjungti“ (dissolve) apjungia linijų arba plotų objektus. Priklausomai nuo to kokie apjungimo pasirinkimai pažymimi:

Dissolve Field – apjungiami tik objektai turintys identišką atributinę informaciją;

Create multipart features – objektai apjungiami į sudėtinius objektus;

Jei pasirinkimai nepažymimi – sujungiami bendrą geometriją turintys objektai (linijos besijungiančios pradžios ar pabaigos taškais, persidengiantys arba bendras kraštines turintys plotai).

Įrankis „pritraukti“ (snap) pritraukia objektų viršūnes prie esamų objektų artimiausios dalies pagal pasirinktą pritraukimo tipą. Pritraukimo tipai gali būti:

END – pritraukiama prie artimiausių pradžios ar pabaigos taškų;

VERTEX – pritraukiama prie artimiausios viršūnės;

EDGE – pritraukiama prie artimiausios briaunos.

Šiais būdais įrankis keičia pritraukiamų duomenų viršūnių padėtį, tačiau naujų viršūnių nesukuria (Papšienė ir kt., 2013).

Veiksmai „panaikinti“ ir „supaprastinti“ yra palyginti panašūs savo koncepcijomis ir algoritmais. Jie neatlieka svarių padėties pakeitimų duomenyse, taip pat neiškraipo taškų debesies ir kaimyninių taškų padėčių. Šie veiksmai visada atlieka skaičiavimus individualiai, todėl gali būti taikomi nuosekliai – nors jie ir panaikina kai kuriuos pirminius duomenis, jie nesukuria jokių naujų funkcijų ar struktūrų.

Veiksmai „apjungti“ ir „pritraukti“ yra žymiai kompleksiškesni. Jie atlieka pozicinį transformavimą, kuris turi įtakos kaimyniniams objektams. Veiksmai gali sukelti grandininę reakciją – paslinkdami vieną objektą, paslinksime daugelį kaimyninių objektų, kurie neturėtų būti judinami. Šie veiksmai negali apsiriboti pavieniais objektais paeiliui – jie pertvarko turimą erdvę ir sukuria naujas struktūras. „Apjungti“ ir „pritraukti“ veiksmai reikalauja daug specifinių žinių apie generalizuojamą objektą, taip pat apie erdvinius objektų tarpusavio santykius.

Specifinių generalizacijos veiksmų taikymas parenkamas remiantis įvairiais kriterijais. Svarbiausi yra: sumažinimo lygis, duomenų kompleksškumas ir generalizacijos tikslas. Sumažinimo lygis svarbus, nes kuo stambesnis būsimo žemėlapiio mastelis, tuo mažiau vietos lieka žemėlapiio elementų atvaizdavimui. Šiuo atveju veiksmai „panaikinti“ ir „supaprastinti“ neduos norimo rezultato, taigi teks imtis kompleksinio problemos sprendimo, reorganizuojant ir paslenkant objektus. Vykdam generalizaciją, duomenų kompleksškumas gali nulemti informacijos persidengimus, taigi ir šiuo atveju turės būti pritaikyti „apjungimo“ ir „pritraukimo“ veiksmai.

Skaitmeninėje aplinkoje, generalizacijos tikslas gali įgauti įvairių formų – kuriant naujus žemėlapius iš senų, vartotojas gali norėti pakeisti skaitmeninę kartografinių duomenų bazę į kitą, jau generalizuotą duomenų bazę, norėdamas sumažinti duomenų apimtį ar sutrumpinti jų apdorojimo trukmę. Tokiu atveju keičiant geometriją svarbu išsaugoti duomenų turinį kaip įmanoma tikslesnį. Mažinant duomenų apimtį ir siekiant jų neiškraipyti geriausia naudoti veiksmus „panaikinti“ ir „supaprastinti“.

Atsižvelgiant į prieš tai paminėtus veiksmus, galima išskirti dviejų tipų skaitmeninių duomenų apdorojimo procedūras – filtravimo ir apibendrinimo. Filtravimas („panaikinti“ ir „supaprastinti“) gali būti taikomas tik nedidelio masto pakeitimams mažo grafinio sudėtingumo duomenims generalizuoti, o apibendrinimas („apjungti“ ir „pritraukti“) yra orientuotas į aukšto grafinio

sudėtingumo duomenis. Šiuos reikalavimus būtina turėti omenyje, kuriant automatinio ir pusiau automatinio kartografinio generalizavimo funkcijas.

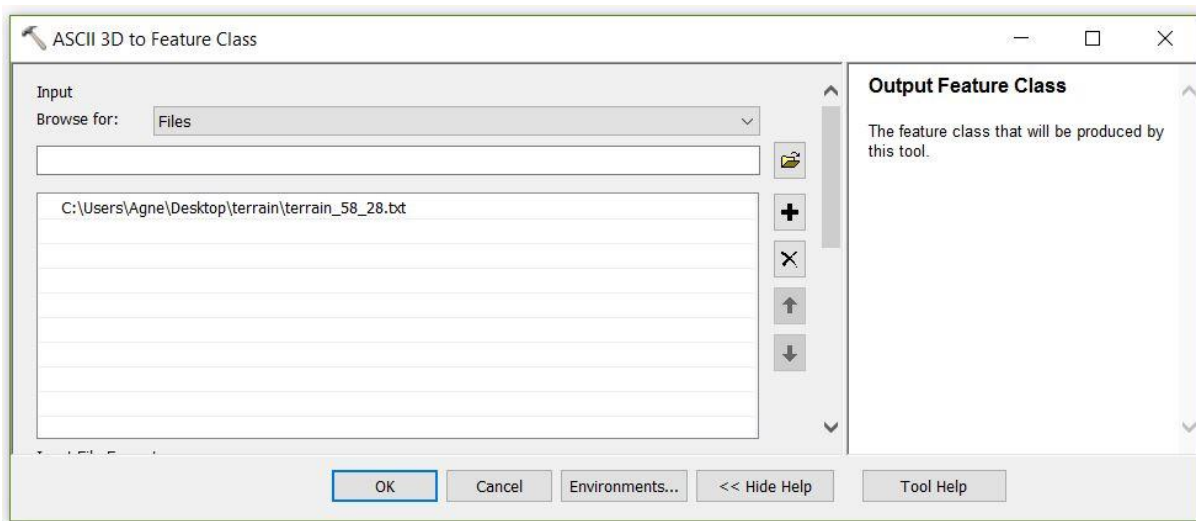
4.1. Pusiau automatinis generalizacijos metodas

Sudarant skaitmeninius reljefo modelius naudojantis LIDAR duomenimis, kitaip nei matavimų duomenimis iš lėktuvo ar dirbtinio žemės palydovo, išvengiama daugelio paviršiaus duomenų fragmentų trūkumo, kurių dėl tankios augalijos ar kitų priežasčių užfiksuoti neįmanoma. Lazerinio skenavimo technologija leidžia sumažinti klaidų kiekį reljefo modelyje (Gokgoz T., Baker M., 2015).

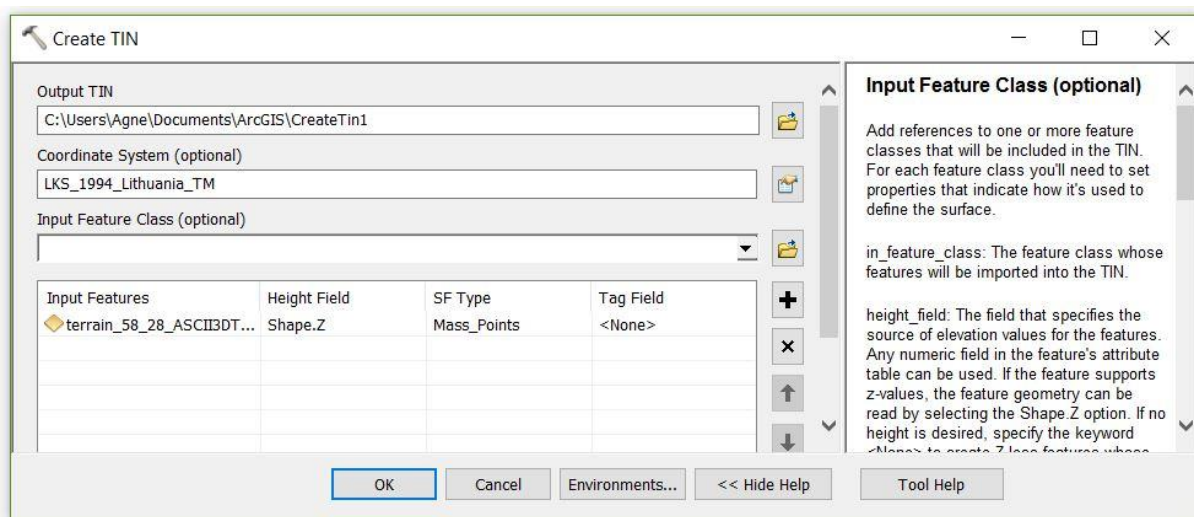
Tiek iš LIDAR debesies sukurti duomenys, tiek atlikti įvairūs skaičiavimai eksportuojami į GIS formatus ir vėliau naudojami kartografavimui, įvairių modelių kūrimui, erdvinei analizei. Šiame skyriuje pateikiami etalonų reljefo žemėlapiai buvo sudaryti vadovaujantis 3 paveiksle pateikta metodika, „ESRI“ įmonės programinės įrangos „ArcGIS“ programa pusiau automatinio generalizacijos metodu. Šiuo metodu kiekvienam pirminiui reljefo modeliui rankiniu būdu buvo pritaikyti interpoliacijos ir generalizacijos veiksmai. Šiuo metodu atlikti reljefo apibendrinimo darbai padeda siekti pilnai automatinės optimizuotos generalizavimo procedūros.

Siekiant įsitikinti turimų LIDAR duomenų tinkamumu (kad jie apima tik žemės paviršiaus taškų duomenis, o ne ant žemės paviršiaus esančių objektų aukščių duomenis), jie buvo įkelti į Arcmap programą. Panaudojant programos įrankį 3D Analyst (11 pav.) buvo sukurti TIN (trianguliaciniai) modeliai (12 pav.) ir atliktas pradinis vizualinis vertinimas (13 pav.).

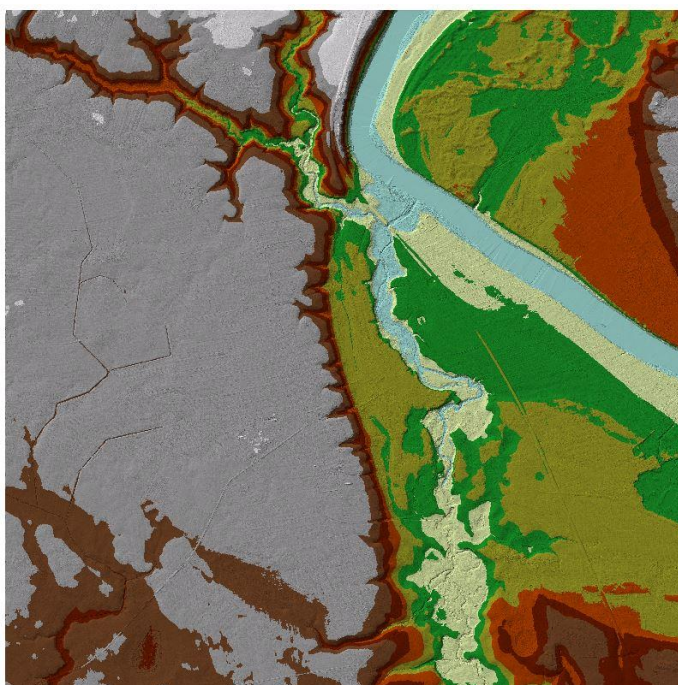
Iš gauto trianguliacinio modelio paviršiaus galima matyti, kad LIDAR duomenys atspindi žemės paviršiaus modelį. Modelyje nėra stačių viršūnų ar kitų klaidų, kurios nurodytų pamatuotus medžius ar kitas dirbtines reljefo formas. Taigi duomenys yra tinkami tolimesniam darbui.



11 pav. 3D Analyst duomenų įvesties langas



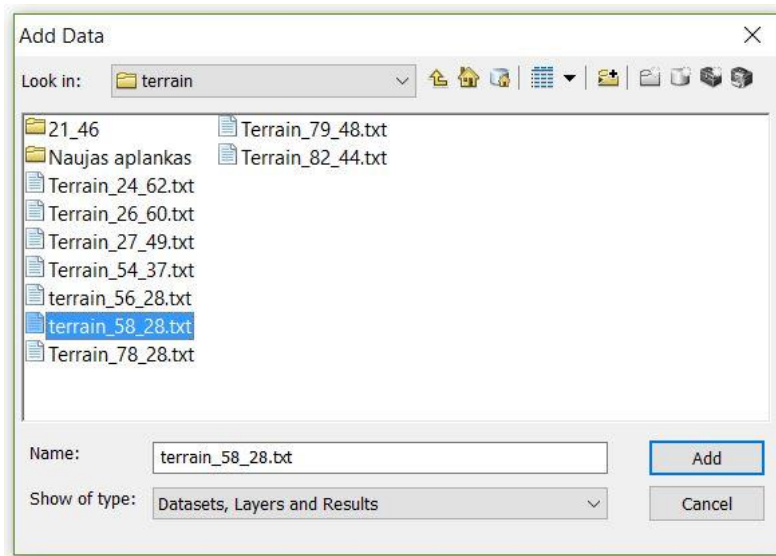
12 pav. TIN duomenų kūrimo langas



13 pav. TIN modelis

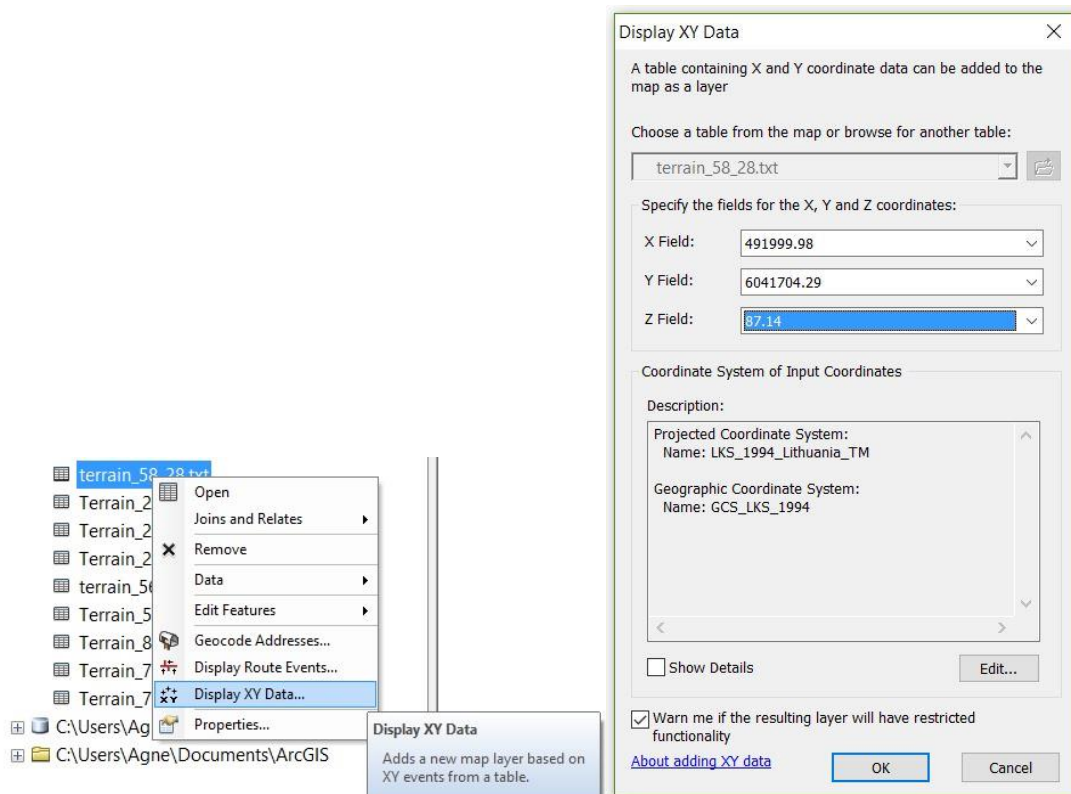
Įsitikinus duomenų tinkamumu, tolesniam darbui kuriami interpoliuoti paviršiai. Tai reikalinga, kad gautume duomenų įverčius tarp turimų taškų ir būtų suskaičiuojamos koordinatės bet kuriame paviršiaus taške. Kuriant interpoliuotus paviršius vadovaujamosi keturiais pagrindiniais žingsniais:

1. Tekstinio failo įkėlimas į „ArcMap“ aplinką;



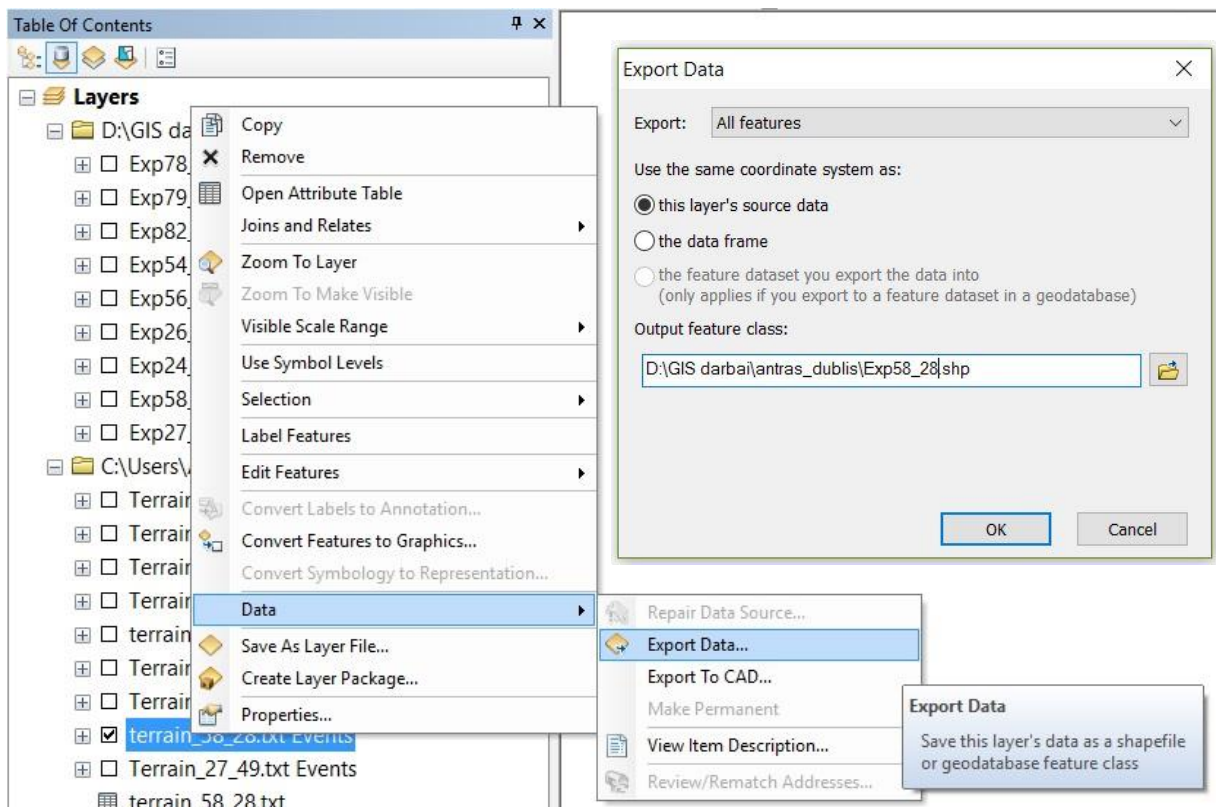
14 pav. Tekstinio failo įkėlimas į „ArcMap“ aplinką

2. X, Y ir Z koordinatžių priskyrimas laikiname sluoksnyje (Events Layer);



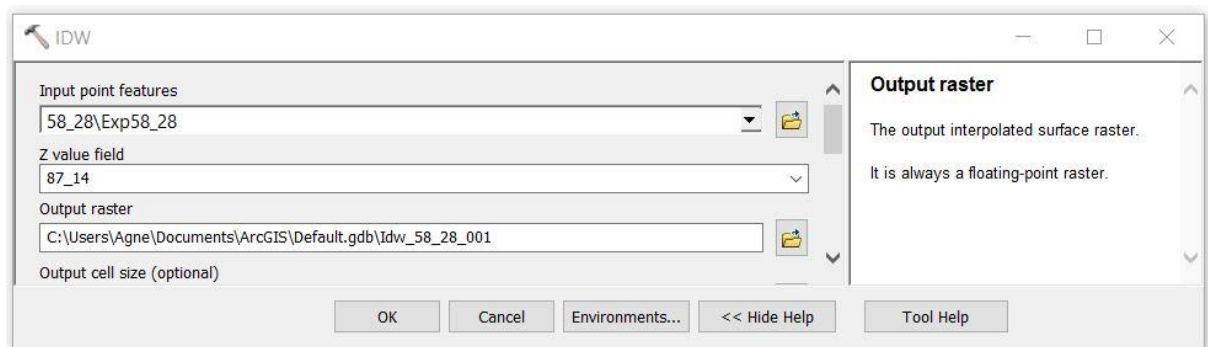
15 pav. Koordinatžių ir koordinatžių sistemos priskyrimas

3. Laikinojo sluoksnio konvertavimas į *.shp duomenų sluoksnį;



16 pav. Duomenų konvertavimas į *.shp sluoksnį

4. *.shp sluoksnio interpoliacija.



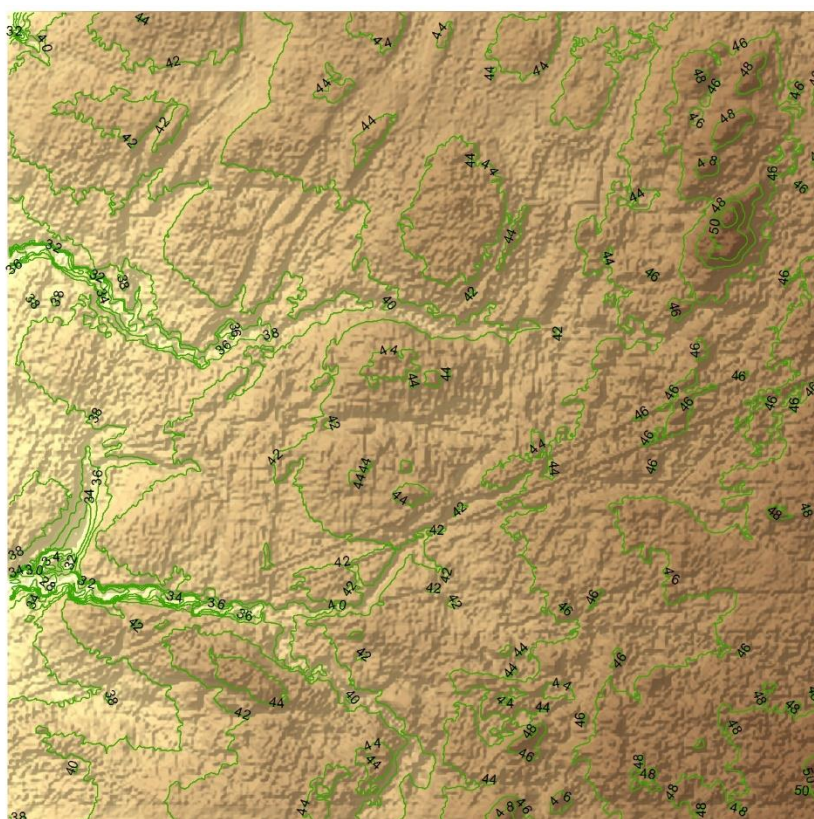
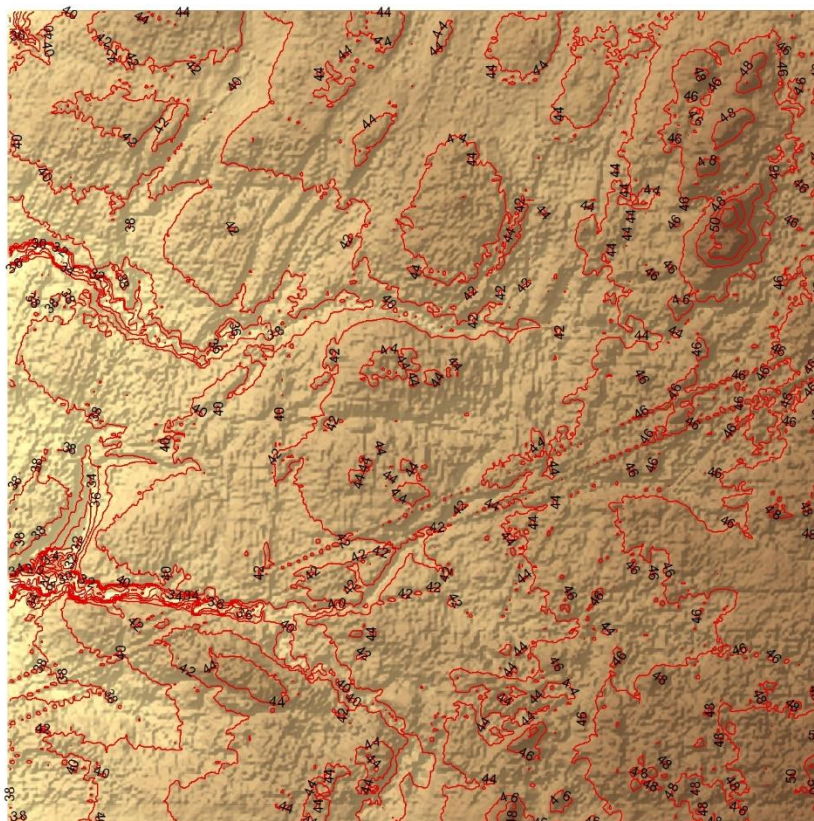
17 pav. Interpoliacijos duomenų įvesties langas



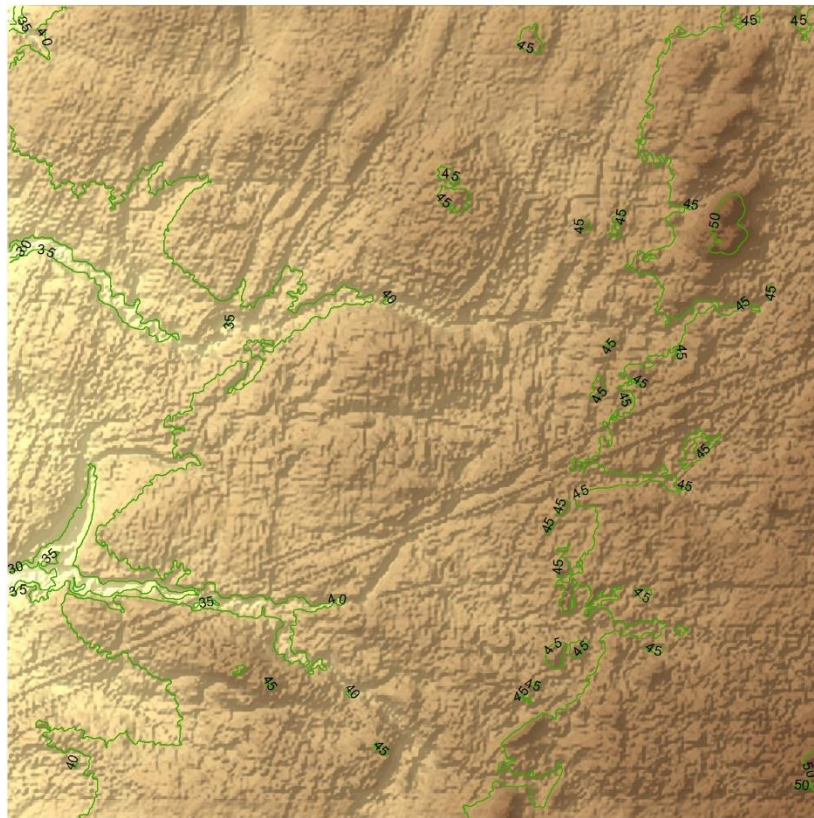
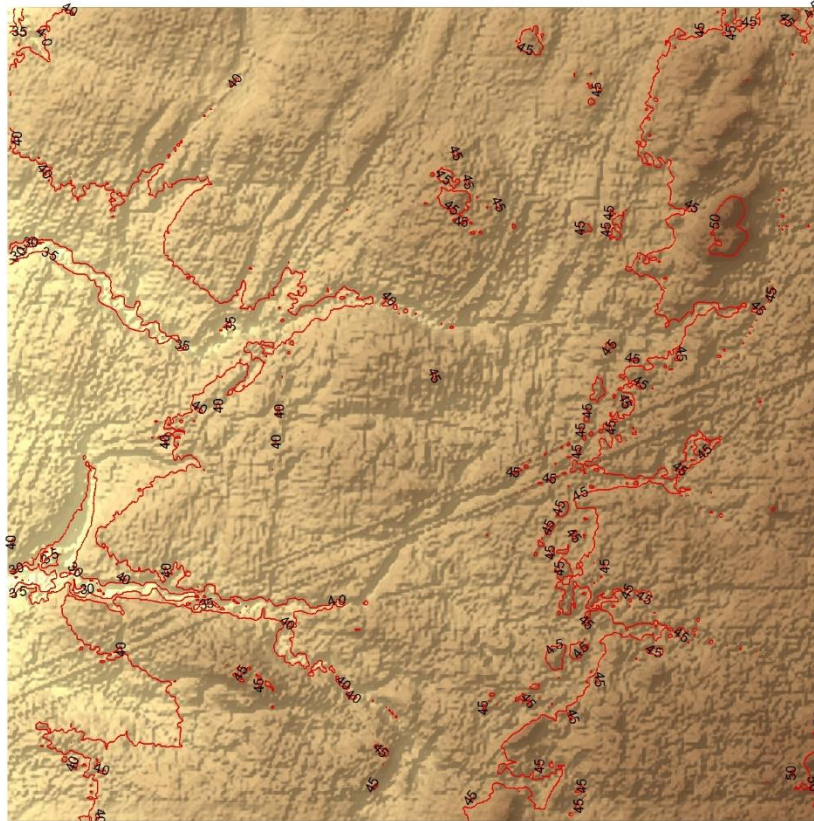
18 pav. Interpoliacijos rezultatas – reljefo modelis

Tyrimo rezultatai

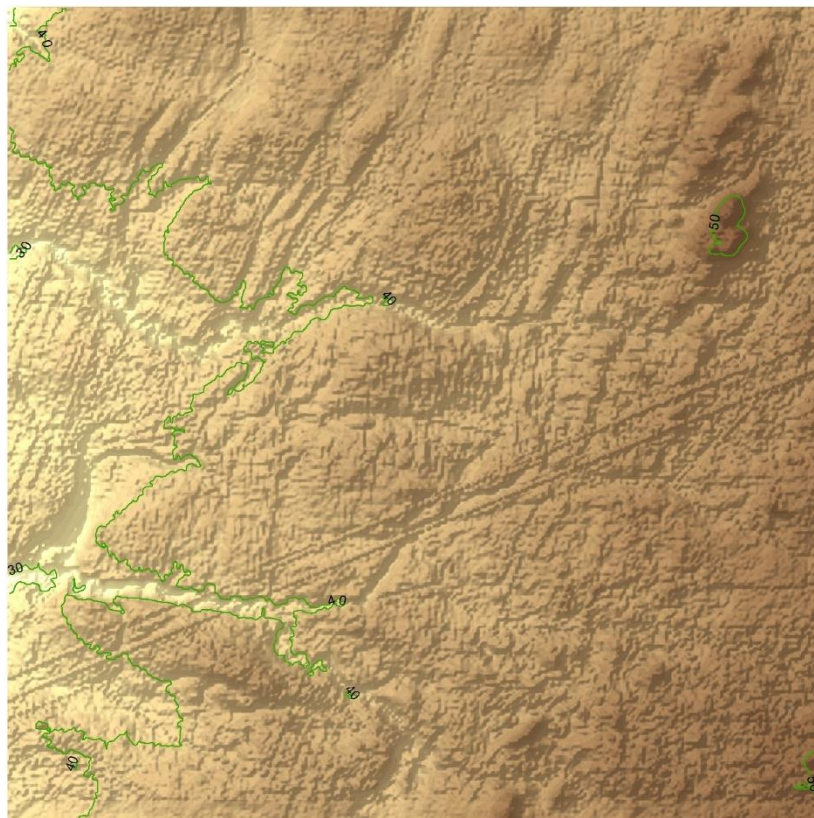
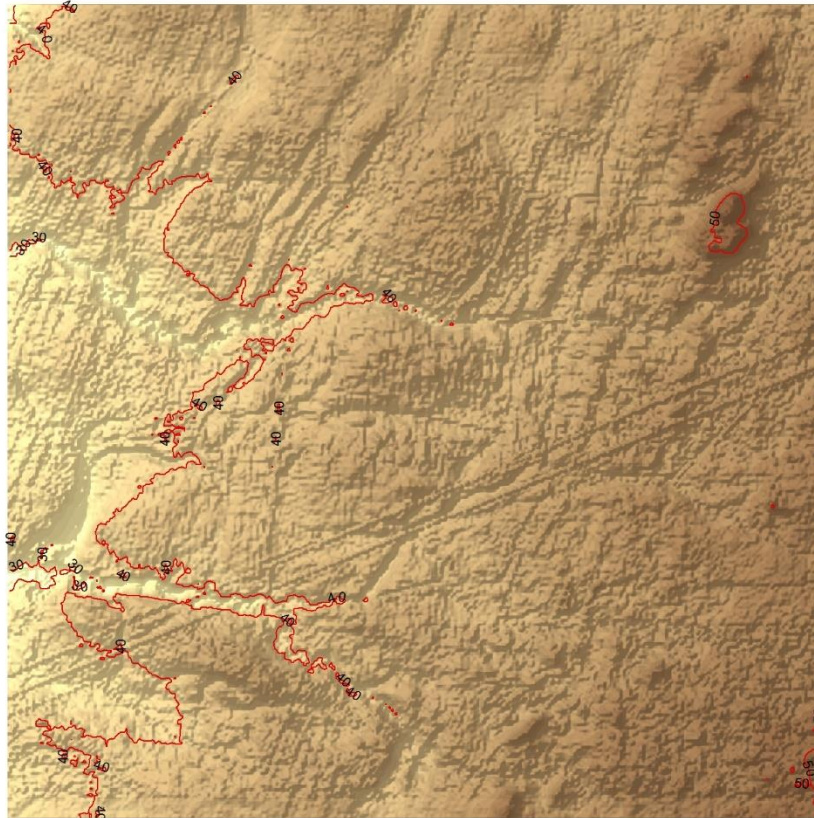
I etalonas – Moreninė lyguma



19 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 2 metrai

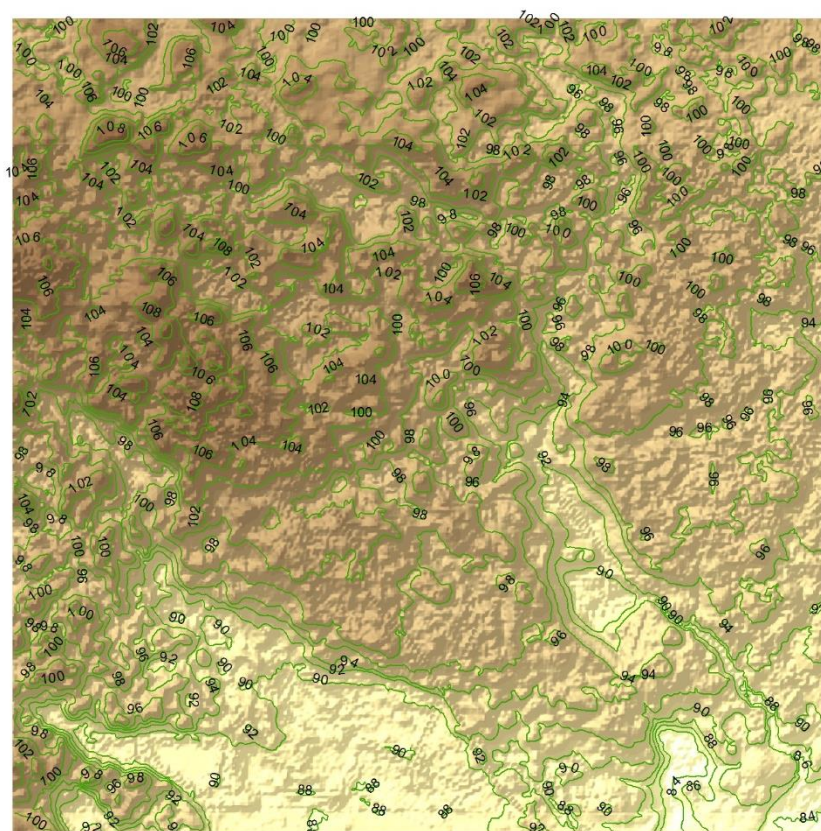
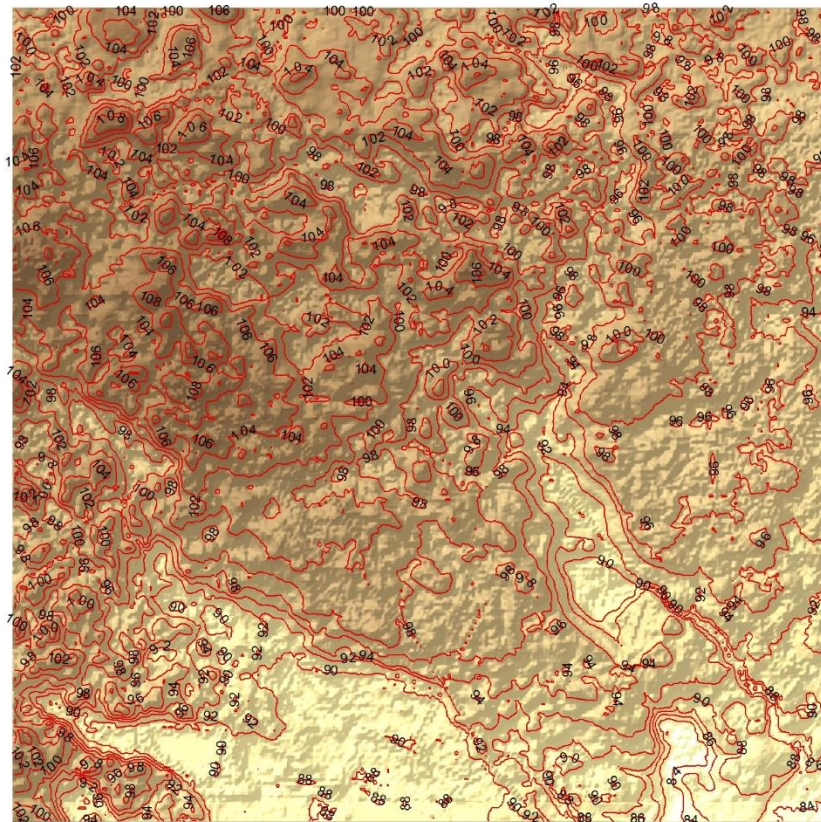


20 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 5 metrai

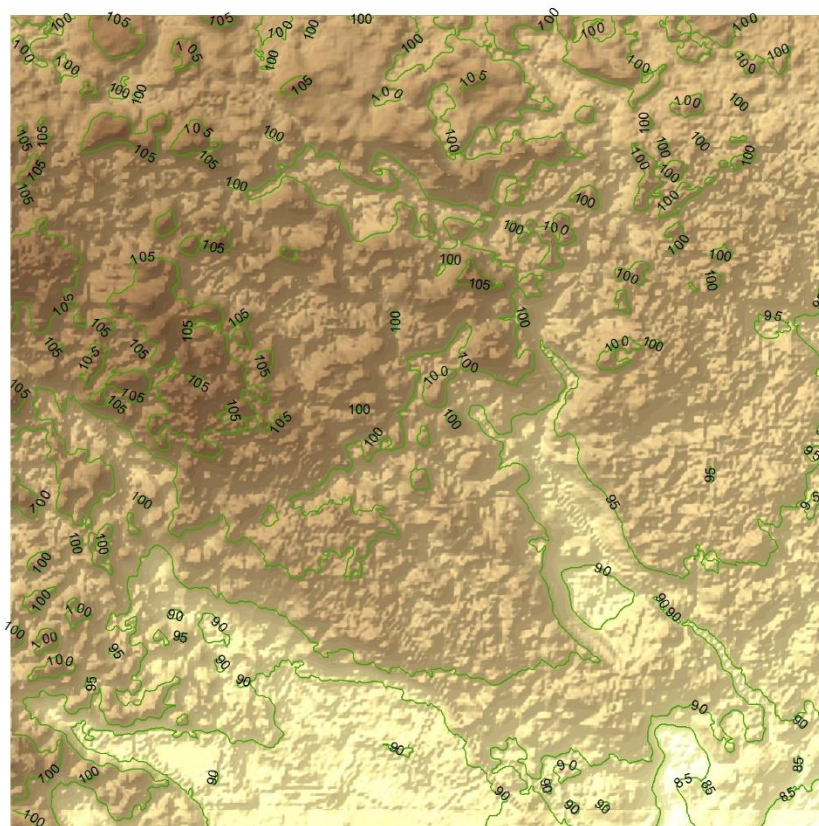
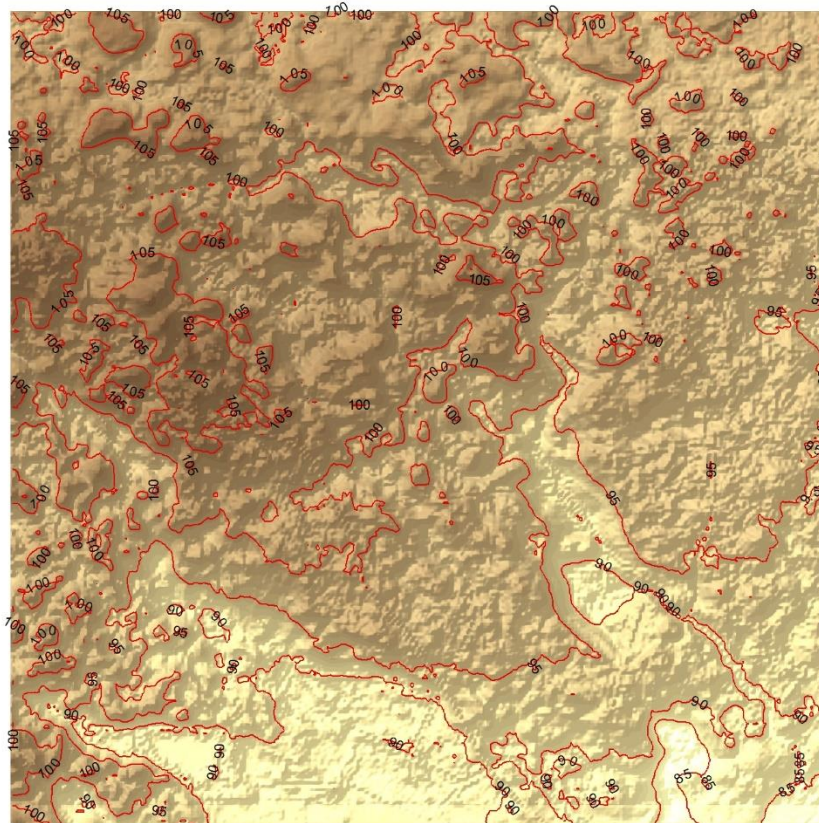


21 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 10 metrų

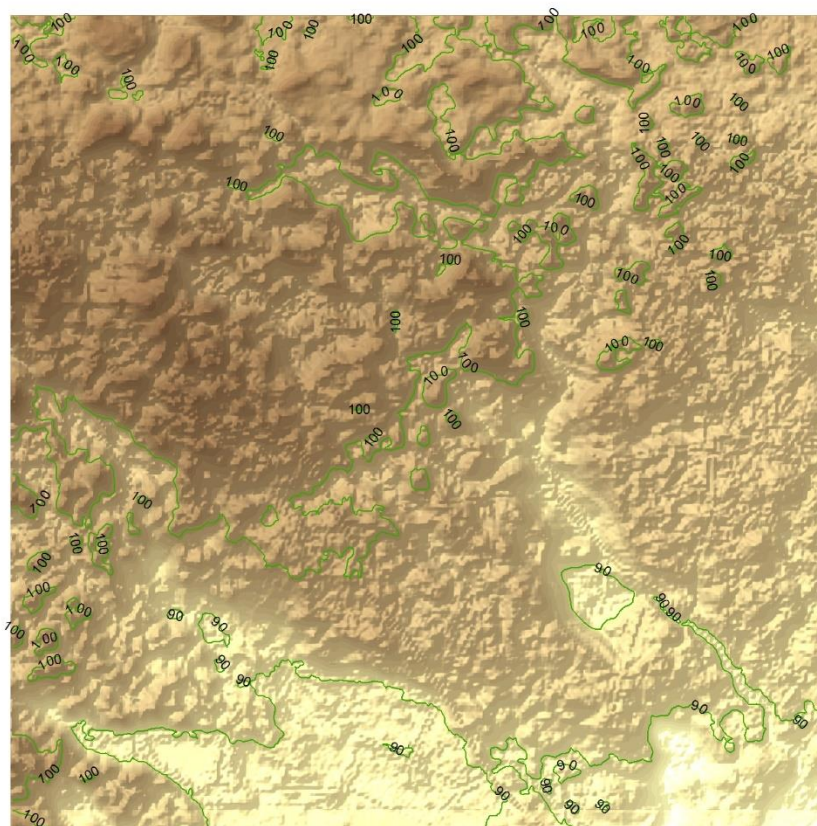
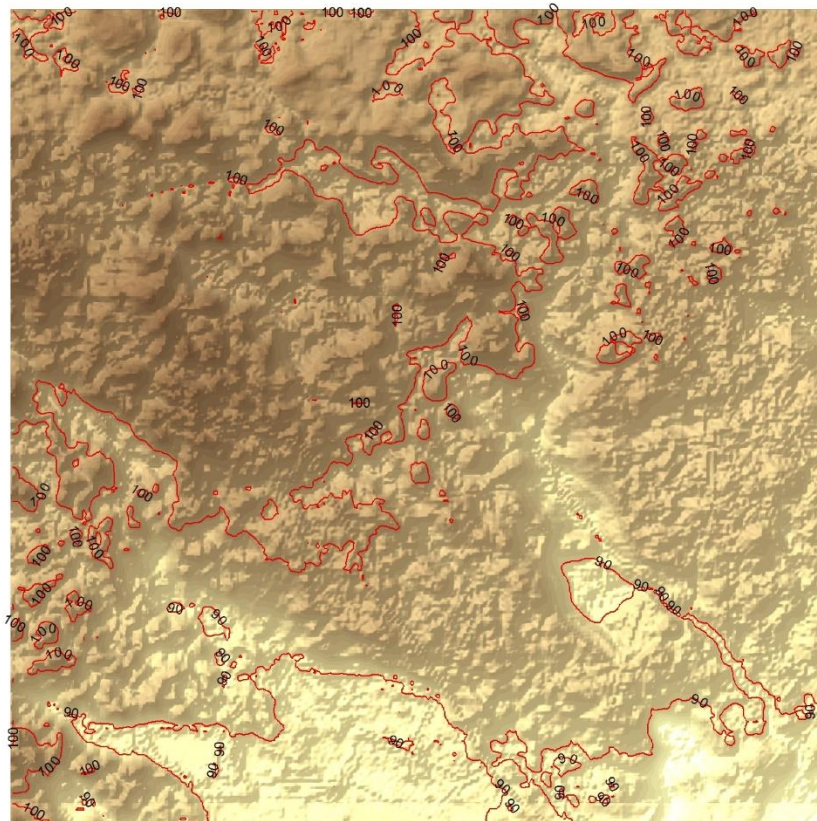
II etalonas – Priedėdininė ežerinė lyguma



22 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 2 metrai

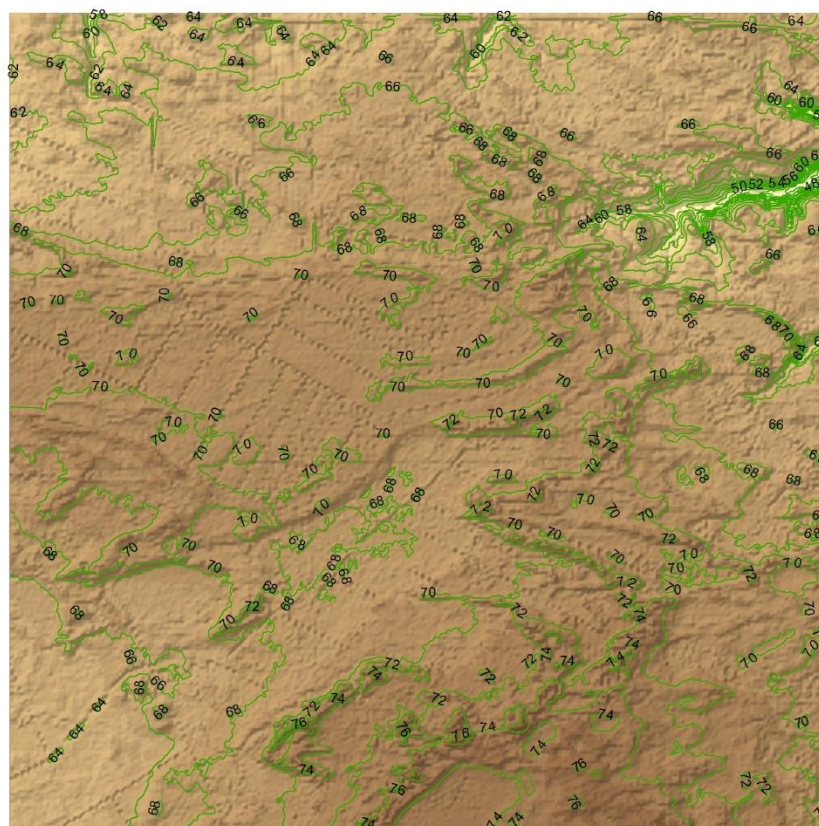
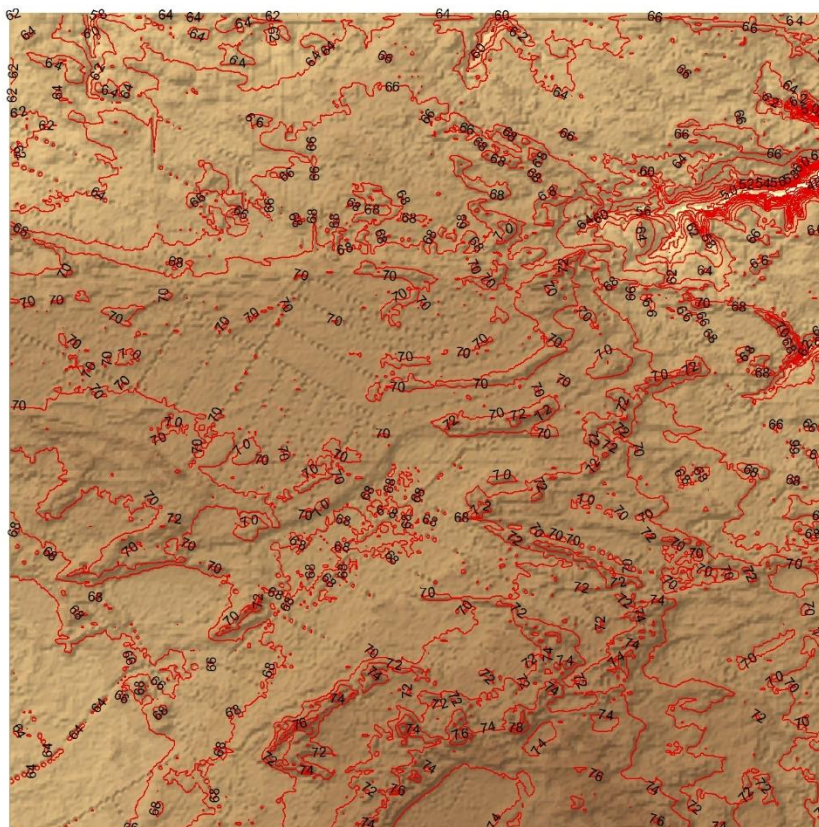


23 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrų, kai laiptas 5 metrai

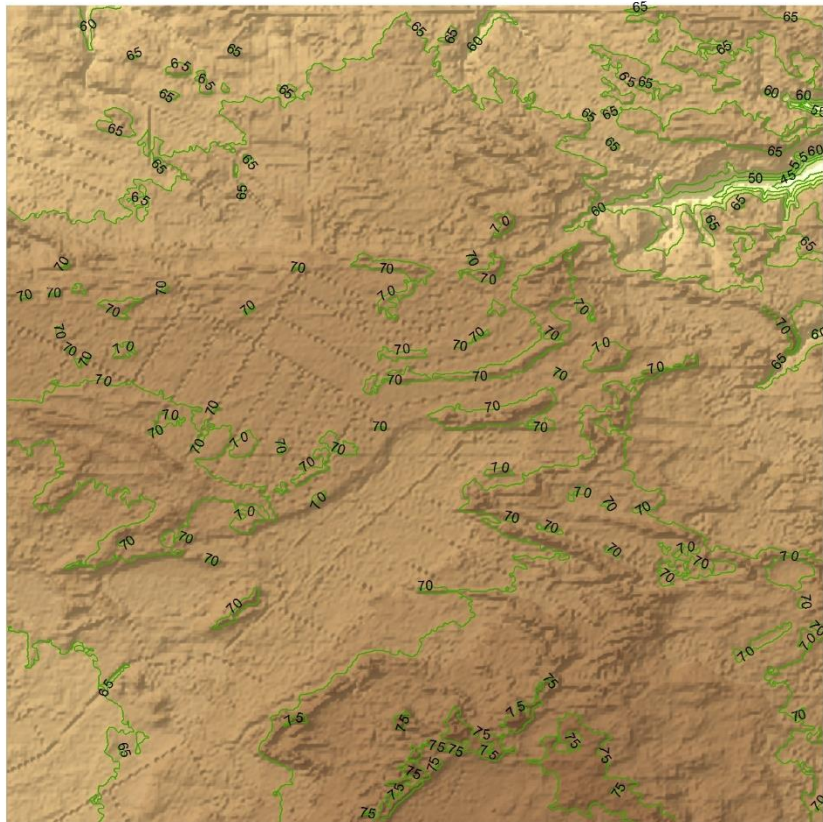
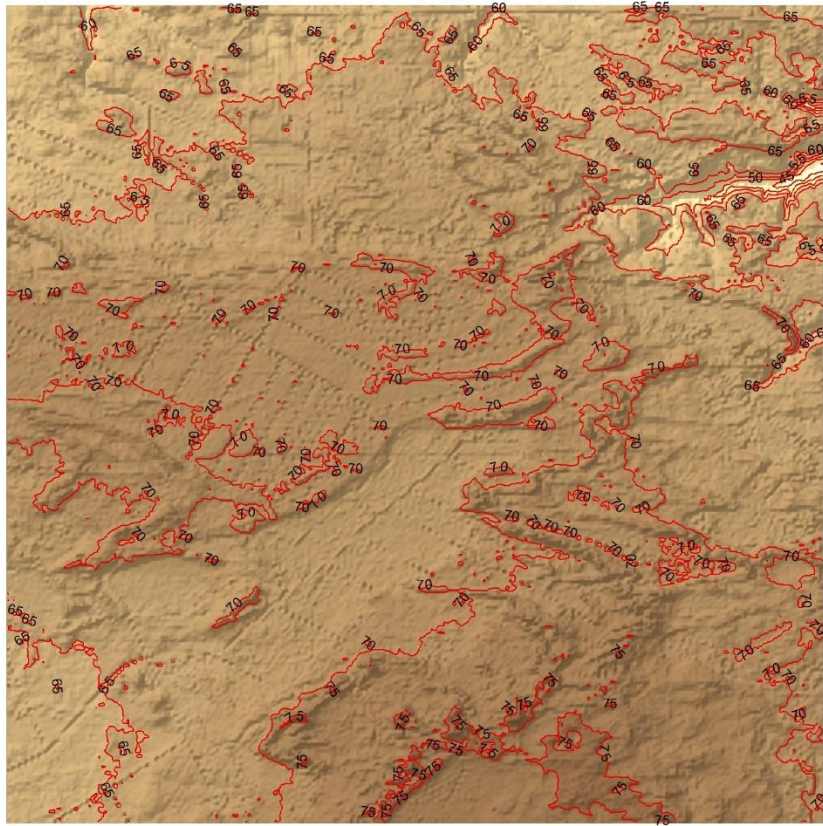


24 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 10 metrų

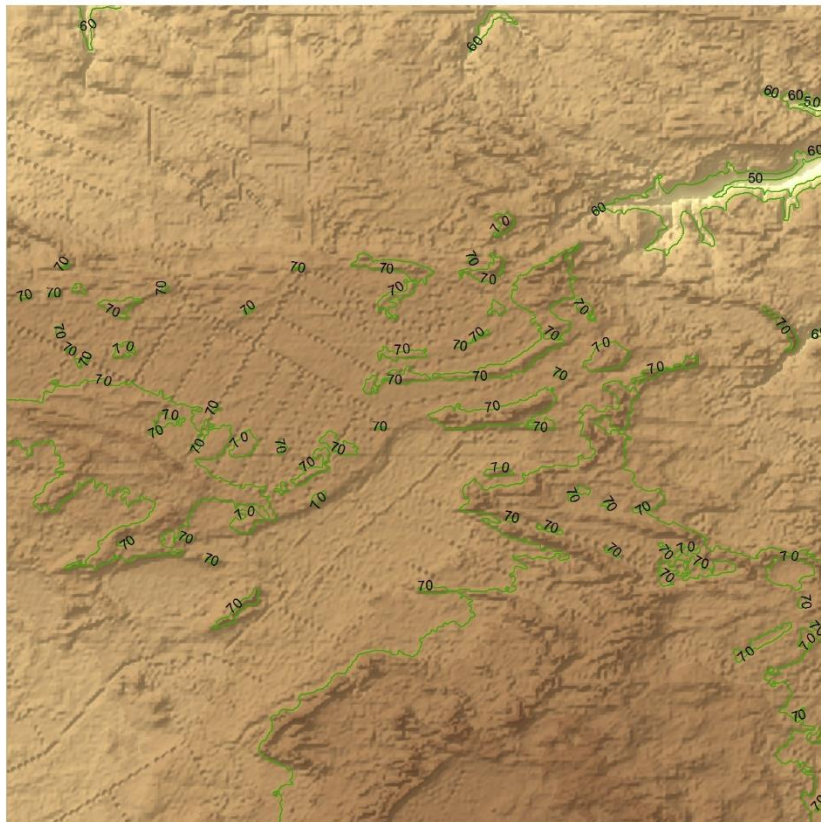
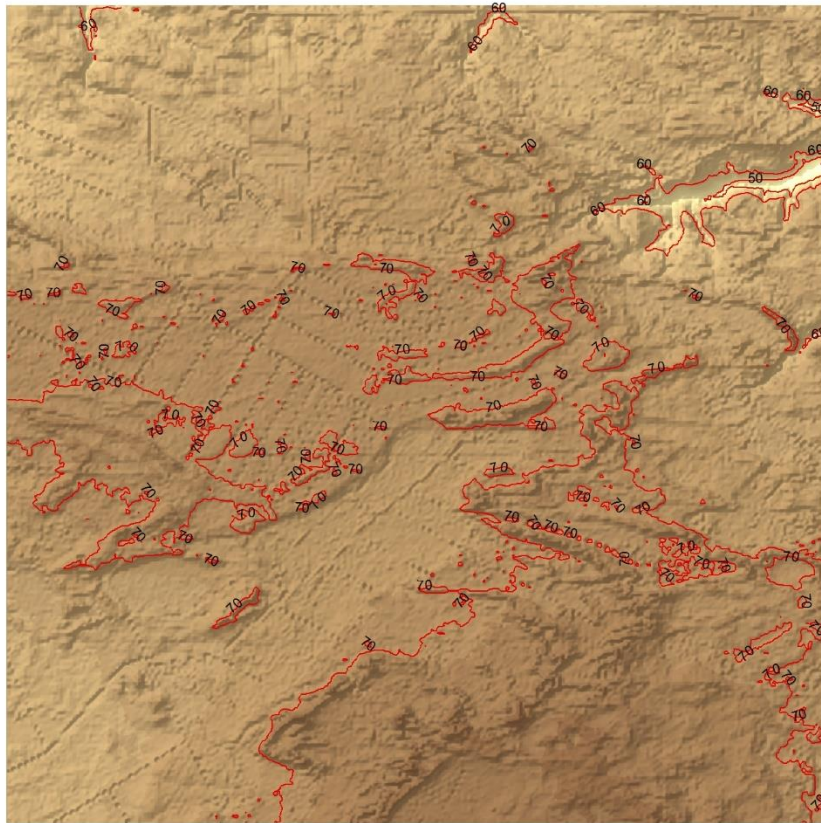
III etalons – Senovinė aliuvinė lyguma



25 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 2 metrai

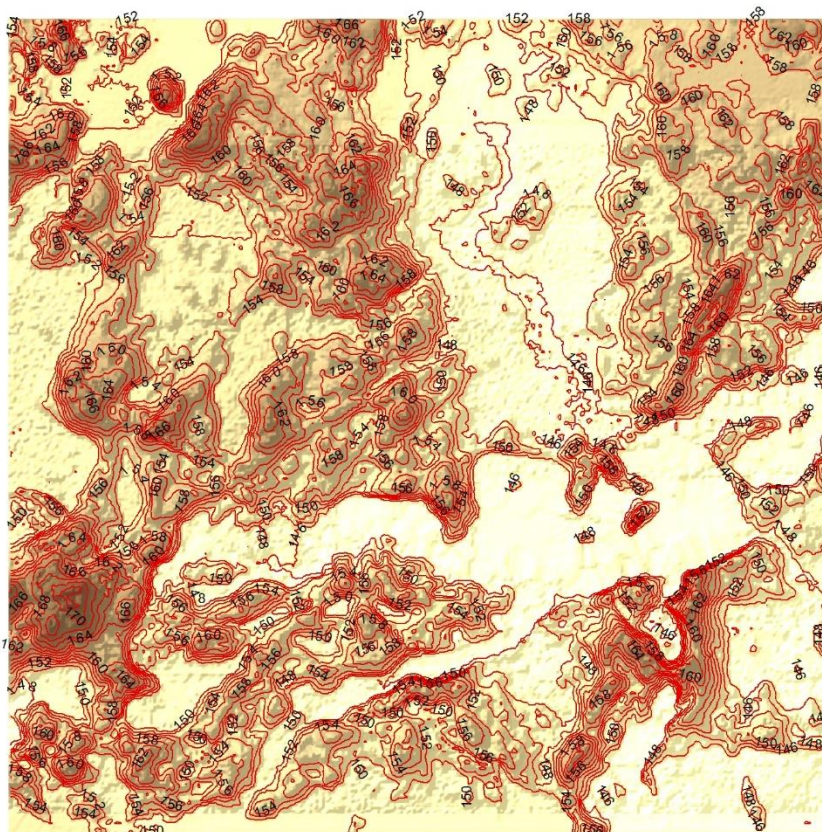


26 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 5 metrai

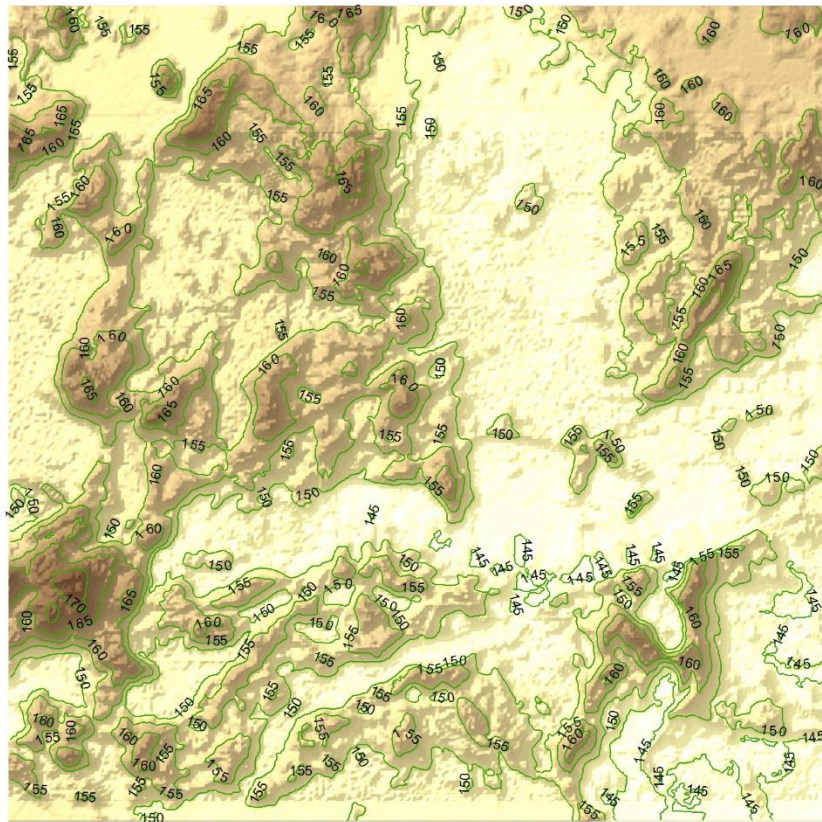
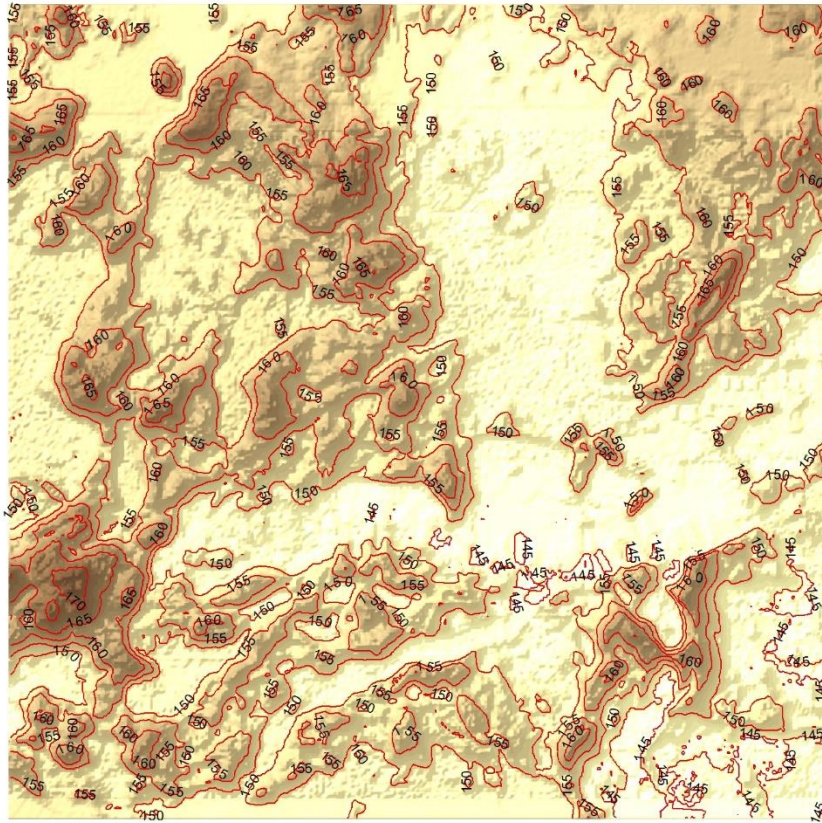


27 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 10 metrų

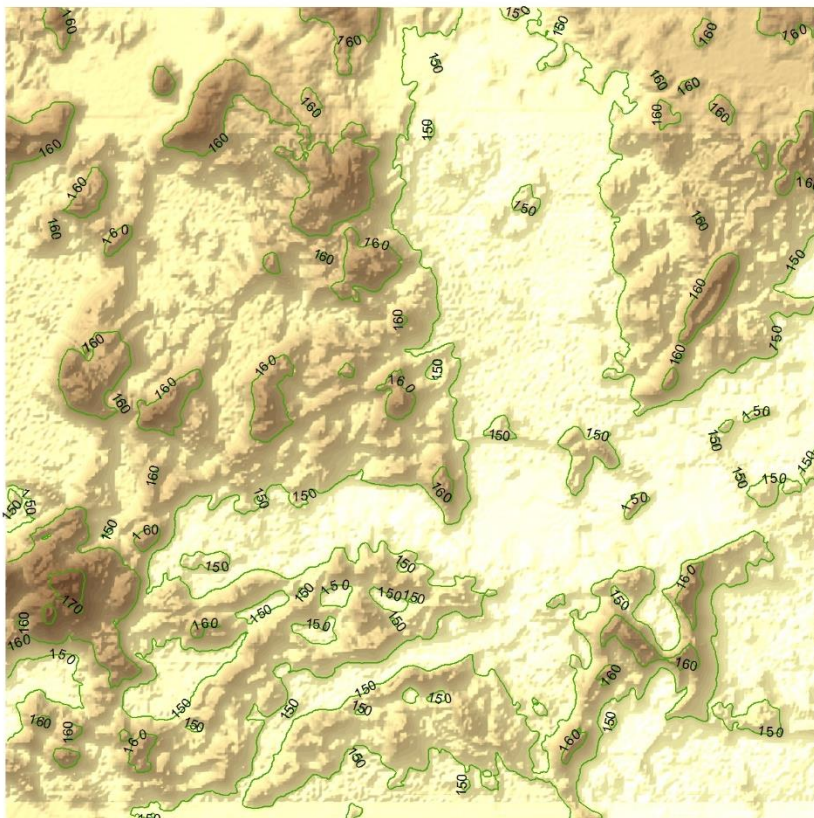
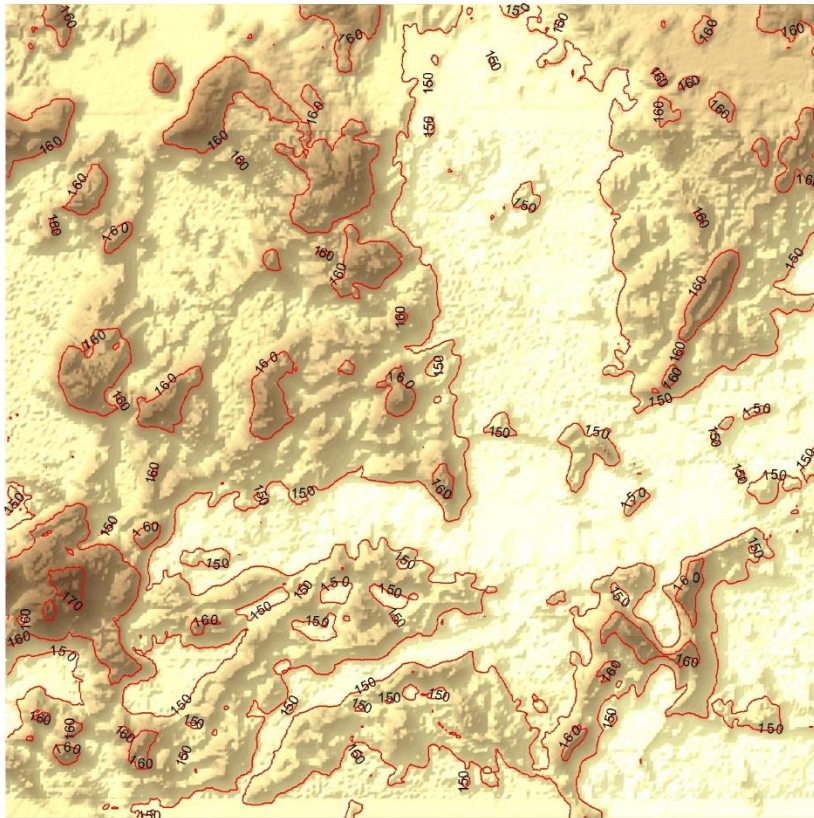
IV etalonas – Prieddyninė upinė (zandrinė) lyguma



28 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 2 metrai

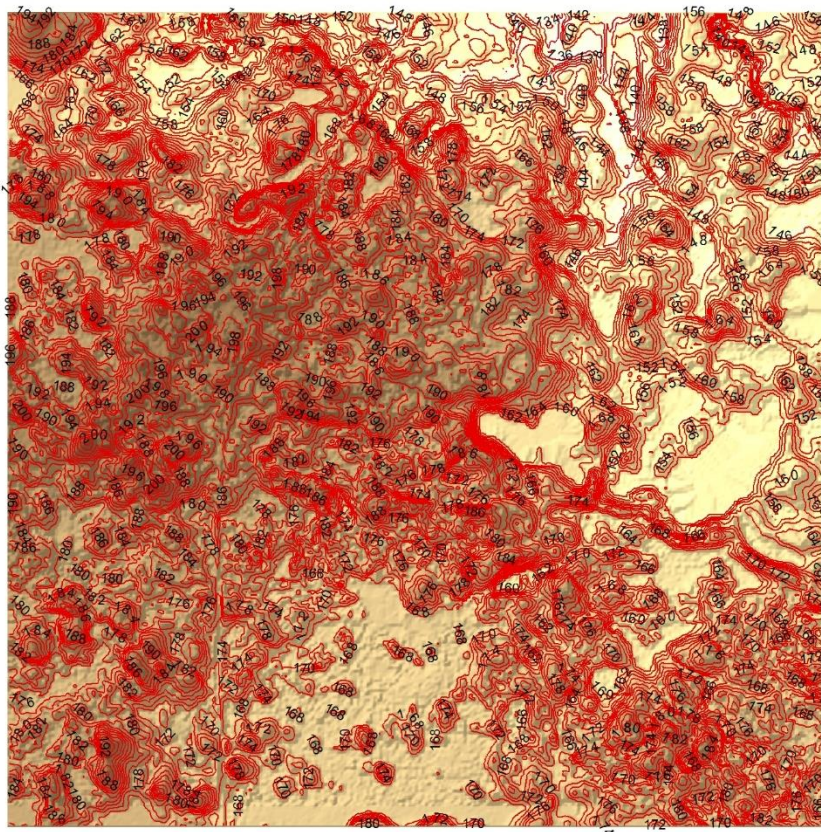


29 pav. Izohipsiu vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūru, kai laiptas 5 metri

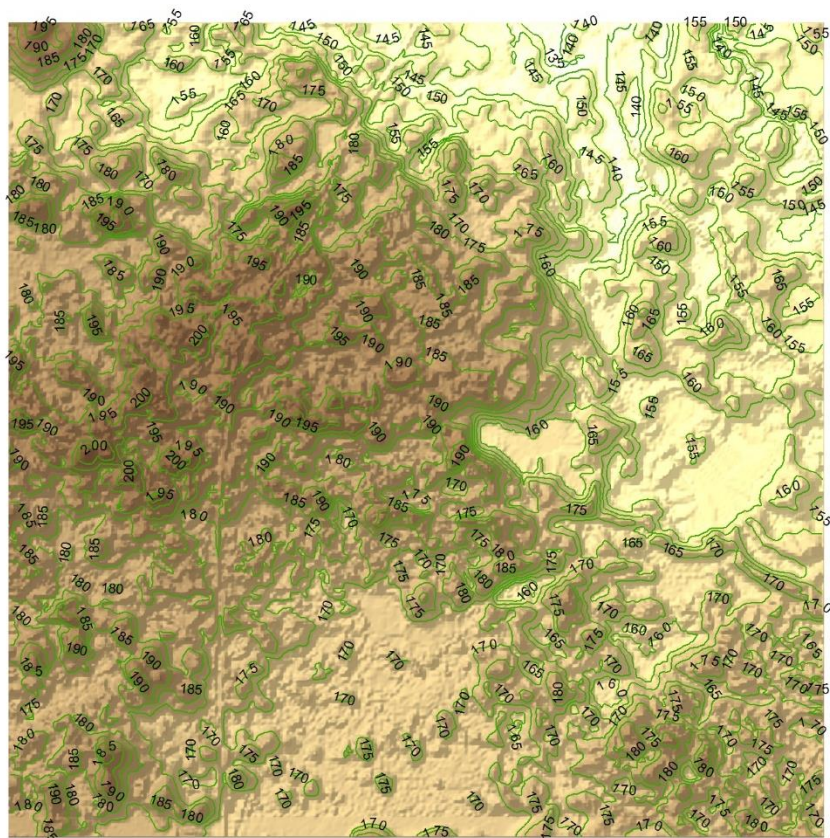
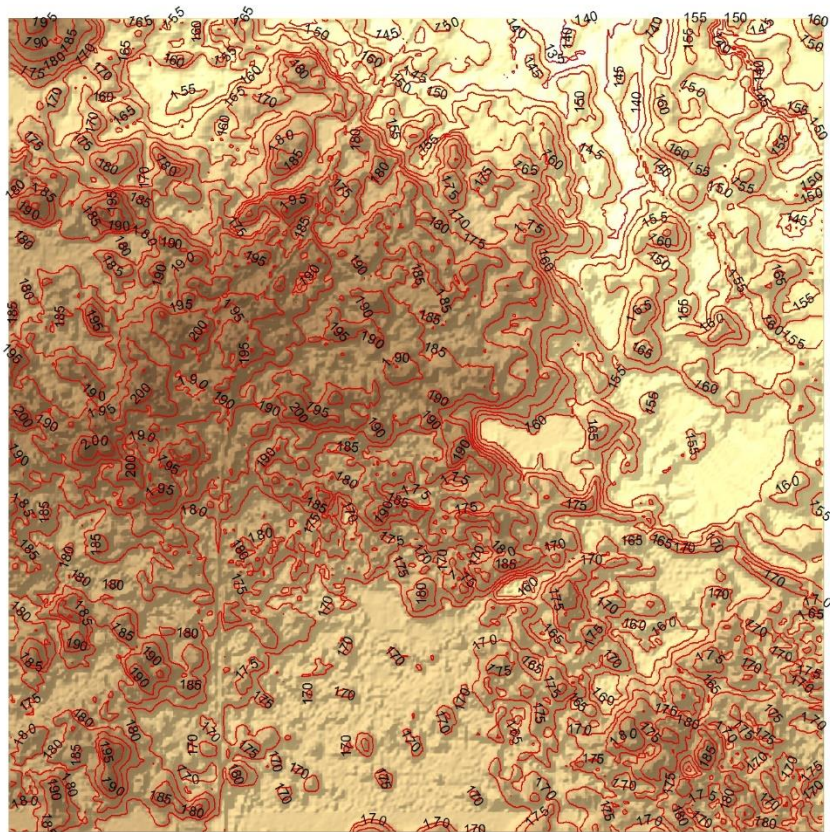


30 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 10 metrų

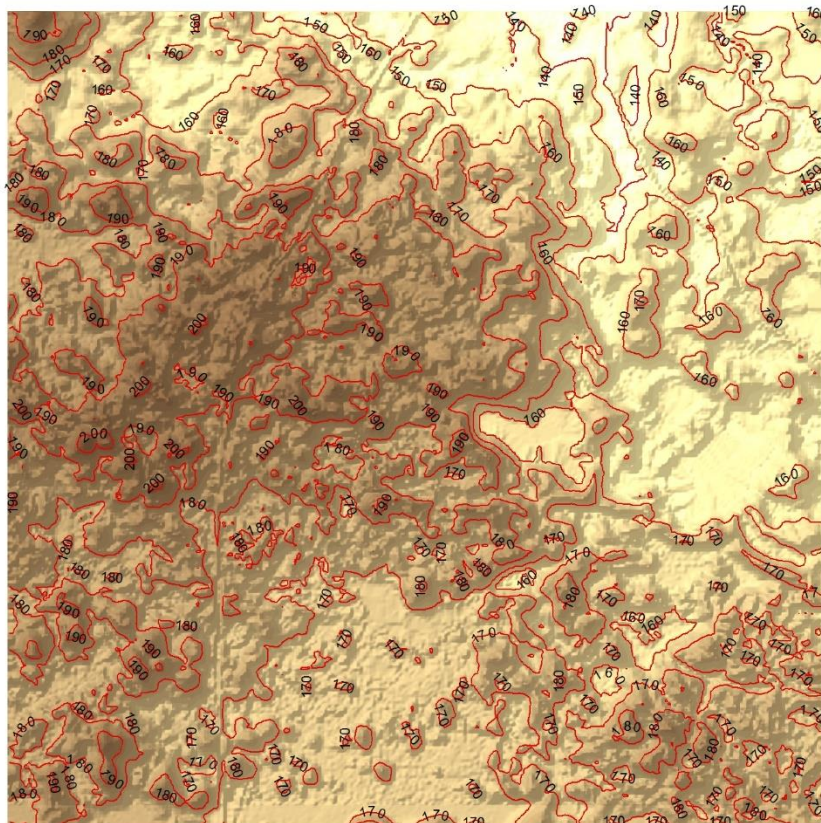
V etalonas – Kalvotoji moreninė ežeringa aukštuma



31 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 2 metrai

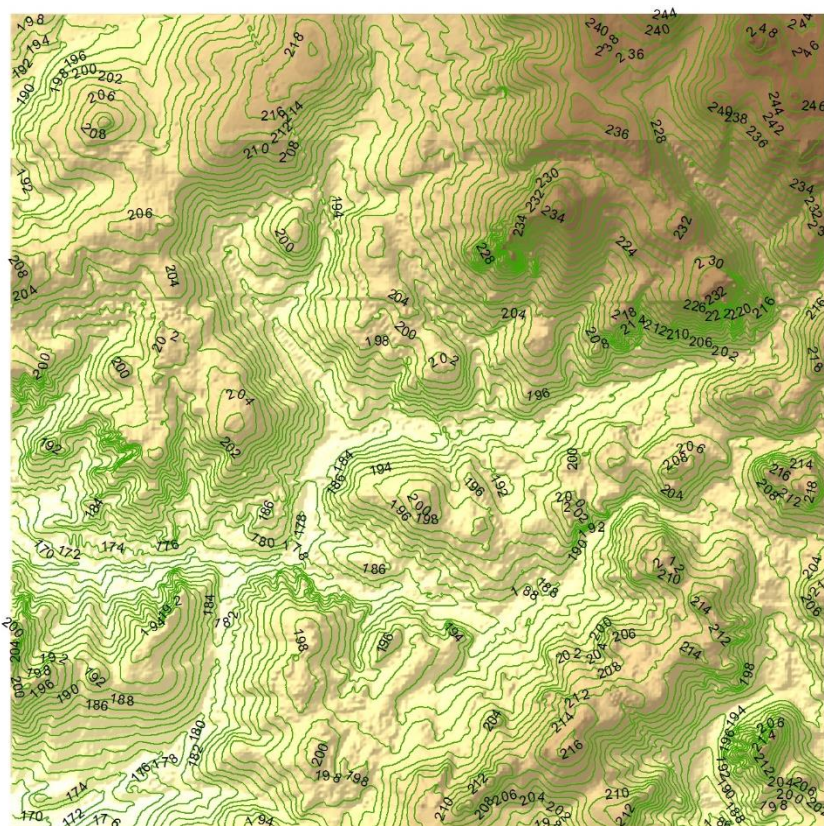
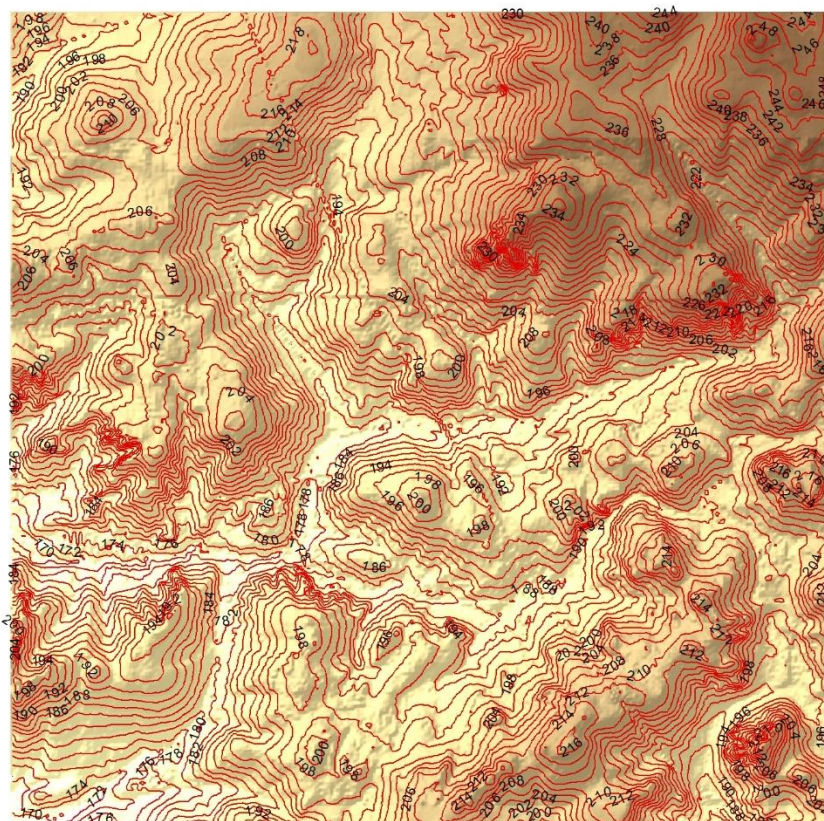


32 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 5 metrai

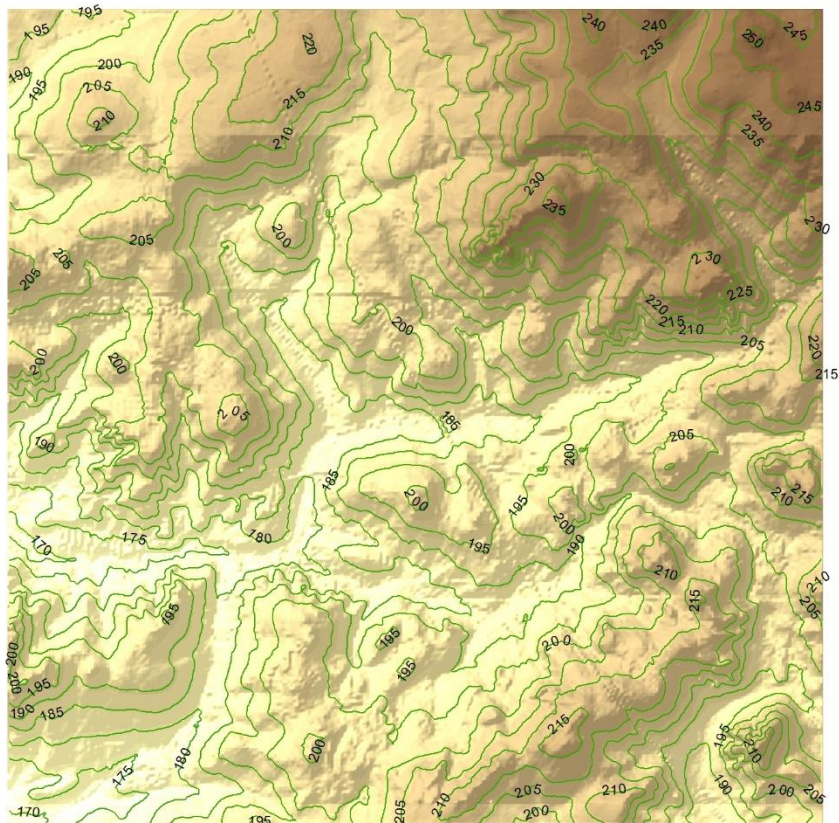
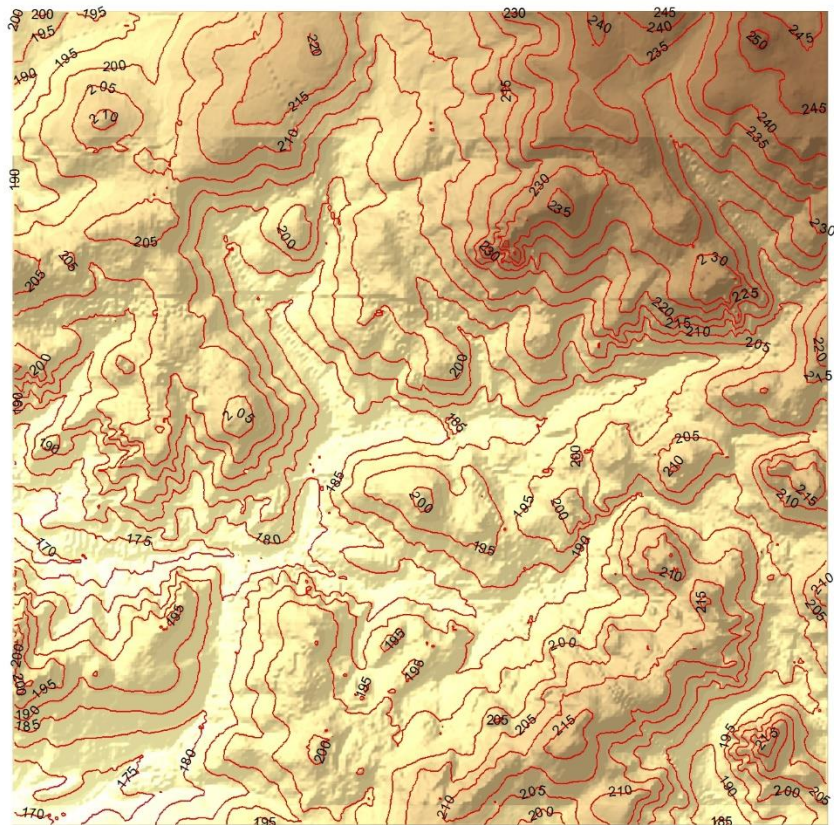


33 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 10 metrų

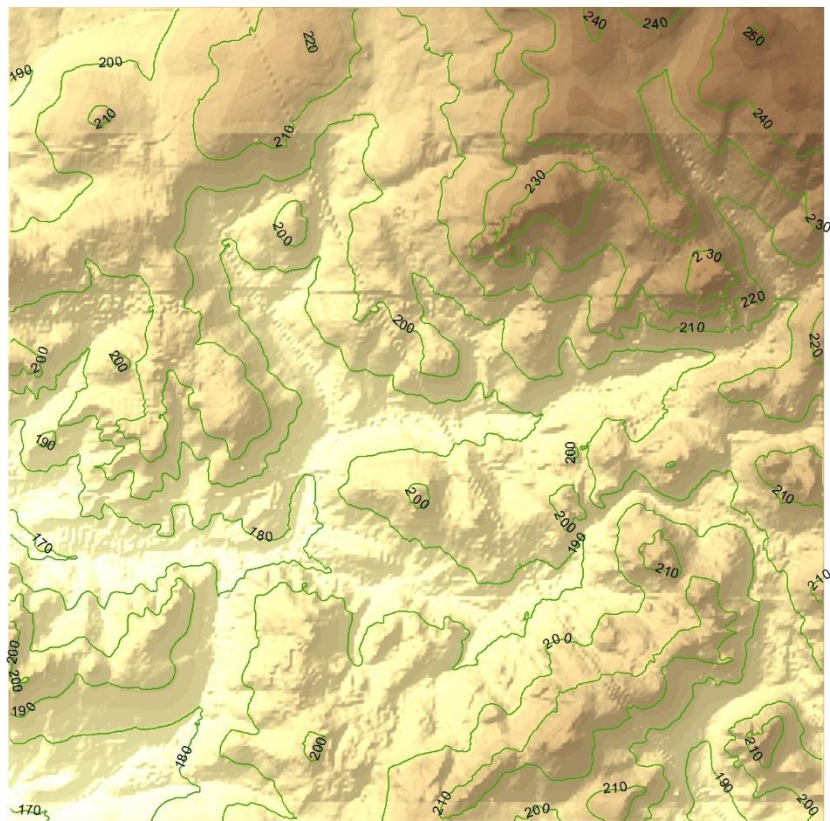
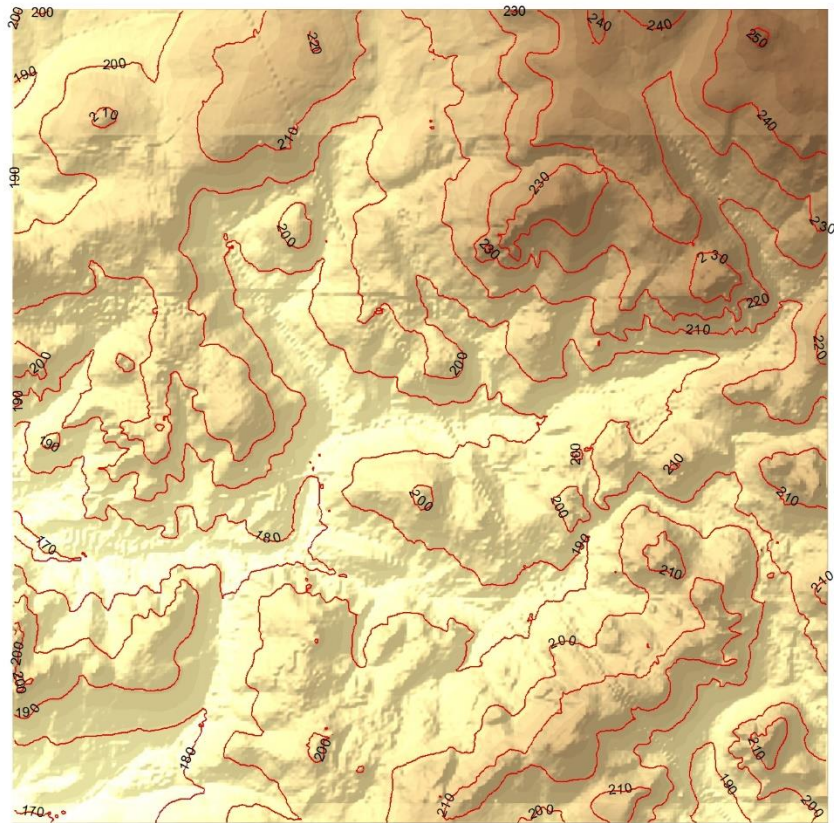
VI etalonas – Kalvotoji moreninė raguvota aukštuma



34 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 2 metrai

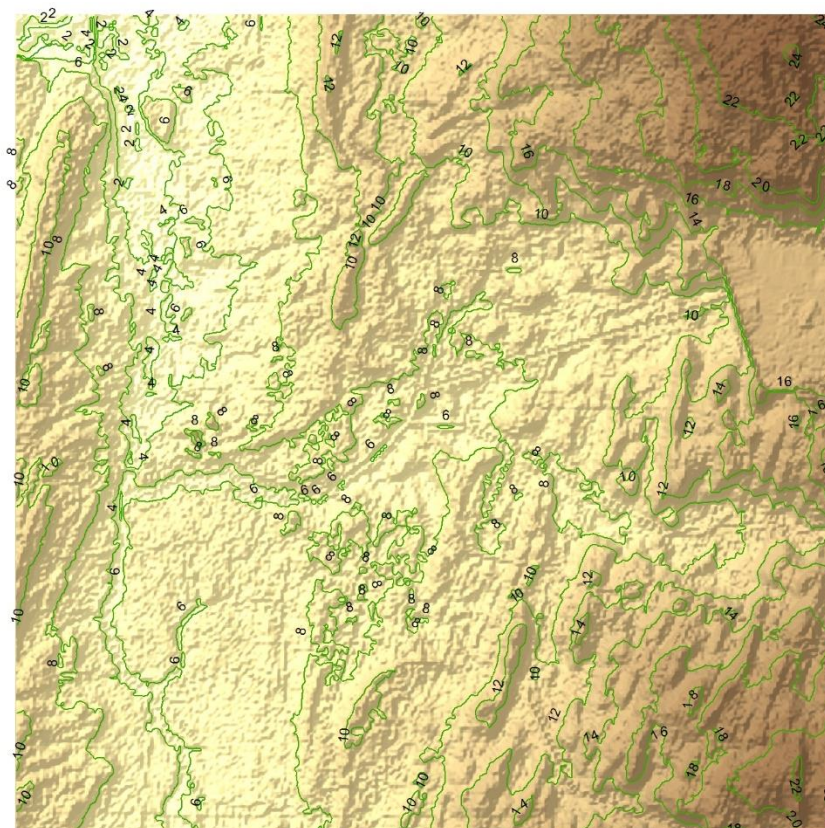
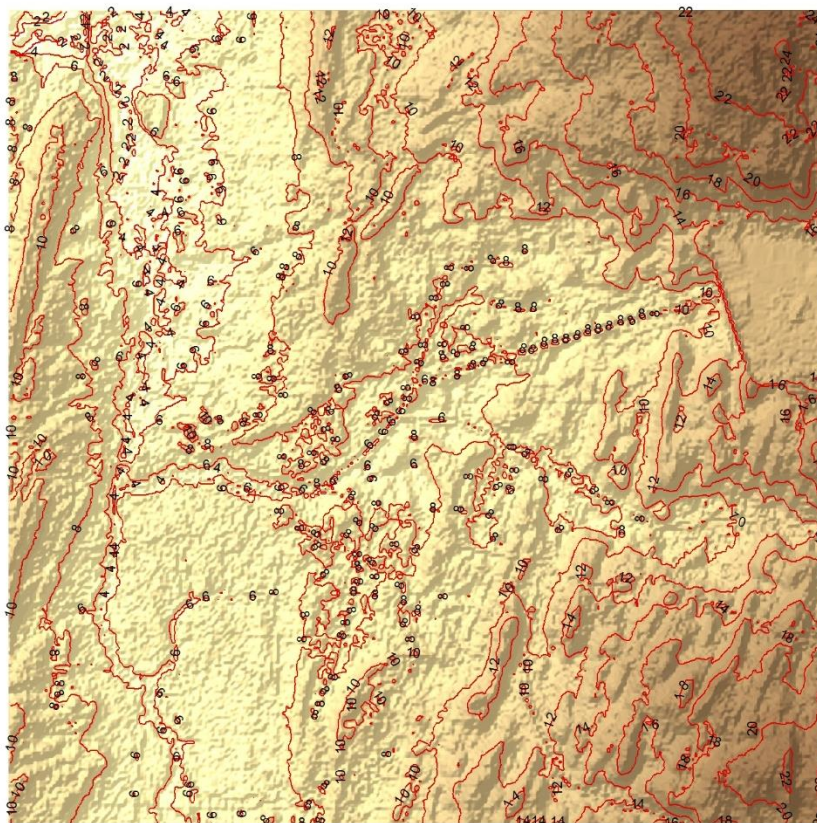


35 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 5 metrai

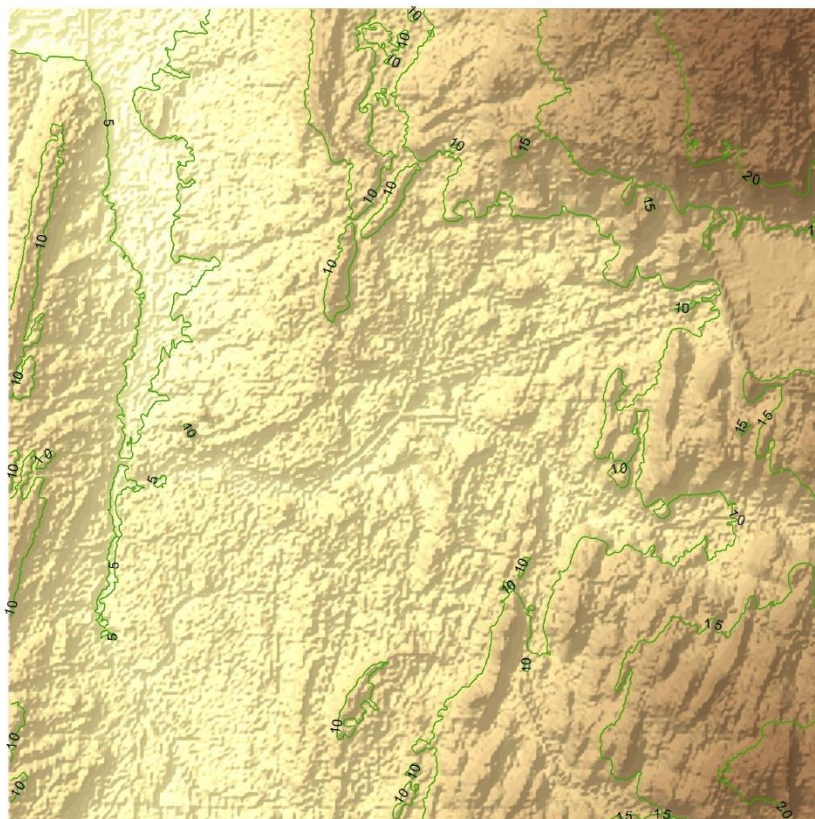
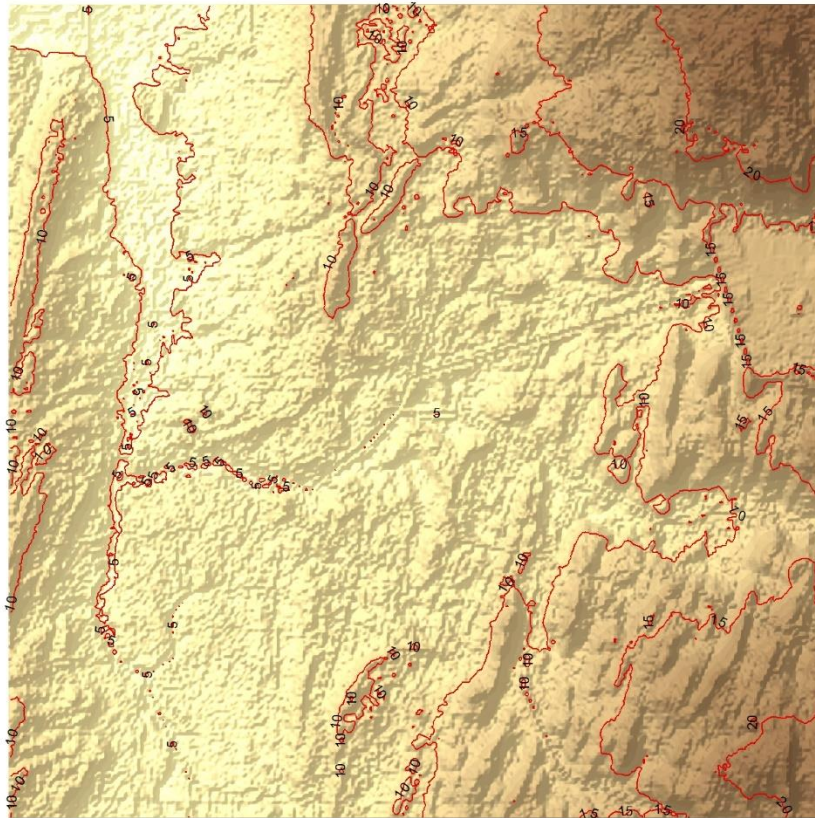


36 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 10 metrų

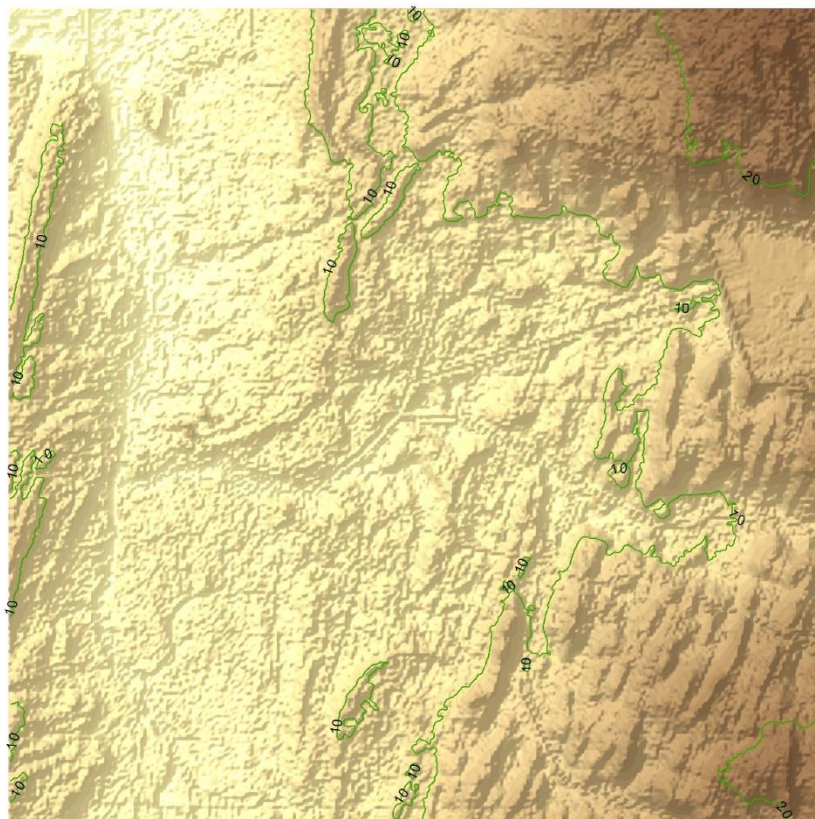
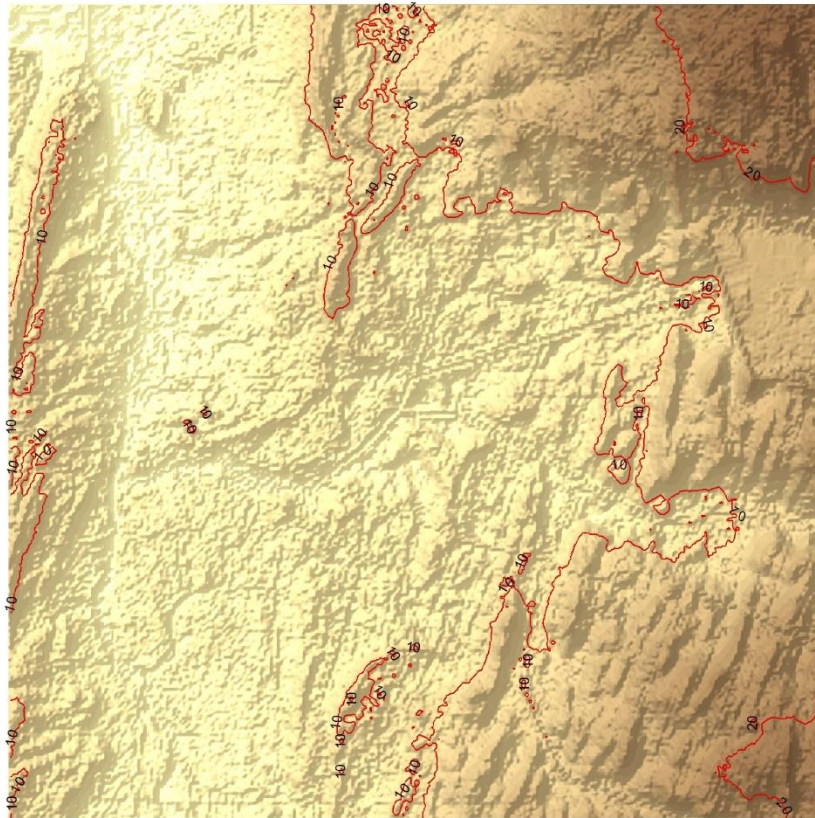
VII etalonas – Jūros pakrantės lyguma



37 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 2 metrai

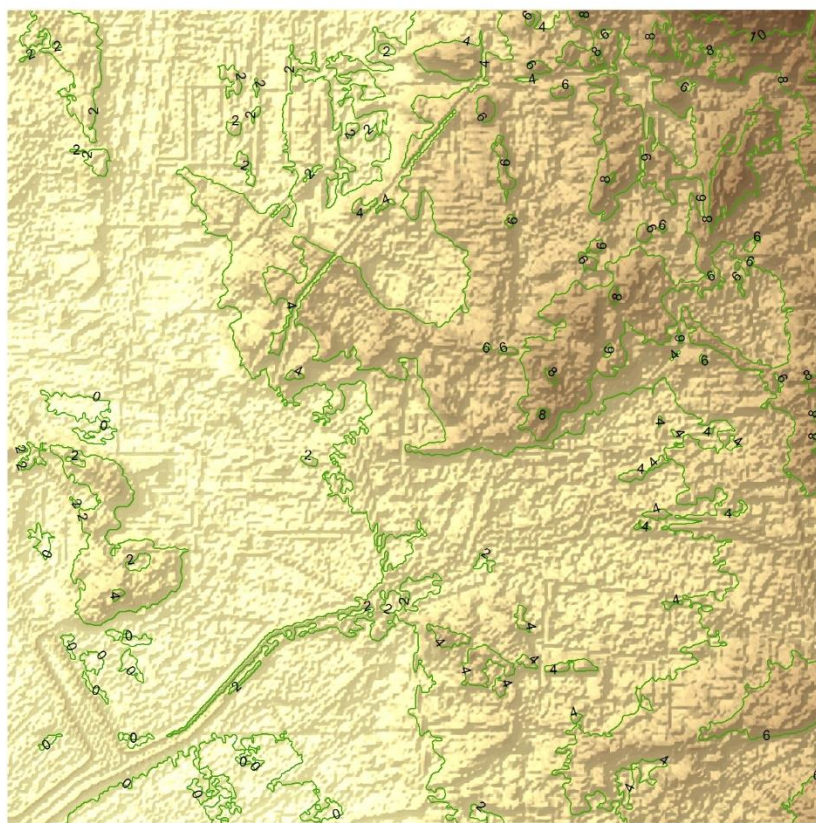
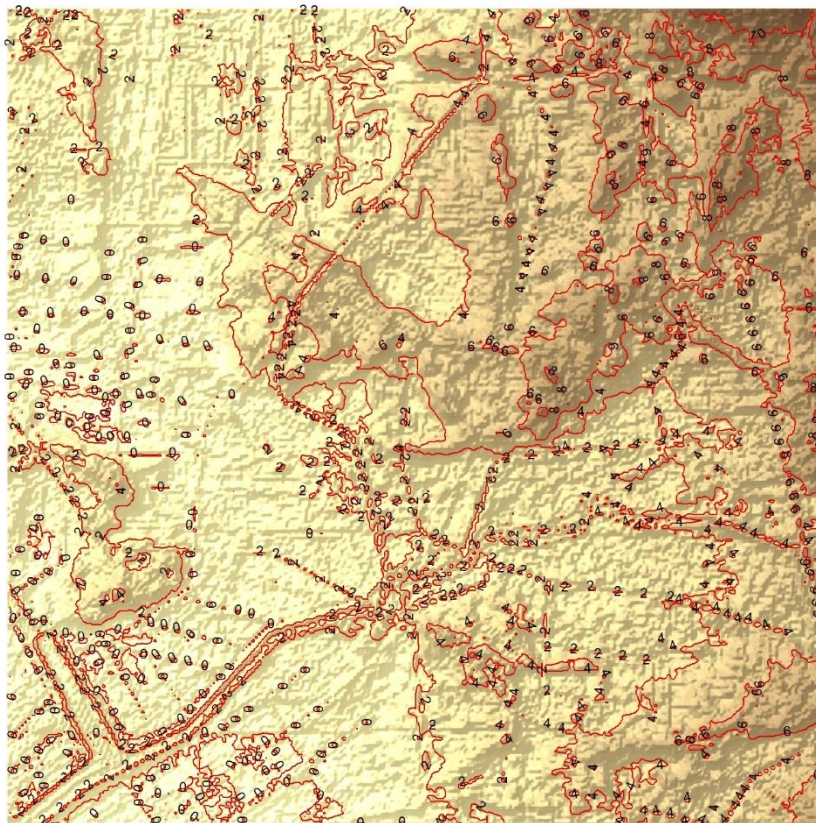


38 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 5 metrai

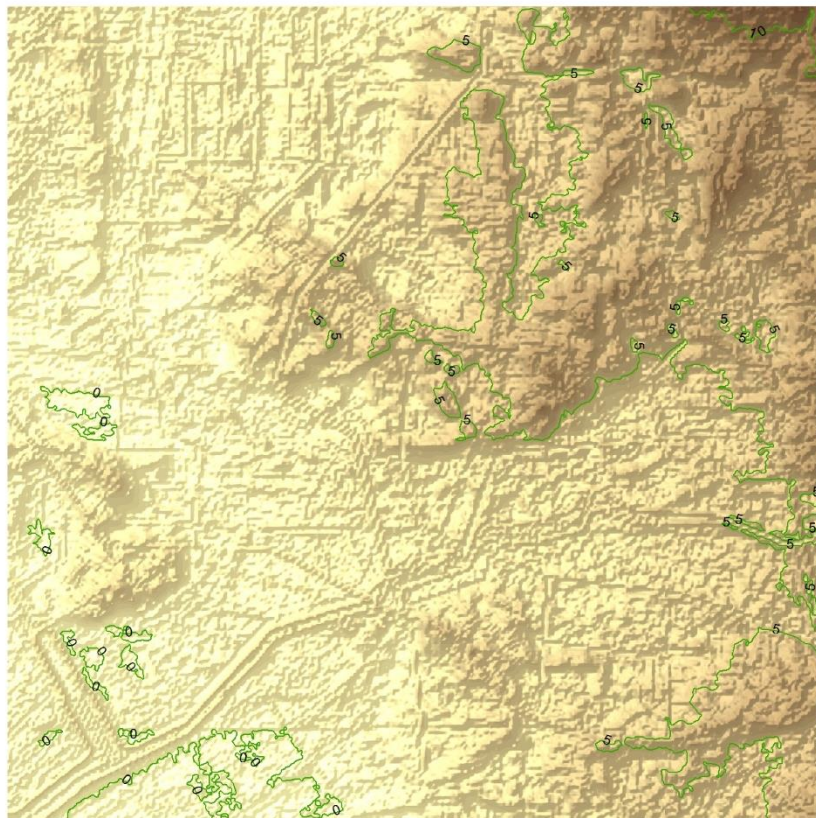
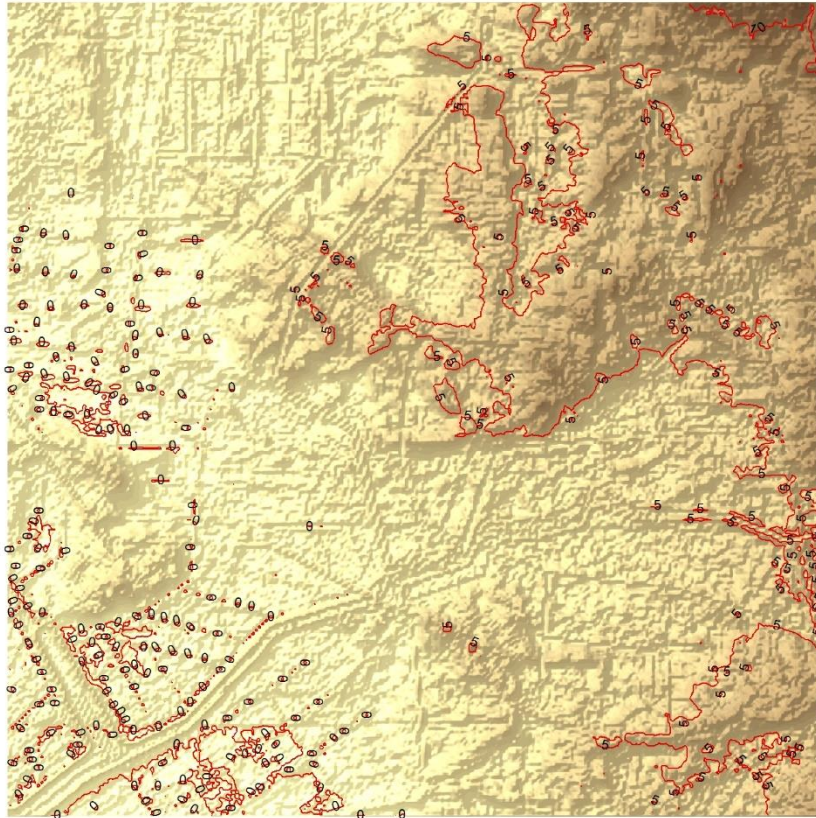


39 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 10 metrų

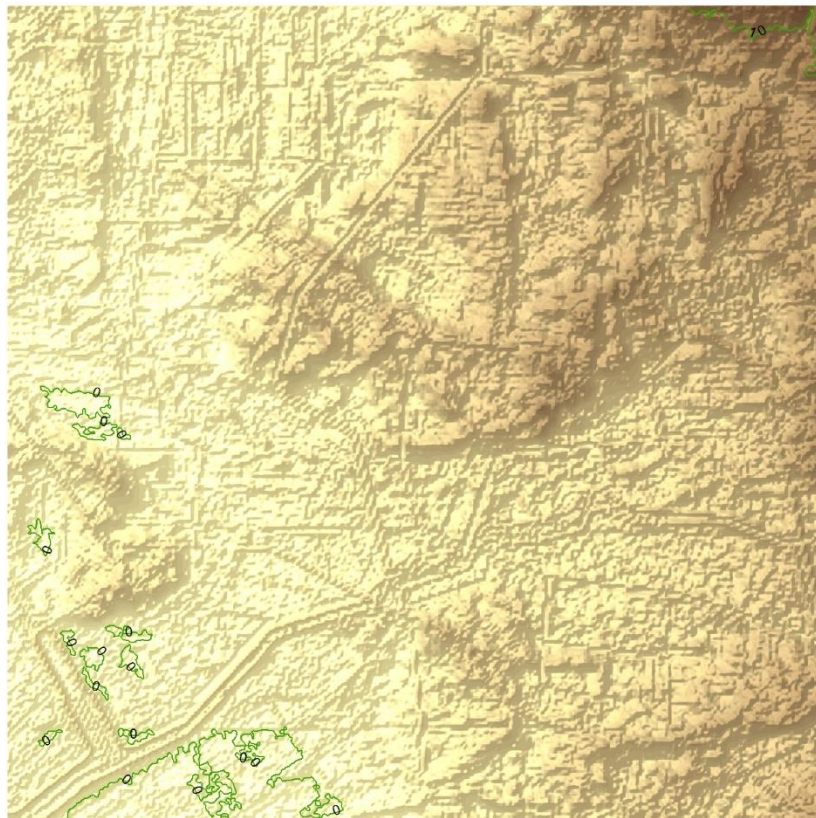
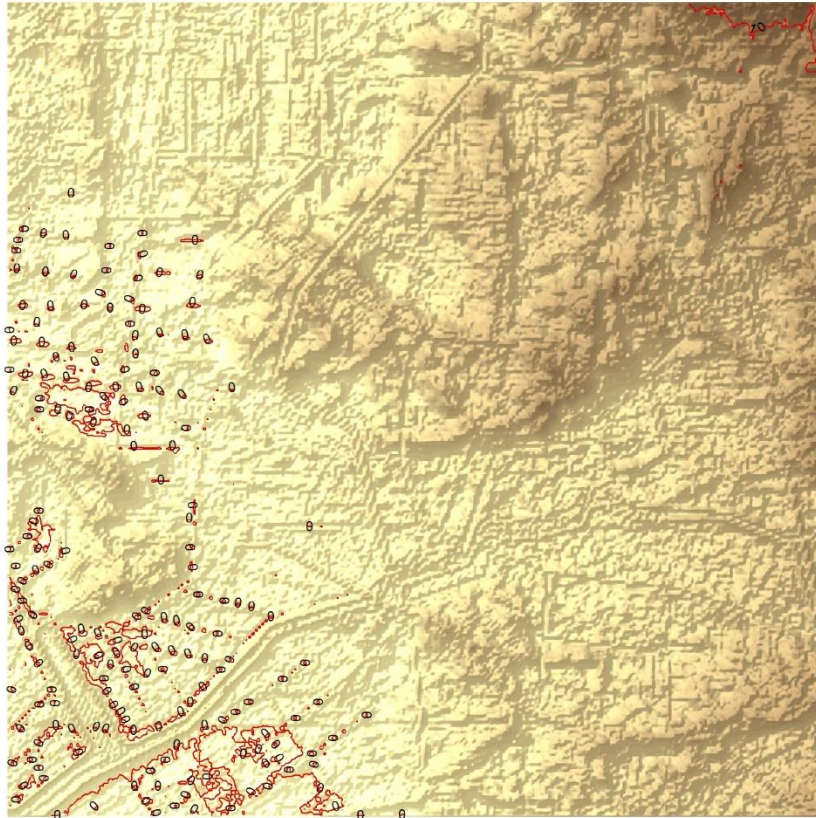
VIII etalonas – Deltinė lyguma



40 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 2 metrai

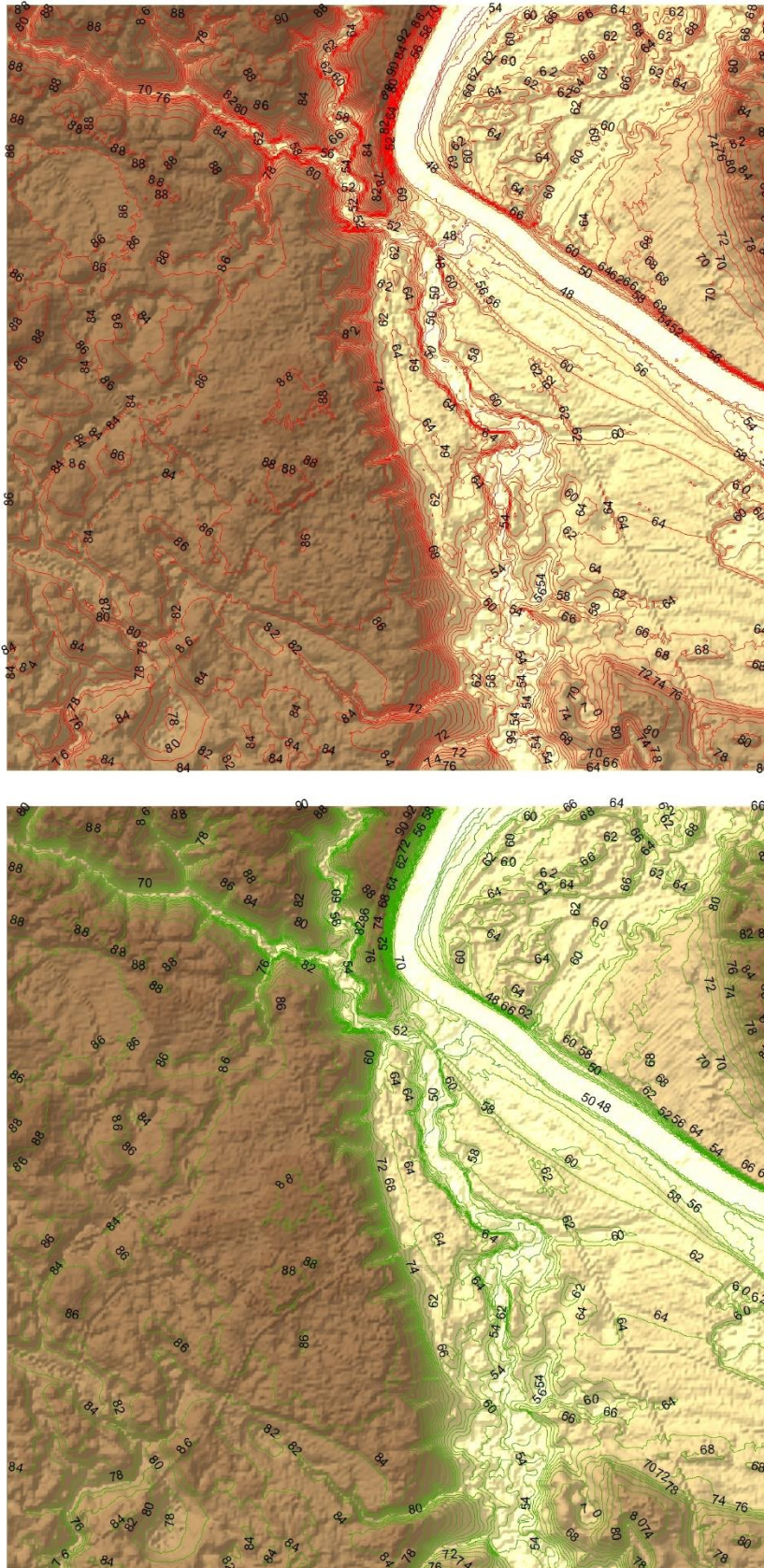


41 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 5 metrai

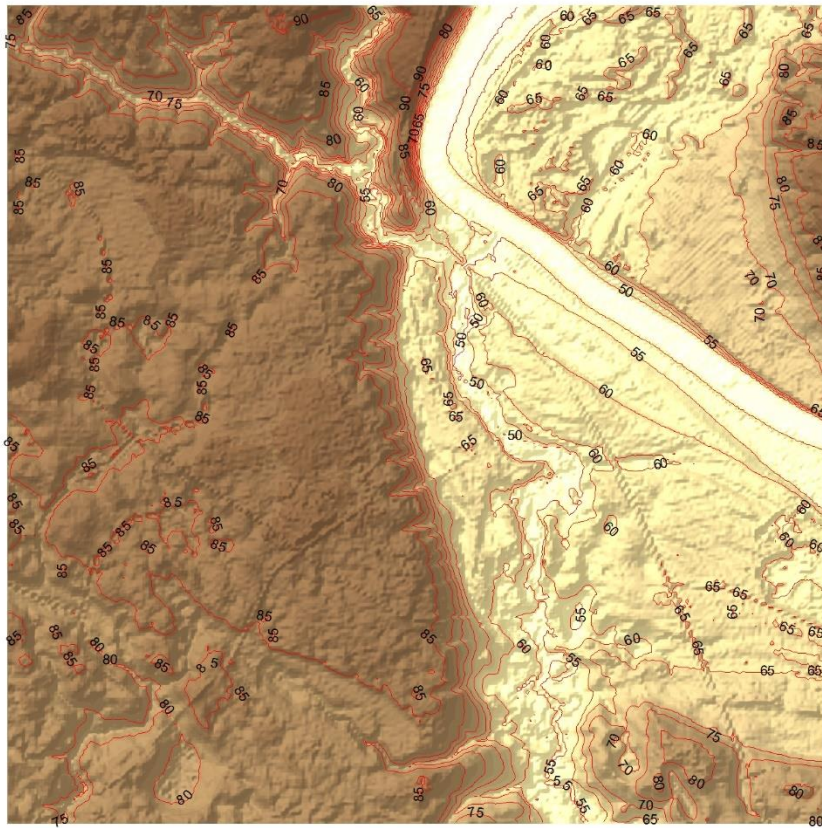


42 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 10 metrų

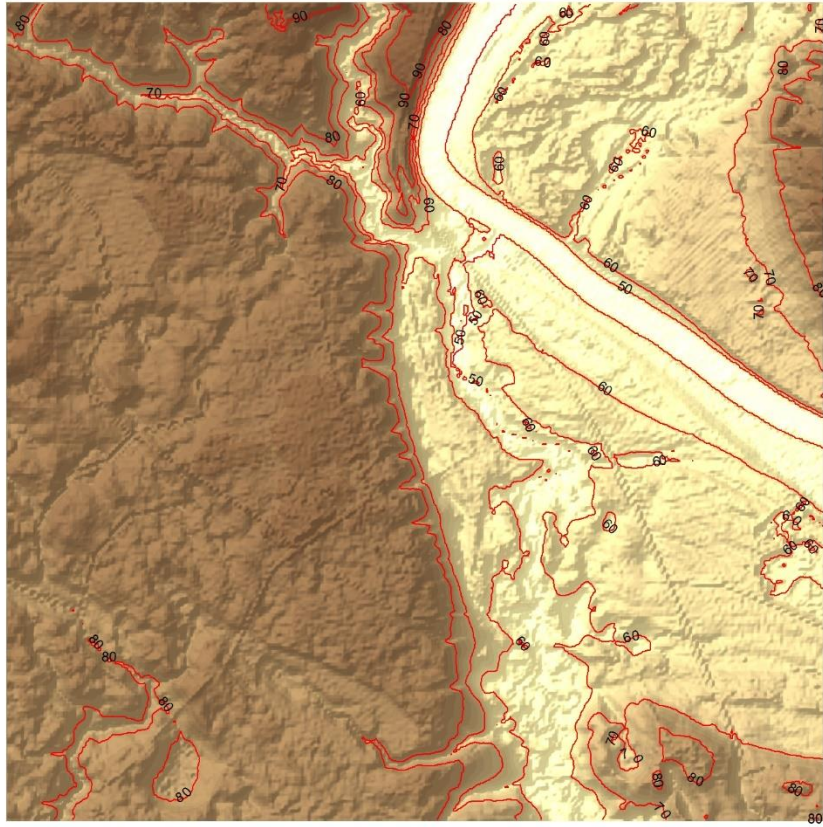
IX etalons – Upių slėniai



43 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 2 metrai



44 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrų, kai laiptas 5 metrai



45 pav. Izohipsių vaizdas prieš (raudona) ir po (žalia) generalizavimo procedūrą, kai laiptas 10 metrų

Geometrinė generalizacijos pusė yra labiausiai kintanti. Jos metu supaprastinami apgalvoti objektų kontūrai, paliekant charakteringą objekto konfigūraciją. Pusiau automatiniu metodu generalizacija atliekama ne mechaniškai, o išskiriant esminius bruožus, taip kartais padidinant mažus, tačiau reikšmingus objektus.

Kartografuojamų reljefo kontūrų pasirinkimas pasireiškia tuo, kad pritaikius cenzą, atrenkami kontūrai pagal tam tikras jų kiekybines charakteristikas. Reljefo kontūrų vaizdavimas yra nulemtas žemėlapio mastelio – šiuo atveju žemėlapyje buvo atrinktos reljefo formos, kurių perimetras buvo mažesnis nei 150 m.

Kartografuojant reljefą atliekamas generalizacijos procesas didinant intervalų tarpus tarp izolinių (izolinių laiptus) ir schematizuojant jų raštus. Sukurtuose žemėlapiuose buvo didinamas horizontalių laiptas (2, 5 ir 10 m), stebint reljefo formų išreikštumo kitimą. Tokiu būdu buvo parenkami tinkamiausi izolinių intervalai kiekvienam būdingam etalonui (3 lentelė, kur žalia spalva – optimalus laiptas, geltona – vidutiniškai tinkamas laiptas, rausva – netinkamas izolinių laiptas)

3 lentelė. Tinkamiausi izolinių intervalai.

| Etalonai | Izolinių laiptas | | |
|---|------------------|---------|---------|
| | 2 m | 5 m | 10 m |
| I — moreninė lyguma | geltona | žalia | rausva |
| II — prieledyninė ežerinė lyguma | geltona | žalia | rausva |
| III — senovinė aliuvinė lyguma | rausva | žalia | geltona |
| IV — prieledyninė upinė (zandrinė) lyguma | rausva | žalia | geltona |
| V — kalvotoji moreninė ežeringa aukštuma | rausva | geltona | žalia |
| VI — kalvotoji moreninė raguvota aukštuma | rausva | žalia | geltona |
| VII — jūros pakrantės lyguma | geltona | žalia | rausva |
| VIII — deltinė lyguma | žalia | geltona | rausva |
| IX — upių slėniai | rausva | geltona | žalia |

Optimalaus detalumo izolinių laipto pritaikymas kartografuojamai teritorijai leidžia neapkrauti žemėlapiu smulkiais kontūrais ir pagerinti jo analizės galimybes.

4.2. Automatinis generalizacijos metodas

Sudarant skaitmeninius reljefo modelius naudojantis LIDAR duomenimis, kitaip nei matavimų duomenimis iš lėktuvo ar dirbtinio žemės palydovo, išvengiama daugelio paviršiaus duomenų fragmentų trūkumo, kurių dėl tankios augalijos ar kitų priežasčių užfiksuoti neįmanoma. Lazerinio skenavimo technologija leidžia sumažinti klaidų kiekį reljefo modelyje (Gokgoz T., Baker M., 2015).

Vizualiai atpažinti ar atvaizduoti reljefo struktūras baziniame žemėlapyje nėra lengva net ir patyrusiam kartografiui, o sukurti ir plėtoti automatizuotą skaitmeninę alternatyvą gali būti dar sudėtingiau. Šiuo atveju labai svarbi užduotis – sugebėti atpažinti plika akimi nepastebimas erdvines reljefo struktūras ir jų tarpusavio sąsajas. Taigi generalizacijos procesai nėra tokie paprasti, kaip ir šių procesų modeliavimas.

Daugeliui Nacionalinių kartografijos agentūrų, aukštos rezoliucijos ir tikslumo žemėlapių pagrindo modelio sukūrimas yra vienas iš strateginių tikslų. Šio modelio pagrindu kuriami kartografiniai produktai sumažintais masteliais, kuriuose kartografinis pagrindas pritaikomas duomenis generalizuojant. Viena iš būtinų sąlygų, kuriant GIS sistema paremtą sprendimo būdą, yra generalizacijos procesų automatizavimas, kurį atlikdavo patyrę kartografai rankiniu būdu. Rankiniu būdu atliktų darbų žinios padeda tobulinant senus ir kuriant naujus generalizacijos įrankius, susiejant juos tarpusavyje ir kuriant automatizuotą generalizacijos procesą (Weibel R., 1987).

Taigi kitaip nei tradiciniame rankiniame kartografavime, kur pasikliaujama kartografo sprendimais ir įgūdžiais, automatizuotas procesas atsisako žmogaus įsikišimo, generalizavimas yra aprašomas tam tikromis taisyklėmis, sukuriamos loginės veiksmų sekos, kuriami skaičiavimo būdai, norimam rezultatui pasiekti, geografinėms charakteristikoms kaupti ir išsaugoti erdviniams ryšiams.

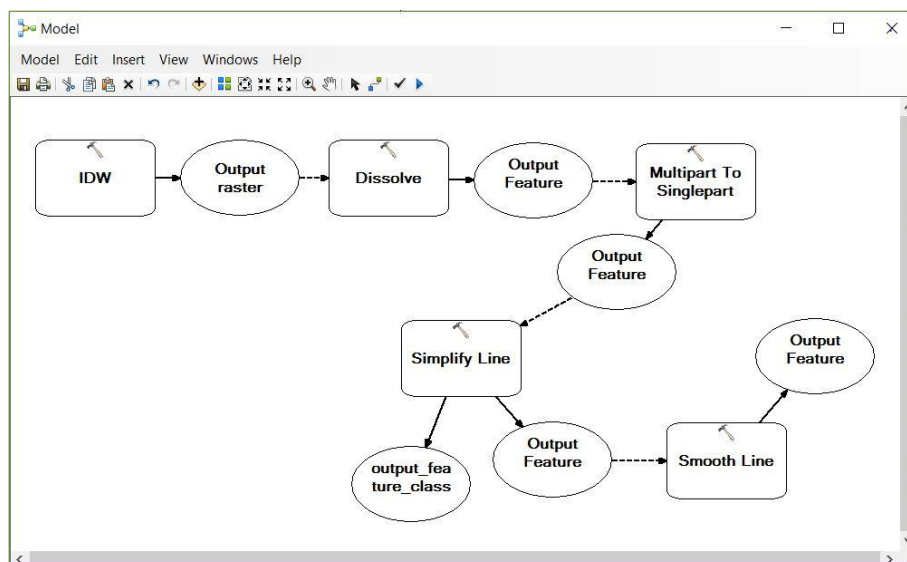
5. Reljefo generalizacijos metodų optimizavimo galimybės

Aukščių kontūrų duomenų generalizacija paprastai yra nulemta kraštovaizdžio elementų įvairovės. Atliekant generalizaciją pagal skirtingus izohipsių laiptus (2, 5 ir 10 m) iš LIDAR duomenimis sugeneruotų kontūro linijų, gaunami sumažėjusio tikslumo duomenys – didinant tarpus tarp izohipsių, atitinkamai prarandami ir aukščių duomenys. Pasirinkus netinkamą izohipsių laiptą, rizikuojama netekti daug svarbių reljefo parametrų, kurie galėtų būti reikalingi atliekant tolimesnius tyrimus, pvz.: nustatant reljefo formas.

Reljefo žemėlapiai, sukurti pagal LIDAR duomenis, buvo analizuojami su skirtingais įvesties duomenimis ir, kaip ir buvo tikėtasi, gauti rezultatai atitiko hipotezę – labiau apibendrintas vaizdas buvo gautas padidinus izohipsių intervalą, taip pat kaip ir gautas sumažėjęs reljefo formų išreikštumas. Detalumo sumažėjimas tapo ypač akivaizdus smulkaus mastelio reljefo formose, kurios tiesiog buvo panaikintos. Šios prarastos reljefo formos tik parodo, kaip svarbu yra parinkti tinkamą izohipsių laiptą tam tikram kraštovaizdžio tipui, bei išlaikyti aukšto tikslumo duomenis.

Kai kurių reljefo elementų išnykimas buvo aptartas tais atvejais, kai skirtingų dydžių izohipsių laiptų klasifikacijos parametrai buvo nekintantys visų rūšių detalumo žemėlapiuose. Taigi siekiant išvengti reljefo formų pradingimo ar atskirų jų dalių iškreipimo, pirmiausia reikia optimizuoti pirminį reljefo modelį, sukurtą tiesiogiai iš LIDAR taškų debesies. Prieš taikant optimizavimo procedūras, būtina patikrinti vietovėje esančių taškų aukščių amplitudę – jeigu aukščių skirtumai tarp minimalaus ir maksimalaus yra pakankamai dideli (kalvotame ar slėniuotame kraštovaizdyje), tuomet duomenis optimizuoti reikės neišvengiamai; jeigu aukščių skirtumai nedideli (lygumų ar deltiniame kraštovaizdyje), tuomet duomenų optimizavimas nebus būtinas.

Optimizuojant reljefo generalizacijos procesą patogiausia procesus sumodeliuoti „ModelBuilder“ plėtiniu „ArcMap“ programoje. Šis plėtinys leidžia eksperimentuoti su skirtingomis procedūromis, pritaikyti darbo eigą prie skirtingų žemėvaizdžių tipų ir tuo pačiu padaro generalizacijos procesą lengvai valdomu. „ModelBuilder“ leidžia sukurti ir redaguoti modelių schemas pagal tai kokia tvarka norima atlikti generalizavimo veiksmus. Schema gali būti išsaugota kaip modelis tarp kitų „ArcGIS“ įrankių ir prireikus lengvai modifikuojama pritaikant kitiems ar tiems patiems duomenų rinkiniams su kitais parametrais (46 pav.).



46 pav. Modelis reljefo generalizacijai „ModelBuilder“ plėtinyje

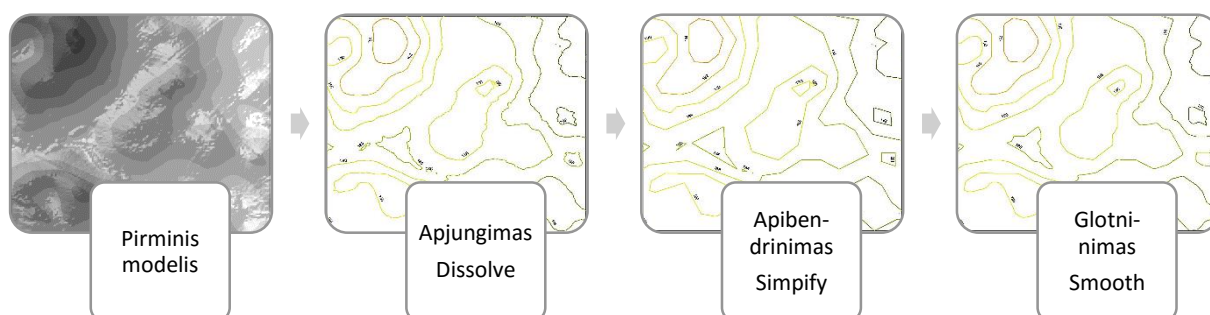
Generalizacija modeliu yra nauja ir specifinė sritis generalizavime. Šiuo principu atliekamas geometrinis tikrųjų objektų transformavimas, kad juos būtų galima atvaizduoti erdvinių duomenų bazėse. Skaitmeninėse sistemose, generalizavimo procesas gali tiesiogiai veikti ne tik žemėlapio grafinius elementus, bet ir pačius erdvinius duomenis. Pagrindinis generalizavimo modeliu tikslas yra priklausomai nuo skirtingų tikslų kontroliuoti duomenų mažinimo procesą, kuris paprastai būna siektinas mažinant saugomos informacijos kiekį, didinant analitinių funkcijų skaičiavimo efektyvumą ar duomenų prieinamumą, pvz. internetu (Papšienė ir kt., 2013).

Automatinio generalizavimo įgyvendinimas priklauso nuo sėkmingo žmogiškųjų žinių perteikimo loginėmis taisyklėmis ir algoritmais, plėtojant skaičiavimo metodus, įrankių dizainą ir modelių kūrimą. „ArcGIS“ įrangos plėtinys „ModelBuilder“ leidžia esamų ir būsimų generalizavimo įrankių pridėjimą laikui bėgant, taigi atsirandant naujiems įrankiams, bus galima tobulinti jau sukurtą automatinio generalizavimo modelį.

Modelis reljefo generalizacijai pateiktas programiškai leidžia simuliuoti, vizualizuoti ir manipuluoti įvesties duomenimis, taip prisitaikant prie aplinkybių, reiškinių ar procesų vykstančių realiuoju laiku. Kadangi modelis yra konceptualus reiškinių atspindys, remiantis skirtingais parametrais, būtina suvokti modeliavimo tikslą ir jo išvesties rezultatus (Lee, Hardy, 2005).

Adaptyvios sistemos kūrimas, kuri automatiškai gaus masteliu pagrįstus parametrus ir prioritetus reikalingus generalizacijos procesams ir sprendimams, ir leis laisvai modifikuoti nustatymus skirtingiems kartografiniams produktams gauti – tai svarbiausias automatizavimo tikslas. Generalizacijos modelio sukūrimas padeda dirbti ne tik su viena įvesties funkcija kaip pusiau automatinio metodu, bet su kelių funkcijų ir tipų veiksmis. Tai leidžia atlikti generalizaciją vos keletu pelės spragtelėjimų.

Pirmiausia interpoliuotuose modeliuose įvertinus minimalaus ir maksimalaus aukščių skirtumus, kartografuojama vietovė suskirstoma į geografines zonas, pagal reljefo raštus, objektų pasiskirstymą ar kaimynines teritorijas. Tik tuomet kai teritorija jau yra suskirstyta zonomis, bus vykdoma generalizacijos procedūra su vietovei pritaikytais įrankiais ir funkcijomis.



47 pav. Modelio pritaikymas reljefo generalizacijai.

Teisingai pasirinkti modelio parametrai leidžia sukurti skaitmeninius žemėlapius, kurie turi galimybes nuspėti ateities perspektyvas, sumažinti laiko kaštus bei yra paprasti ir geros estetiškos išvaizdos.

Išvados

1. Specifinių generalizacijos veikslių taikymas parenkamas remiantis įvairiais kriterijais. Svarbiausi yra: sumažinimo lygis, duomenų kompleksiskumas ir generalizacijos tikslas.

2. Aukščių kontūrų duomenų generalizacija paprastai yra nulemta kraštovaizdžio elementų įvairovės. Pasirinkus netinkamą izohipsių laiptą, rizikuojama netekti daug svarbių reljefo parametrų, kurie galėtų būti reikalingi atliekant tolimesnius tyrimus.

3. Reljefo formų išreikštumo sumažėjimas tampa ypač akivaizdus smulkaus mastelio reljefo formose, kurios tiesiog pranyksta. Šios prarastos reljefo formos tik parodo, kaip svarbu yra parinkti tinkamą izohipsių laiptą tam tikram kraštovaizdžio tipui.

4. Vizualiai atpažinti ar atvaizduoti reljefo struktūras baziniame žemėlapyje nėra lengva, todėl labai svarbi užduotis – sugebėti atpažinti plika akimi nepastebimas erdvines reljefo struktūras ir jų tarpusavio sąsajas.

5. Automatinio generalizavimo įgyvendinimas priklauso nuo sėkmingo žmogiškųjų žinių perteikimo loginėmis taisyklėmis ir algoritmais, plėtojant skaičiavimo metodus, įrankių dizainą ir modelių kūrimą.

Naudota literatūra

Knygos:

Basalykas A. 1977. *Lietuvos TSR kraštovaizdis*. Vilnius: Mokslas. 237 p.

Česnulevičius A., 1999. Lietuvos reljefas: morfografiniai ir morfometriniai aspektai. Vilnius, Geografijos institutas, 196 p.

Česnulevičius A., Švedas K. 2013. *Kartografija*. Vilnius: Lietuvos edukologijos universiteto leidykla. 296 p.

Sharma H. S. 1982. *Perspectives in Geomorphology*. New Delhi: Concept publishing company. 324 p.

Publikacijos straipsnių rinkiniuose ir periodiniuose leidiniuose:

Baltakis V., Beconis M., Česnulevičius A., Dicevičienė L., Dvareckas V., Juozapavičius G., Jurgaitis A., Masiliūnas L., Mardosienė D., Mikalauskas A., Mikutienė L., Minkevičius V., Rupkutė A., Švedas K., Vekeriotienė I., 1982. Neries slėnio geodinaminiai procesai. *Geografijos metraštis* 20, 5–64.

Basalykas A., 1958. Lietuvos upių dinaminių fazių interpretavimo klausimu. *Lietuvos TSR Mokslų akademijos darbai, B 3(15)*, 203–213.

Beconis M., Dvareckas V., 1991. Dabartiniai upių vagų ir salpų geodinaminiai procesai. *Geografijos metraštis* 27, 44–49.

Bishop M., James L., Shroder Jr. J., Walsh S., 2011. Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: Concepts, issues and research. *Geomorphology* 137, 5-26.

Bucevičiūtė I., Marcinkevičius V., Mikulėnas V., 2005. Geologiniai procesai ir reiškiniai Kauno miesto teritorijoje (Vidurio Lietuva). *Geologija* 50, 59–70.

Česnulevičius A., 2001. Geodinaminių procesų intensyvumo vertinimas: metodiniai aspektai. *Geografija* 37(2), 5-12.

Česnulevičius A., 2007. Urbanizuotų teritorijų reljefo geodinaminės būklės vertinimas: problemos ir metodiniai aspektai. *Geografija Nr.1*, p.30-35.

Česnulevičius A., Švedas K., Morkūnaitė R., Paškauskas S., Pukelytė V., Vekeriotienė I., Karmazienė D., 2011. Lietuvos geomorfologijos raida XX amžiaus idėjų kontekste. *Baltica* 24, 19-22.

Dėnas Ž., Kumetaitis A., Šliaupa S., Zakarevičius A., Šliaupienė R., 2006. Lietuvos žemės paviršiaus erozijos modeliavimas ir kartografavimas taikant GIS technologijas. *Geodezija ir kartografija* 32(3), 57–61.

Girkus R., Lukoševičius V. 2005. Lietuvos reljefas kartografiniuose dokumentuose. *Geodezija ir Kartografija*. 31 (4). 134-140. Vilnius: Technika.

Gokgoz T., Baker M., 2015. Large scale landform mapping using LIDAR DEM. *Geo-Inf 2015* (4). 1336-1345.

Jania, J., 2004. Nowe metody i narzędzie badawcze i ich wplyw na rozwój geografii w XXI wieku. *Geografia u proguXXIwieku*. Kraków: Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, 47-54.

Jankauskas B., Jankauskienė G., 2003. Stacionariniai dirvožemio tyrimai Žemaičių aukštumoje: Vandeninės erozijos intensyvumas. *Žemdirbystė: mokslo darbai* 82(2), 20–34.

Jankauskas B., Jankauskienė G., 2004. Water erosion rates on slopes under different land use systems. *Žemės ūkio mokslai* 3, 3–1 Paškauskas S., Vekeriotienė I., 2011. Dabartinių geomorfologinių procesų tyrimai Lietuvoje. *Baltica* 24, 131-136.

Janukonis Z., 2001. Jūros krantotyros mokslo raida Lietuvoje. *Geografijos metraštis*, 34(2). 131–153.

Jarmalavičius D., Pupienis D., Žilinskas G., Janukonis Z., 2003. Kuršių nerijos paplūdimio apsauginio kopagūbrio dinamikos tendencijos. *Geografija* 39(1), 5–9.

Jucevičiūtė V., Vainauskas V., Kudaba Č., Gaudėšius V., 1988. Kauno marių krantų litodinaminiai procesai. *Geografijos metraštis* 24, 120–130.

Kalantaitė A., Putrimas R., Šlikas D., 2010. Erdvinių skenavimo duomenų taikymas vietovės trimačiams modeliams generuoti. *Geodezija ir Kartografija* 36(4), p.151-155.

Kavoliūtė F., 1999. Hidrografinio tinklo kaita agrariniame Aukštaičių aukštumos kraštovaizdyje. *Geografija* 35(1), 36–42.

Kiburys B., 1989. *Dirvožemio mechaninė erozija*. Vilnius, Mokslas, 174 pp.

Kriauciūnienė J., Gailiušis B., Rimavičiūtė E., 2006. Modelling of shoreface nourishment in the Lithuanian nearshore of the Baltic Sea. *Geologija* 53, 28–37.

Kriauciūnienė V. 2002. Kauno marių krantų pokyčiai 1959–2002 metais. *Geologija* 40, 66–73.

Kunskas R., 1985–1986. Lietuvos pelkių durpėdara ir mineralizacija, jų klotų būklė. *Geografijos metraštis* 22–23, 40–58.

Lee D., Hardy P., 2005. *Automating Generalization – Tools and Models*. http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2005/htm/pdf/oral/TEMA9/Session%207/DAN%20LEE.pdf (paskutinį kartą žiūrėta 2016.05.21)

Martin M. T., Rodriguez J., Irigoyen J., Martinez-Llario J. C., Arias P., 2009. Semi-automatic Process for Hybrid DTM Generalization based on Structural Elements Multi-analysis. *The Cartographic Journal* vol.46 (2), p. 146-154.

Mažvila J., Staugaitis G., Kutra G., Jankauskas B., 2010. Empirinių modelių panaudojimas dirvožemių erozinguo įvertinimui Lietuvoje. *Žemės ūkio mokslai* 17(3–4), 69–78.

Minkevičius V., 1963–1964. Vėjasmėlio srauto struktūra pažemio (0-10cm) sluoksnyje Kuršių nerijos pustomose kopose. *Geografinis metraštis* 6–7, 409–424.

Minkevičius V., 1968. Kuršių nerijos pustomų kopų mikro ir mezoformas. *Geografinis metraštis* 9, 97–102.

Narbutas V., 1957. Karstiniai reiškiniai ir gipsų paieškų perspektyvos Biržų-Pasvalio rajone. *LTSR MA darbai, B 2*, 77–93.

Paškauskas S., Baubiniene A., Dilys K., Vekeriotienė I., 2000. Reguluotų upių vagų deformacijos besikeičiančios žemėnaudos sąlygomis. *Geografijos metraštis* 33, 256–266.

Pavlopoulos K., Velpidou N., Vassilopoulos A., 2009. *Mapping Geomorphological Environments*. Berlin: Springer.

Povilaitis A., 1997. Application of the WEPP profile model to simulate storm runoff and erosion. *Vandens ūkio inžinerijai* 2 (24), 72–79.

Povilanskas R., 2009. Spatial diversity of modern geomorphological processes on a Holocene Dune Ridge on the Curonian Spit in the South–East Baltic. *Baltica* 22, 77–88.

Račinskas A., 1990. *Dirvožemio erozija*. Vilnius, Mokslas, 136 pp.

Radoane M., Cristea I., Radoane N., 2011. Geomorphological Mapping. Evolution and Trends. *Revista de geomorfologie vol. 13*, p. 19-39.

Rusonytė D., Kariene A., 2010. *Distancinio zondavimo metodais gautų duomenų pritaikymas panaudojimui* GIS.

<https://dspace.kauko.lt/bitstream/handle/1/784/DISTANCINIO%20ZONDAVIMO%20METODAIS%20GAUTU%20DUOMENU%20PRITAIKYMAS%20PANAUDOJIMUI%20GIS.pdf?sequence=1> (paskutinį kartą žiūrėta 2016.05.21)

Švarcaitė I., 1982. Antropogeninės denudacijos – akumuliacijos greitis kalvotame – moreniniame Vištyčio – Gražiškių aukštumos landšafte. *Geografijos metraštis* 20, 178–187.

Taminskas J., 1999. Smegduobių susidarymas ir raida. *Geografijos metraštis* 32, 194–203.

Tamošaitis J., Martinkėnienė F., 1980. Sedimentacijos intensyvumas Lietuvos TSR nacionalinio parko ežeruose 1978 m. *Geografinis metraštis* 18, 67–75.

Tamošaitis J., Martinkėnienė F., 1991. Dabartiniai sedimentaciniai procesai Ilgų ežere. *Geografijos metraštis* 27, 50–56.

Tamulynas L., Grižas G., Skrupskelis A., Suncovas V., Vaicekuskas I., 2013. LIDAR duomenų taikymas Lietuvos archeologijoje. Vilnius: Vilniaus Universiteto leidykla.

Vaikasas S., 2009. *Nemuno žemupio potvynių tėkmių ir nešmenų dinamikos modeliavimas*. Vilnius, Technika, 248 pp.

Vaikasas S., Poškus V., 2007. Nevėžio upės Kėdainių mieste tėkmių ir nešmenų režimo natūriniai tyrimai. *Vandens ūkio inžinerija* 31 (51), 88–95.

Vaikasas S., Stankevičius M., 2004. Some aspects of modeling bed processes in trained rivers. *Journal of environmental engineering and landscape management* 12 (1), 30–37.

Vaitkevičius E., 1986. Miškingo kraštovaizdžio upių tinklo antropogeninė kaita. *Geografija* 22, 134-138.

Weibel R., 1987. *An adaptive methodology for automated relief generalization*. <http://citeseer.ist.psu.edu/viewdoc/citations;jsessionid=0D7D20A1FF2815CC642AE2A9FABB8A58?doi=10.1.1.536.6193> (paskutinį kartą žiūrėta 2016.05.21)

Žaromskis R., 1996. Kauno marios–natūralių ir antropogeninių procesų sąveikos arena. *Geografijos metraštis* 29, 111–125.

Žilinskas G., Jarmalavičius D., 2003. Lietuvos jūrinio kranto dinamikos tendencijos. *Geografijos metraštis* 36(1), 80–88.

Žilinskas G., Jarmalavičius D., Minkevičius V., 2001. *Eoliniai procesai jūros krante*. Vilnius, Geografijos institutas, 283 pp.

Disertacijos:

Kvietkauskas V. 1973. *Keturspalvė morfologija – naujas reljefinio morfografinio kartografavimo metodas*. Daktaro disertacija. Vilnius: Vilniaus valstybinis universitetas.

Žemėlapiai ir atlasai:

Lietuvos Nacionalinis Atlasas. 2015. Vilnius: VĮ „GIS-Centras“.

Ataskaitos:

Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:50 000 georeferencinių erdvinių duomenų rinkinio atnaujinimo galimybių tyrimo, naudojant automatizuotus generalizavimo metodus, ataskaita. 2013. Ataskaita. Darbo rengėjai L. Papšienė, J. D. Budrevičius, M. Marma. Vilnius: GIS-Centras. 121 p.

Nuotolinis kartografavimas. 2011. Studijų dalyko programos atnaujinimas. Rengėjas A. A. Pilipaitis. Vilnius: Vilniaus Universitetas. 21 p.

Interneto svetainės:

LEI portalas. <http://www.geoportal.lt> (paskutinį kartą žiūrėta 2016.05.21)

LIDAR America. <http://lidar-america.com> (paskutinį kartą žiūrėta 2016.05.21)

Reljefo generalizacijos metodologija LiDAR duomenų pagrindu

Santrauka

Pastaruoju metu geografinėi informacijai apie erdvinį žemės paviršių kaupti taikomas efektyvus vietovės skenavimo (zondavimo) lazeriu iš orlaivio metodas *LIDAR (Light Detection and Ranging)*. Skenuojant gaunama nereguliari labai tanki taškinė trijų dimensijų žemės paviršiaus objektų išdėstymą modeliuojanti geometrinė informacija. Šios informacijos pritaikymo spektras itin platus – reljefo analizė (pvz.: nuolydžiai, šlaitų ekspozicijos) geomorfologiniams tyrimams, hidrologiniams matavimams bei topografiniams duomenims kaupti, naujų pastatų modeliavimui, duomenų atnaujinimui ir kadastrinių duomenų palaikymui, medžių registrui ir t.t.

Nepriklausomai nuo erdvinių duomenų panaudojimo srities ar pateikimo, lazerinio skenavimo būdu gauta taškinė trijų dimensijų žemės paviršiaus objektų išdėstymą modeliuojanti geometrinė informacija yra pernelyg didelės apimties analizėms atvaizduoti. Dėl šios priežasties žemėlapyje vaizduojami ne visi, bet rinktiniai objektai ar reiškiniai. Šių objektų pasirinkimas priklauso nuo kartografinės generalizacijos.

Dabartinėse geografinėse informacinėse sistemose reljefo kartografavimas dažnai yra viena iš pagrindinių žemėlapyje dalių. Kita vertus, reljefo izohipsių sudarymo procesas nėra toks paprastas, kaip gali pasirodyti. Siekiant sukurti duomenis daugiausia problemų sukelia „ArcGIS“ programinės įrangos įrankių sudėtingas pritaikymas. Kita problema yra ta, kad šiais laikais nėra sudėtinga surinkti tikslius ir kokybiškus duomenis tokius kaip LIDAR duomenys, tačiau juos apdoroti reikalinga galinga kompiuterinė įranga.

Reikšminiai žodžiai: LIDAR, kartografinė generalizacija, reljefas, modeliavimas, geografinė informacinė sistema, GIS.

Methodology of landform generalization based on LiDAR data

Summary

Recently, the three-dimensional geographical information about the earth's surface is being collected by effectively applicable area scanning (probing) with aerial laser method LIDAR (Light Detection and Ranging). Scanning derives irregular very dense three-dimensional ground dot object that simulates geometric layout information. This information has extremely wide adaption range for applications - terrain analysis (e.g.: gradients, slope exposure) geomorphological surveys, hydrological measurements and topographical data acquisition, as well as, new buildings modeling, updating and maintaining cadastral data, tree register, etc.

Regardless of the use of spatial data that was obtained by the laser scanning in three dimensions, in the field or the submission the geometric objects simulating the earth's surface are too large for simple display. For this reason, not all of the map objects are shown but just a selection of objects or events. The following objects are dependent on cartographic generalisation.

Currently one of the main parts of the map in geographic information systems is mapping the terrain. On the other hand, creation process of the terrain isolines isn't as simple as they appear. In order to create isolines, ArcGIS software tools complexity causes the most problems. Another problem is that nowadays it is not difficult to collect accurate and quality data such as LIDAR dot cloud, but this data must be processed with powerful computer equipment.

Keywords: LIDAR, cartographic generalisation, terrain modelling, GIS, geographic information system.

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO VERTINIMO LAPAS

Darbo autorius:
(vardas, pavardė) (parašas)

Mokslinis darbo vadovas:
(mokslinis laipsnis, mokslinis vardas, vardas, pavardė) (parašas)

Recenzentas:
(mokslinis laipsnis, mokslinis vardas, vardas, pavardė) (parašas)

Kartografijos centro
vedėjas:
(mokslinis laipsnis, mokslinis vardas, vardas, pavardė) (parašas)

Darbo gynimo data:

Darbo įvertinimas:.....
(balas skaičiumi, balas raštu)

Baigiamųjų darbų gynimo
komisijos pirmininkas:
(mokslinis laipsnis, mokslinis vardas, vardas, pavardė) (parašas)

Baigiamųjų darbų gynimo
komisijos sekretorius:
(vardas, pavardė) (parašas)