



**VILNIAUS UNIVERSITETO
CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETO
GEOMOKSLŲ INSTITUTO
KARTOGRAFIJOS IR GEOINFORMATIKOS KATEDRA**

Audrius Kalesnikas

**KARTOGRAFINIŲ METODŲ TAIKYMAS
KURŠIŲ NERIJOS KOPŲ PAVIRŠIAUS POKYČIŲ,
2015–2017 METAIS, ĮVERTINIMUI**

**APPLICATION OF CARTOGRAPHIC METHODS
FOR ESTIMATION OF SURFACE CHANGES IN
THE DUNES OF THE CURONIAN SPIT IN 2015 TO 2017**

Magistro darbas

Studijų programa – Kartografija

Vadovas: doc. dr. A. Baurėnas

Vilnius, 2017

TURINYS

Anotacija.....	3
ĮVADAS	4
1. LITERATŪROS APŽVALGA	6
1.1. Užsienyje vykdytų tyrimų apžvalga	6
1.2. Lietuvoje vykdytų tyrimų apžvalga	11
2. DARBO METODOLOGIJA	14
2.1. Kopų samprata	15
2.2. Kartografuota teritorija	16
2.3. Matavimo prietaisų ir matavimo metodų parinkimas	18
2.4. Pasirinktų teritorijų kartografavimas	22
2.5. Klimato poveikio tyrimai.....	23
2.6. Geomorfologiniai tyrimai	25
3. MATAVIMŲ REZULTATŲ ANALIZĖ.....	26
3.1. Kopų paviršiaus 2D modelio analizė	27
3.2. Distancinių tyrimų duomenų analizė	29
3.3. Meteorologinių faktorių ir smėlio granulometrinė analizė	31
3.4. Kopų paviršiaus erdvinio 3D modelio analizė.....	34
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS.....	40
LITERATŪROS IR INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS	42
SANTRAUKA LIETUVIŲ KALBA	44
SANTRAUKA ANGLŲ KALBA.....	45
PRIEDAI	46

Kalesnikas A. Kartografinių metodų taikymas Kuršių nerijos kopų paviršiaus pokyčių, 2015–2017 metais, įvertinimui. Magistro darbas. Vilnius: VU. 2017.

Anotacija. Kuršių nerija unikalus gamtos objektas, įtrauktas į UNESCO paveldą, kuris gausiai lankomas turistų bei poilsiautojų. Deja, dėl įvairių klimato bei antropogeninių pokyčių sparčiai nyksta. Todėl aktualu ne tik įvertinti esamus pokyčius, bet ir kurti galimų pokyčių prognozavimo modelius. Šio darbo tikslas – atlikti Kuršių nerijos kopų tiesioginius matavimus, įvertinti pokyčius ir sukurti vykstančių dinaminių procesų prognozavimo metodiką. Siekiant įgyvendinti iškeltą darbo tikslą suformuluoti šeši uždaviniai: atlikti užsienyje ir Lietuvoje vykdytų darbų istorinę apžvalgą; atlikti kopų matavimuose naudojamų prietaisų bei matavimo metodikų apžvalgą; sukurti metodiką pasirinktų Kuršių nerijos kopų matavimui; sukurti duomenų kaupimo ir apdorojimo metodiką; atlikti dinaminių procesų kartografavimą; atlikti kartografuotų teritorijų paviršiaus pokyčių vertinimą ir sukurti vykstančių procesų trimatį skaitmeninį modelį. Darbe atlikta išsami literatūrinė apžvalga bei matavimo metodų analizė. Sukurta kopose vykstančių dinaminių procesų duomenų kaupimo bei analizavimo metodika. Tyrimo metu atlikti pasirinktų teritorijų (Didžiosios, Naglių ir Parnidžio kopų) tiesioginiai matavimai. Sukauptų duomenų įvairiapusė analizė leido ne tik įvertinti vykstančių pokyčių dydį, bet ir pateikti šių procesų skaitmeninio vizualizavimo metodus.

Tekstas 64 psl., 18 priedų, 46 pav., 8 lentelės. Santrauka lietuvių ir anglų kalbomis.

Reikšminiai žodžiai: Kuršių nerija, kopos, kartografinis modelis, skaitmeninis modeliavimas.

Kalesnikas A. Application of cartographic methods for estimation of surface changes in the dunes of the Curonian Spit in 2015 to 2017. Master paper. Vilnius: VU. 2017.

Abstract. The Curonian Spit is a unique natural location, a site of the UNESCO World Heritage List and popular attraction for tourism and recreation. However, various climatic and anthropogenic changes bring about its fast degradation. Not only assessment of actual changes but also creation of future change prognostication models are therefore important. The purpose of this paper was direct measurement of dunes of the Curonian Spit, assessment of changes and creation of a method for prognostication of continuing dynamic processes. Six tasks were formed in order to achieve the purpose: a overview of earlier publications in Lithuania and abroad; an overview of dune measurement instruments and methods; creation of a method for measuring selected dunes of the Curonian Spit; creation of a method for data collection and processing; dynamic processes mapping; assessment of surface changes in the mapped territories and 3-D digital modelling of continuing processes. The paper features an exhaustive overview of earlier publications and provides an analysis of measuring methods. A method is offered for collection and analysis of data on dynamic processes continuing in dunes. Selected territories (Great, Naglių and Parnidžio Dunes) were directly measured in the course of research. Many-sided analysis of the collected data allowed not only to assess the scale of continuing changes but also to deliver methods for their digital visualization.

64 pages of text, with 18 annexes, 46 illustrations, and 8 tables. Summaries in Lithuanian and English.

Keywords: Curonian Spit, dunes, mapping model, digital modelling.

IVADAS

Kopų yra daugelyje šalių. Jos slenka vyraujančio vėjo kryptimi nuo kelių centimetrų iki keliolikos metrų per metus. Prognozuojant kopų judėjimo dinamiką jas reikia reguliariai kartografuoti, o gautą medžiagą apdoroti ir sulyginti su ankstesniais matavimais.

Vokietijos ir Prancūzijos kopos bei kai kurie Šiaurės jūros ir Atlanto vandenyno krantai, dėl bangavimų, stiprių vėjų, per kelis šimtus metų pasislinko nuo keliasdešimt metrų iki kelių kilometrų. Kopas stebėti pradėta Vokietijoje nuo 1200 m., o Prancūzijoje nuo 1617 m. Dabartiniu metu Lenkijoje, kitose Europos valstybėse, kopų stebėjimams naudojami tiesioginiai matavimai bei distanciniai tyrimai. Naudojant šiuos metodus galima pastebėti naujai besiformuojančias ar apaugusias kopas.

Lietuvoje Kuršių nerijos kopas kartografuoti menzulos pagalba, pradėta apie 1830 metus, bet kartografavimas vyko nereguliariai. Nuo 2013 m. pradėti vykdyti Naglių ir Parnidžio kopų, o nuo 2015 m. ir Didžiosios kopos kartografavimo darbai, pritaikant naujausius kartografavimo metodus.

Apdorojus surinktus tiesioginių matavimų, meteorologinių, distancinių tyrimų duomenis sudaromi skaitmeniniai 2D ir 3D modeliai, atliekama jų analizė bei rezultatų vizualizacija.

Sudarant kartografinius kūrinius – žemėlapius, schemas jų pagrindui buvo naudojami šie duomenys: Lietuvos Respublikos teritorijos M1:10 000 georeferencinių duomenų bazė GDR10LT © Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos [2016-2017]; Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:50000 georeferencinių duomenų bazė GDR50LT © Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos [2016-2017]; Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:250000 georeferencinių duomenų bazė GDR250LT © Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos [2016-2017]; Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:10000 skaitmeninis rastrinis ortofotografinis žemėlapis ORT10LT (sudarytas 1995–1999, juodai baltas) © Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos, 2017; Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:10000 skaitmeninis rastrinis ortofotografinis žemėlapis ORT10LT (sudarytas 2012–2013, spalvoto vaizdo) © Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos [2016-2017].

Darbo aktualumas. Kuršių nerijos kopos, 2000 m. buvo įrašytos į UNESCO pasaulinio kultūros paveldo sąrašą, todėl visi kopų dinamikos stebėjimų rezultatai aktualūs ne tik pokyčių vertinimui, bet ir reikalingi norint sudaryti kartografinius pokyčių prognozavimo modelius reikalingus kopų išsaugojimui.

Darbo naujumas. Kuršių nerijos Lietuvos dalies teritorija kartografuojama nuo 1700 m., deja nesistemiškai. Detalūs žemėlapiai, masteliu M 1:25000, buvo išleisti tik 1916 m., 1934 m., 1958 m. ir 1970 m. Šiuos žemėlapius sudarė vokiečių bei rusų karo kartografai ir jie buvo dažniausiai skiriami kariškių poreikiams. Po 1970 m. buvo kartografuojamos urbanizuotos teritorijos bei miškai,

tik išskirtiniais atvejais kartografuoti atskiri kopų arealai ir sudaromi pavieniai palyginamieji kopų reljefo pjūviai. Šio darbo naujumas – atliktas detalus pasirinktų kopų arealų kartografavimas, taikant naują skaitmeninio modeliavimo metodologiją.

Darbo pritaikomumas. Tyrimo metu sukaupti duomenys gali būti naudojami kopų dinamikos prognozių skaitmeninių modelių kūrimui.

Baigiamojo magistrinio darbo tikslas – atlikti Kuršių nerijos kopų tiesioginius matavimus, įvertinti pokyčius ir sukurti vykstančių dinaminių procesų prognozavimo metodiką.

Siekiant įgyvendinti iškeltą darbo tikslą suformuluoti šie darbo uždaviniai:

1. Atlikti užsienyje ir Lietuvoje vykdytų darbų istorinę apžvalgą;
2. Atlikti kopų matavimuose naudojamų prietaisų bei matavimo metodikų apžvalgą;
3. Sukurti metodiką pasirinktų Kuršių nerijos kopų matavimui;
4. Sukurti duomenų kaupimo ir apdorojimo metodiką;
5. Atlikti dinaminių procesų kartografavimą;
6. Atlikti kartografuotų teritorijų paviršiaus pokyčių vertinimą ir sukurti vykstančių procesų trimatį skaitmeninį modelį.

Nuoširdžiai dėkoju Valstybės sienos apsaugos tarnybos prie Lietuvos Respublikos vidaus reikalų ministerijos tarnybos vado pavaduotojui Štabo viršininkui **Vidui Mačaičiui**, Valstybės sienos apsaugos tarnybos prie Lietuvos Respublikos vidaus reikalų ministerijos tarnybos Pakrančių apsaugos rinktinės Neringos užkardos vadui **Vytautui Sakevičiui**, Kuršių nerijos regioninio parko direktorei **Aušrai Feser** bei Neringos savivaldybės administracijai už pagalbą atliekant lauko tyrimus.

Už pagalbą kaupiant tiesioginių matavimų duomenis dėkoju Vilniaus universiteto Chemijos ir geomokslų fakulteto Geomokslų instituto Kartografijos ir geoinformatikos katedros dėstytojams bei darbuotojams: prof. hab. dr. **Algimantui Česnulevičiui**, dr. **Linui Bevainiui**, vyresniosioms specialistėms **Reginai Bugorevičienei**, **Neringai Mačiulevičiūtei-Turlienei**, **Rimai Svilienei**, o taip pat Valstybinio mokslinių tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro Geologijos ir geografijos instituto Geomorfologijos sektoriaus mokslo darbuotojai dr. **Reginai Morkūnaitei**.

Nuoširdžiausiai dėkoju magistro darbo vadovui doc. dr. **Artūriui Baurėnui** už visokeriopą pagalbą rengiant šį darbą, už idėjos palaikymą ir paskatinimą siekiant galutinio rezultato.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Užsienyje vykdytų tyrimų apžvalga

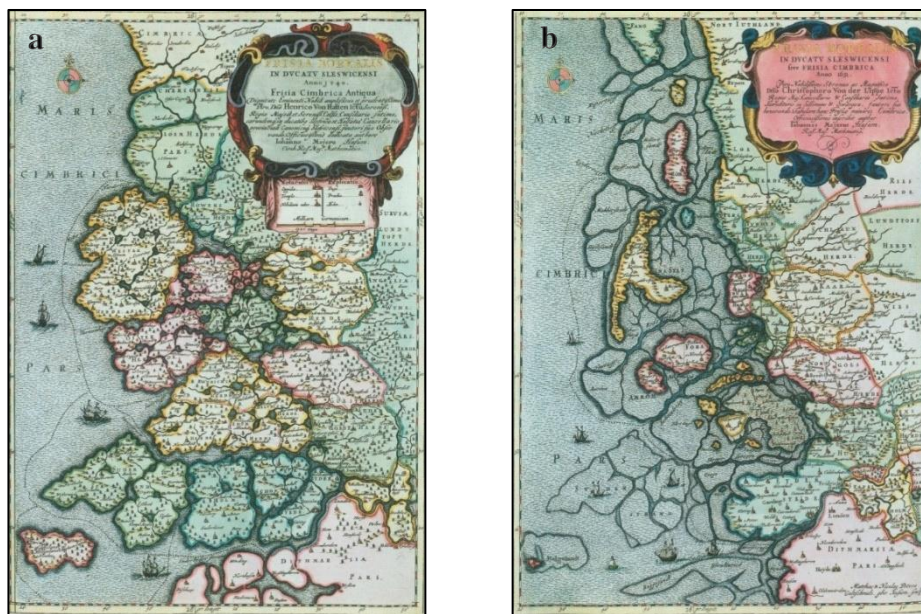
Kopų judėjimas keičia kraštovaizdį, kelia grėsmę šalia kopų esančioms gyvenvietėms, dėl ko jų stebėjimai aktualūs daugelyje valstybių. Prancūzijos ir Vokietijos teritorijos pasirinktos dėl to, kad kopų kartografavimas vykdomas seniai, o Lenkija – kopos prie Baltijos jūros panašios į Lietuvoje esančias kopas.



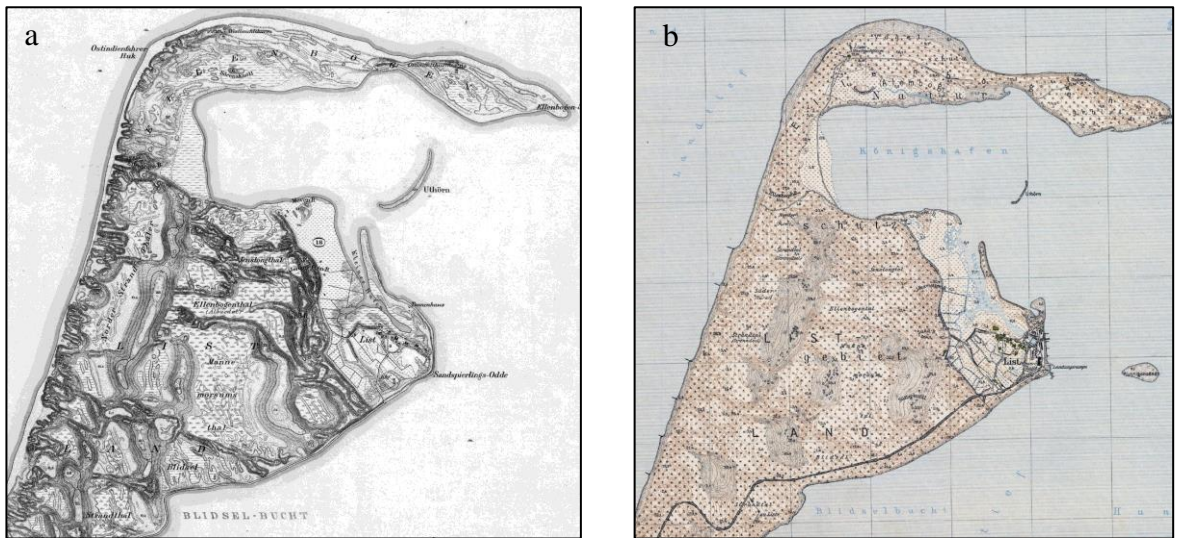
1 pav. Pylat kopa (Vakarų Prancūzija, 1989)

Vokietijos Šiaurės jūros pakrančių žemėlapiai pradėti sudarinėti 1200 m., kuriuose buvo atvaizduota kranto linija, salos, seklumos bei matomos išsiskiriančios kopos. Tokiuose žemėlapiuose pastebėti galima tik labai žymius vietovės pasikeitimus. Labiausiai matomi pasikeitimai buvo kranto linijos. Pasikeitus kranto linijai, galima daryti išvadą, kad keitėsi ir kopų padėtis. Santykinai nedidelių poslinkių (keletą metrų) tokiuose žemėlapiuose nustatyti buvo neįmanoma. Tokie žemėlapiai buvo sudarinėjami nereguliariai (kartais kas metus, o kartais kas keletą dešimtmečių), beveik iki devyniolikto amžiaus.

Pakilus Šiaurės jūros vandens lygiui, veikiant jūros bangoms ir vėjui pustant išplautą smėlį, per keturis amžius labai pasikeitė Šiaurės Fryzijos krantai bei vietovės reljefas (2 pav.).



2 pav. D. Meier perbraižyti Šiaurės Fryzijos žemėlapiai a) 1240 m., b) 1651 m. (wikimedia.org, 2010)



4 pav. Sylt salos žemėlapių M 1:10000 fragmentai: a) 1878 m., b) 1925 m.
(Greifswaldo universitetas, 2012)

Apytiksliai iki 1935 m. žemėlapiai buvo sudarinėjami arba atnaujinami nereguliariai – ne vienodais laiko tarpais, todėl negalima taip tiksliai matyti bei prognozuoti kopų slinkimo greičio. Nuo 1935 m. buvo sudaromi nauji, kariniams tikslams pritaikyti, žemėlapiai. Pasibaigus Antrajam pasauliniam karui ir daugelyje vietų pasikeitus vietovės situacijai, priekrantės žemėlapiai buvo pradėti naujai sudarinėti arba atnaujinti nuo 1946–1950 m. Nuo tada žemėlapiai reguliariai atnaujinami. Tai leidžia prognozuoti kopų judėjimo dinamiką (Greifswaldo universitetas, 2012).

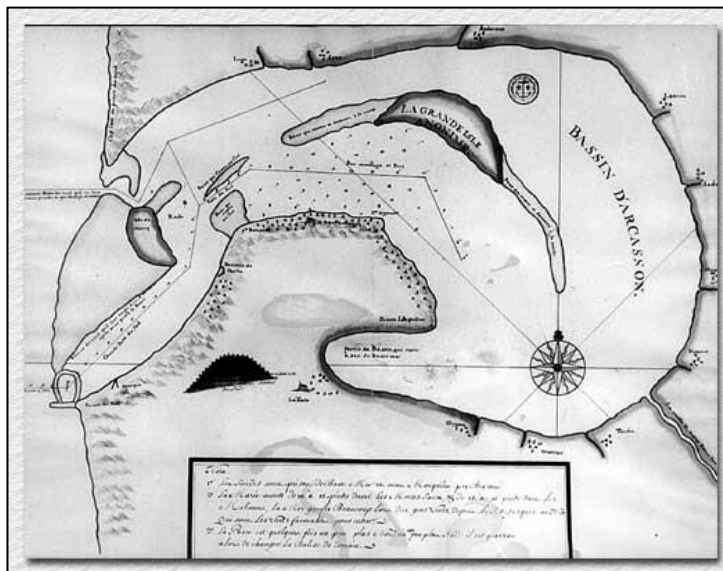
Prancūzijoje labai daug gyvenamųjų teritorijų yra išikūrusios prie Atlanto vandenyno, Šiaurės ir Viduržemio jūrų. Dėl to labai aktualu stebėti ir prognozuoti kopų, ypač prie Atlanto vandenyno ir Šiaurės jūros dėl didelės vėjo ir potvynių įtakos, o kartu ir kranto linijos, pokyčius.



5 pav. 1617 m. Arkašono apylinkių žemėlapis. Pagrindas 1585 m. Merkatoriaus žemėlapis
(Arkašono istorijos puslapis, 2014)

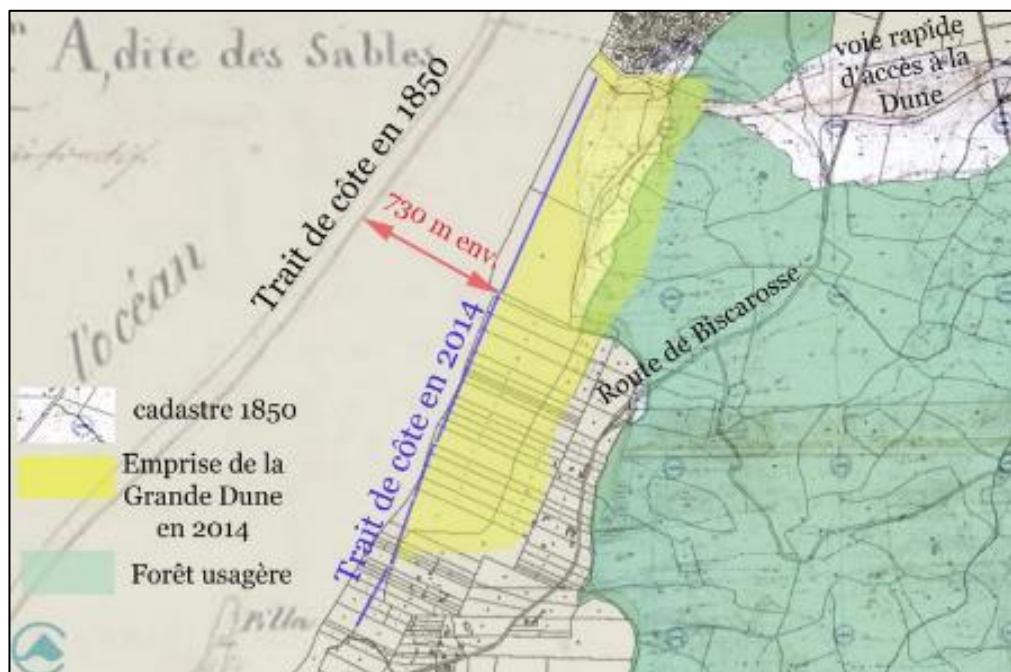
1585 m. Merkatoriaus žemėlapyje buvo kartografuota Prancūzijos pakrantė prie Atlanto vandenyno. 1617 m. buvo išleistas detalus Arkašono apylinkių žemėlapis (5 pav.). 1634 m. išleistas priekrantės žemėlapis (6 pav.) kuriame pavaizduota ir Didžioji arba Pylat kopa (Arkašono istorijos puslapis, 2014).

Kopų ir kranto linijų žemėlapius, menzulos pagalba, Prancūzijoje pradėta sudarinėti apie 1800 metus (Arkašono istorijos puslapis, 2014).



6 pav. 1634 m. Arkašono apylinkių žemėlapis (Arkašono istorijos puslapis, 2014)

Dėl vėjo, pučiamo nuo vandenyno, Pylat kopa kasmet, po 1–9 m, slenka į žemyną, „prarydama“ miško medžius bei namus. Pylat kopa nuo 1850 m. iki 2014 m. į žemyno gilumą pasislinko apie 730 m ir „paaugo“ apie 24 m – nuo 83 m iki 107 m (7 pav.). Tai galima buvo nustatyti analizuojant žemėlapius sudarytus nuo 1817 m. (Arkašono istorijos puslapis, 2014).



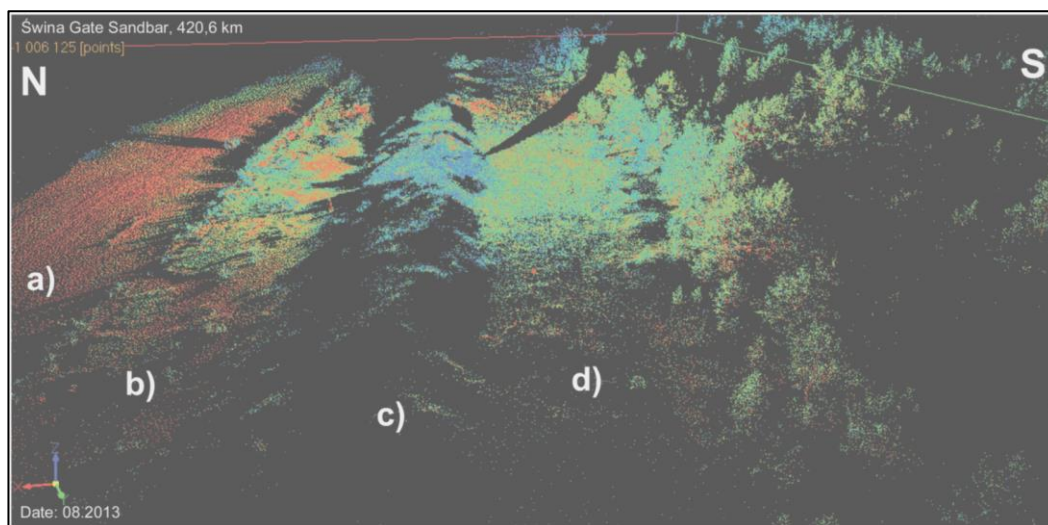
7 pav. Arkašono apylinkių žemėlapis (Arkašono draustinio tarnyba, 2015)

Pokytis dar labiau išryškėja, panaudojus skirtingų laikotarpių ir skirtingais metodais sudarytus žemėlapius (8 pav.).



8 pav. Palyginamasis 1888 m. ir 2012 m. Arkašono apylinkių žemėlapis (Arkašono draustinio tarnyba, 2015)

Lenkijoje kopų stebėjimui naudojami tokie patys metodai kaip Vokietijoje ir Prancūzijoje – tiesioginiai matavimai (elektrooptiniais tacheometrais, topografiniais GPS prietaisais) ir netiesioginiai matavimai (aerofotonuotrauka, žemės paviršiaus lazerinio skenavimo taškų (LIDAR) duomenys). Kopų stebėjimams panaudojus LIDAR duomenis galima pastebėti naujai besiformuojančias ar apaugusias kopas (9 pav.), netiesiogiai nustatyti jų aukštį, o palyginus kelis vaizdus galima nustatyti kopų dinamiką (Poznanės Adomo Mickevičiaus universitetas, 2015).



9 pav. Kopos reljefas gautas naudojant LIDAR duomenis: a) pakrantė (pliažas), b) besiformuojanti kopa, c) Priešakinė kopa, d) griovys, N – šiaurė, S – pietūs (Poznanės Adomo Mickevičiaus universitetas, 2015)

1.2 Lietuvoje vykdytų tyrimų apžvalga

Lietuvoje kopos yra ne tik prie Baltijos jūros, nuo Lietuvos – Latvijos valstybių sienos iki Melnragės bei Kuršių nerijoje, bet ir žemyninėje dalyje. Šilutės rajono Galzdonų botaniniame, Nemuno žiogų hidrografiniame draustiniuose yra unikalios upinės kopos (Nemuno deltos regioninis parkas, 2011), žemyninės kopos – Jurbarko rajono Kaskalnio geomorfologiniame draustinyje (Viešvilės valstybinis gamtinis rezervatas, 2016), Dzūkijos nacionalinio parko teritorijoje Alkūnės kampo, Drevių kampo, Marcinkonių, Šunupio draustiniuose (Dzūkijos nacionalinis parkas, 2016), Čepkelių valstybiniame gamtiniame rezervate (Valstybinė saugomų teritorijų tarnyba, 2011). Visos šios kopos, išskyrus „vaikščiojančią“ Gaidžių kopą Marcinkonyse, yra apaugusios, negyvosios. Duomenų apie kartografavimo darbus iki 1910 metų šiose teritorijose rasti nepavyko.



10 pav. K. Henebergo 1576 m. Prūsijos žemėlapis (Greifsvaldo universitetas, 2012)

1576 m. Kasparo Henebergo (Casparo Henneberg) Prūsijos žemėlapyje pavaizduotos kopos dabartinių Lietuvos ir Lenkijos teritorijų pakrantėse (10 pav.).

Kuršių nerija kartografuojama nuo 1700 m., tačiau nesistemiškai. Kuršių nerijos kopas kartografuoti menzulos pagalba pradėta apie 1830 metus. Tačiau kartografavimas vyko nereguliariai, dėl ko buvo labai sunku spręsti apie kopų judėjimo dinamiką. Pirmieji žemėlapiai su aukščiais datuoti 1859 m. (11 pav.)



11 pav. Kuršių nerijos, prie Grobšto įlankos, žemėlapių fragmentas, a) 1834 m., b) 1859 m. (Greifswaldo universitetas, 2012)

Pradedant nuo 1910 m. iki II pasaulinio karo pabaigos Kuršių nerijos žemėlapiai dažniausiai buvo sudaromi kariniams tikslams, išskirtiniais atvejais buvo kartografuojami miškai.

Detalūs žemėlapiai masteliu M 1:25000 buvo atspausdinti 1916 m. pagal 1910–1912 m. vietovės kartografavimą, o pagal papildytus 1923 m. matavimus 1936–1938 m. buvo atspausdinti nauji žemėlapiai. Šiuos žemėlapius sudarė vokiečių kariškiai karo tikslams. Po karo Kuršių nerijai tapus beveik uždari, dėl žemės ūkiui netinkamo ir nederlingo dirvožemio, kartografavimo darbai buvo beveik neatliekami arba apsiribojama kartografuojant Kuršių nerijos urbanizuotas ir miškų teritorijas. Rusų kariuomenė 1946–1948 išleido žemėlapius pagal 1936–1938 m. vokiečių armijos sudarytus žemėlapius. Rusų armija savo tikslams 1958–1959 m. bei 1969–1970 m. išleido pagal 1955 m. kartografavimą sudarytus M 1:25000 žemėlapius. Kopos buvo kartografuojamos labai retai ir tik pagal užsakymus (12 pav.), todėl naujesnės medžiagos rasti nepavyko.



12 pav. Neringos savivaldybės bendrojo plano fragmentas (Neringos savivaldybė, 2012)

Žemėlapiai menzulos pagalba buvo sudarinėjami iki 1970 m. Vakarų Europoje ir 1990 m. – Rytų Europoje, o vietovės pasikeitimams fiksuoti buvo naudojamos maždaug iki 1990–1995 m. (Brokhauz F. A. ir Efron I. A., 2010).

Lietuvai 1990 m. atkūrus nepriklausomybę buvo pradėti kompleksiniai kartografavimo darbai – reguliariai vykdomas aerofotografavimas, kurio pagrindu sudaromi teminiai žemėlapiai, kuriami georeferencinių erdvinių duomenų rinkiniai, atliekamas skaitmeninių erdvinių žemės paviršiaus lazerinio skenavimo taškų (LIDAR) duomenų rinkimas. Tačiau šių duomenų nepakanka dinaminiam kopų stebėjimui.

Lietuvoje Kuršių nerijos kopose iki 2000 m. lankymas buvo neribojamas. 1932 m. Nidoje įkūrus sklandytojų mokyklą, nuo Sklandytojų (Didžiosios) kopos besimokantys sklandytojai kildavo į dangų. 1990 m. Lietuvai atkūrus nepriklausomybę į Kuršių neriją suplūdo daug poilsiautojų – sovietmečiu Kuršių nerija buvo pusiau uždara, lankymasis joje buvo ribojamas. Poilsiautojams trypiant kopas – jos pradėjo sparčiai nykti. Lyginant žemėlapius sudarytus – 1936–1938 m. vokiečių armijos, 1958–1959 m. bei 1969–1970 m. rusų armijos ir 2015–2017 m. atliktais matavimais pastebime, kad Didžioji (Sklandytojų) kopa pažemėjo nuo 61,5 m (1936 m.) iki 38,7 m (2016 m.).

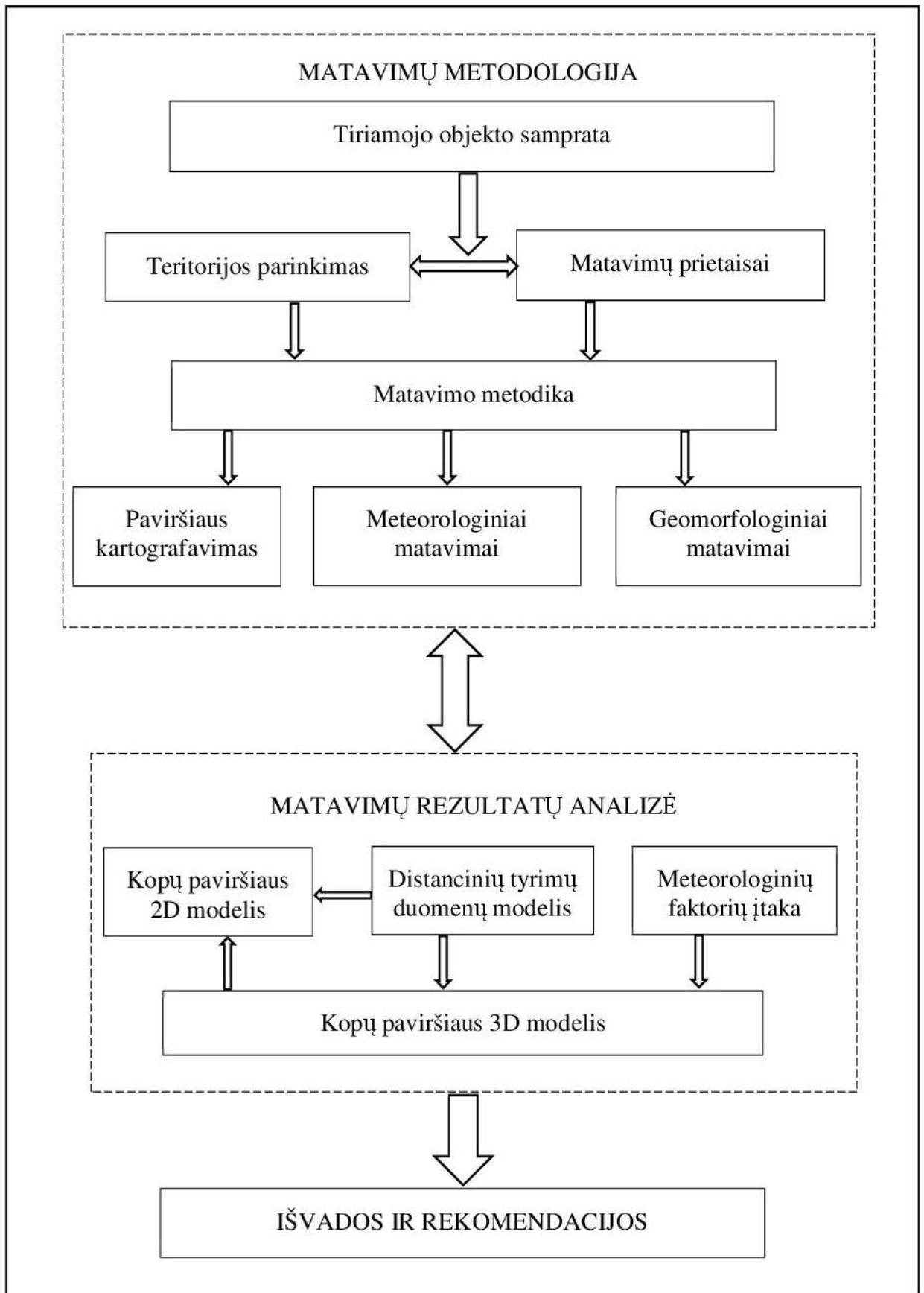
1995 m. į kopas, 500 m atstumu nuo Lietuvos Respublikos ir Rusijos Federacijos valstybių sienos, dėl pasienio teisinio režimo patekti buvo negalima. 2000 m. Kuršių nerija įtraukta į UNESCO pasaulinio kultūros paveldo sąrašą. Kopomis vaikščioti draudžiama, išskyrus vietas kur įrengti pažintiniai takai – bet tai vis tiek daro įtaką kopų slinkimui.

Vilniaus universiteto Gamtos mokslų fakulteto dėstytojai ir Vilniaus universiteto Gamtos mokslų fakulteto Inžinerinės fotogrametrijos laboratorijos darbuotojai 1980–1987 metais atliko profilių, nuo Baltijos jūros iki Kuršių marių, periodinius matavimus Kuršių nerijoje. Profiliai buvo matuojami teodolitais. Pasirinktose vietose menzula buvo kartografuojama Baltijos jūros ir Kuršių marių krantai bei kai kurios kopos. Šiais matavimais pasiremti negalima, kadangi jie buvo atliekami sąlyginėje sistemoje. Vilniaus universiteto Kartografijos centro dėstytojai bei darbuotojai 2003 m. iš naujo pradėjo Kuršių nerijos kopų kartografavimo darbus. Tačiau dėl finansavimo stokos šie darbai buvo atliekami nereguliariai.

Nuo 2013 m. Vilniaus universiteto Kartografijos centro specialistai – prof. hab. dr. Algimantas Česnulevičius, doc. dr. Artūras Bautrėnas, dr. Linas Bevainis, dr. Donatas Ovadas ir kiti darbuotojai atlieka periodinę Kuršių nerijos judančių kopų, Lietuvos Respublikos teritorijoje, stebėseną bei kartografavimą. 2015 m. Kartografijos centras pradėjo rinkti geodezinių matavimų duomenis prie Lietuvos Respublikos ir Rusijos Federacijos valstybių sienos, kur asmenų patekimas ribojamas. Matavimai buvo atlikti 2015 m. rugsėjį ir 2016 ankstyvą pavasarį.

2. DARBO METODOLOGIJA

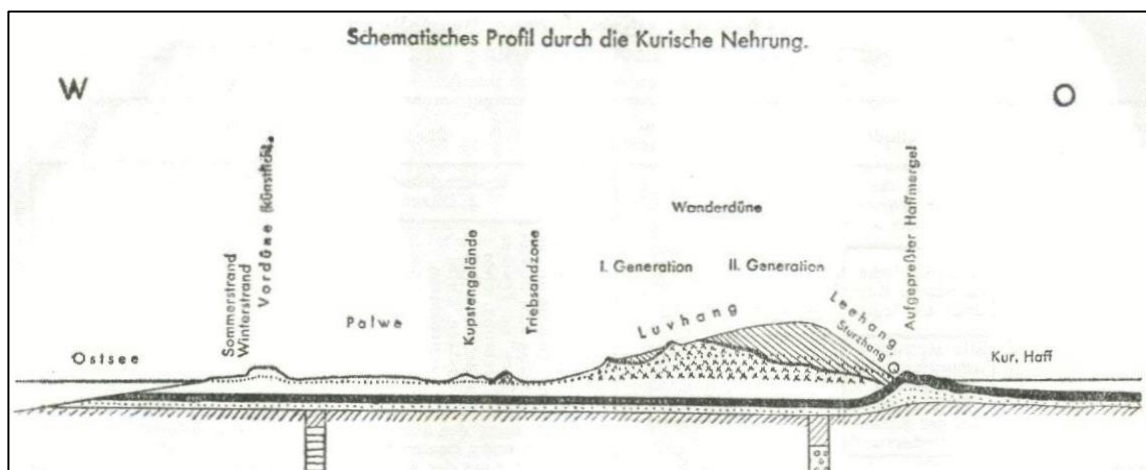
Kuršių nerijos kopų tyrimai atliekami pagal šią metodologinę schemą (13 pav.):



13 pav. Kopų dinaminių procesų kartografavimo metodologinė schema

2.1. Kopų samprata

Kopos – tai vėjo supustytos smėlio kalvos smėlėtuose pajūriuose, paežerėse, paupiuose, dykumose arba zandrinėse lygumose. Pagal susidarymo vietą jos skiriamos į žemynines ir pajūrio (Lietuvos Respublikos terminų bankas). Kopos yra dviejų rūšių: judriosios ir nejudriosios, kitaip negyvosios. Kai kopos apauga augalija, jos nustoja judėti ir tampa negyvosiomis kopomis. Judriosios kopos slenka vyraujančio vėjo kryptimi nuo kelių centimetrų iki keliolikos metrų per metus.



14 pav. Kuršių nerijos pjūvis (Andre K., 1934)

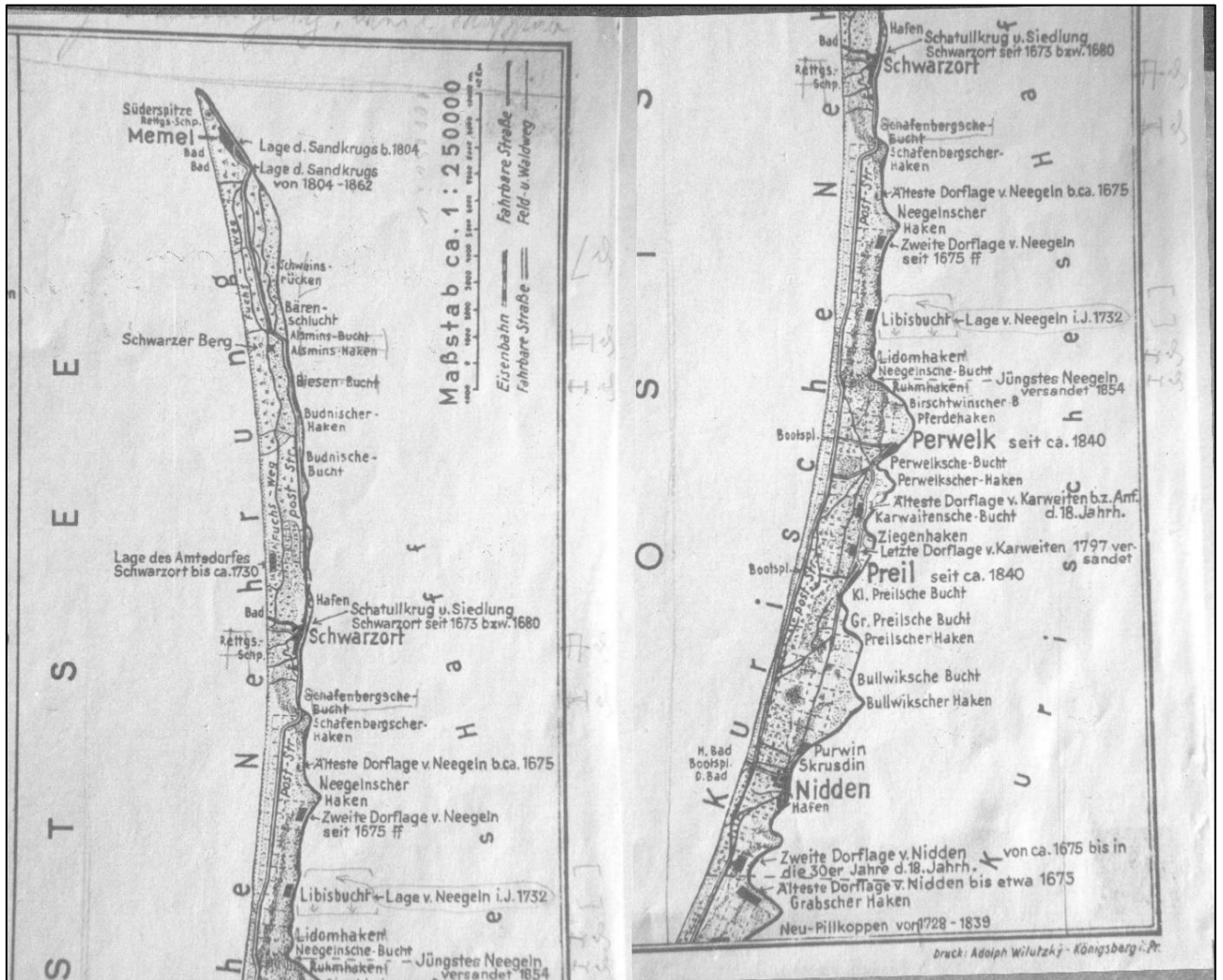
Kuršių nerijoje kopos yra prie Baltijos jūros – apsauginis kopagūbris ir prie Kuršių marių (14 pav.). Apsauginis kopagūbris pastoviai pasipildo smėliu iš jūros, o kopos prie Kuršių marių papildomos smėliu vėjui pernešant smiltis nuo apsauginio kopagūbrio (vėjo kryptis nuo Baltijos jūros link marių). Vėjui pakeitus kryptį ar greitį – smėlio papildymas kopose prie marių nutrūksta arba yra išpustomas, todėl jos pradeda nykti (15 pav.).



15 pav. Lietuvos Respublikos ir Rusijos Federacijos valstybių sienos ženklas Nr. 552 (VSAT, 2015)

Judančių smėlio kopų yra daugelyje pasaulio valstybių. Jos sutinkamos dykumose, valstybių žemyninėse dalyse, prie jūrų, vandenynų. Dėl vėjo, bangų, potvynių įtakos kopos gali judėti nuo kelių centimetrų iki kelių šimtų metrų per metus. Kopoms slenkant, keičiasi vietovės situacija – vietoje

buvusios kalvos atsiranda duobė arba atvirkščiai, užpustomos sodybos arba ištisos gyvenamosios vietovės, pvz.: per 1706–1846 m. laikotarpį Kuršių nerijoje, po kopų smėliu, buvo palaidota net 14 kaimų: Senoji Nida, Preidynė, Senieji Nagliai, Senoji Pilkopė, Pilkopė, Šarkuva, Smiltynė ir kiti kaimai (16 pav.). Siekiant sustabdyti kopų judėjimą 1810 m. buvo pradėti vykdyti apželdinimo darbai (Dikšaitė L., 2010). Slenkant pajūrio kopoms dažnai keičiasi ir kranto linija. Ne visas kopas galima bei įmanoma apželdinti, dėl šių priežasčių jas nuolat reikia stebėti.



16 pav. Kuršių nerijos gyvenvietės (Wilutzky, 2009).

2.2. Kartografuota teritorija

Atlikus surinktos medžiagos 1.2 skyriuje analizę, kartografavimui buvo pasirinktos: Didžioji (Sklandytojų), Parnidžio ir Naglių kopos (17 pav., 1 lentelė), kurių reljefas dėl gamtinių procesų ar žmogaus veiklos kinta. Tyrimams pasirinktos kopos yra judančios – „gyvos“.



17 pav. Kartografuojamų teritorijų parinkimo schema (A. Kalesnikas, 2017)

Lentelė 1. Kartografuojamų teritorijų plotai.

Kartografuojama teritorija	Plotas, ha	Atstumas nuo valstybės sienos su Rusijos Federacija, km
Didžioji (Sklandytojų) kopa	21,3	0-0,5
Parnidžio kopa	9,2	1,2-1,7
Naglių kopa	32,1	18,5-19,0

Kadangi yra unikali galimybė patekti į riboto patekimo teritoriją – Grobšto gamtinę rezervatą bei pasienio ruožą, Didžioji (Sklandytojų) kopa pasirinkta kaip etaloninė, kur žmogaus įtaka kopų slinkimui yra minimali, o jų judėjimą lemia tik gamtinis faktorius – vėjas, krituliai. Stebėjimams bei žmogaus veiklos įtakos įvertinimui kopų slinkimui taip pat pasirinktos Parnidžio kopa, kurioje lankytojų srautas neribojamas ir jie vaikšto kopų smėliu bei Naglių kopa – kurioje lankytojų srautas ribojamas (sezono periodu imamas mokestis) ir jie vaikšto mediniu taku įrengtu per kopas. Parnidžio kopos ir Didžiosios (Sklandytojų) kopos (kurioje įrengta meteorologinė stotelė) klimatinės sąlygos panašios. Didžiosios kopos aukščiai – nuo 26 m (prie įrengtos meteorologinės stotelės) iki 38 m, Parnidžio – nuo 30 m (pėsčiųjų take) iki 55 m (šalia Saulės laikrodžio), Naglių – nuo 5 m (prie

medinio pažintinio tako pradžios) iki 60 m. Pagal 1911 m. matavimus Didžioji kopa buvo 61,5 m aukščio virš jūros lygio.

Norint sukurti kopų judėjimo prognozavimo modelį reikalingas pasirinktų teritorijų monitorinis stebėjimas – atlikti bent kelių sezonų tiesioginius matavimus, juos tarpusavyje palyginti. Iš gautų duomenų galima kurti prognozinį modelį.

2.3. Matavimo prietaisų ir matavimo metodų parinkimas

Žemės paviršiaus matavimų metodika yra senai žinoma ir palyginti plačiai taikoma. Kuršių nerijos kopos yra UNESCO pasaulio kultūros paveldo sąrašė. Pasirinktos kartografuoti teritorijos yra nestabilios, dėl gamtinių faktorių ir ten kur leidžiama žmogaus veiklos, kopų paviršius keičiasi. Dėl šios priežasties bei dėl atsiradusių naujų prietaisų ir technologijų buvo atsisakyta klasikinių matavimų teodolito ir menzulos pagalba. Pasirinktų teritorijų kartografavimui pasirinkti prietaisai nuo pačių elementariausių iki moderniausių (2 lentelė). Kopos buvo matuojamos ± 5 cm tikslumu.

Lentelė 2. Matavimo metodų tikslumas

Matavimo metodas	Matavimų prietaisas	Matavimų tikslumas	
		horizontalus	vertikalus
Reperinis	stacionarios matavimų gairės	iki ± 10 mm	± 2 mm
Tacheometrinis, GPS	topografinis GPS	iki ± 10 mm	± 5 mm \div ± 15 mm
	elektrooptinis tacheometras	iki ± 5 mm	iki ± 10 mm
Distanciniai	LIDAR	iki $\pm 0,5$ m	iki $\pm 0,5$ m
	bepiločių skraidymo aparatų nufotografuotos nuotraukos	iki $\pm 0,25$ m	iki ± 5 cm
	aerofotonuotrauka	iki $\pm 0,5$ m	iki $\pm 0,5$ m
	Kosminio vaizdo nuotraukos	iki $\pm 0,5$ m	± 5 m \div ± 15 m

Reperinis matavimas. Kopų nupustymams ir pripustymams charakteringose vietose stebėti galima panaudoti stacionarias gaires ar objektus. Įrengtų gairių (17 pav.) koordinatės, LKS-94 koordinatinių sistemoje, pateiktos 3 lentelėje:

Lentelė 3. Stacionarių gairių koordinatės

Gairės pavadinimas	X	Y
ATR1	6131602,99	308086,79
ATR1-2	6131621,52	308007,94
M1-1	6131602,37	308340,34
M1-2	6131496,80	308268,38

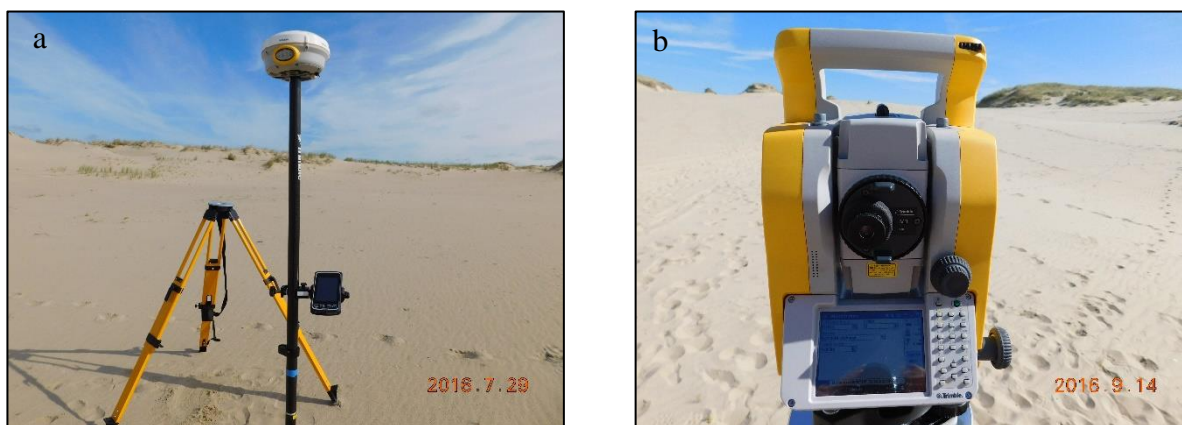
Matavimo instrumentu (liniuotė arba ruletė) periodiškai atliekami stebėjimai – matuojamas atstumas nuo žemės paviršiaus iki gairės viršaus (18 pav.). Gauti duomenys yra surašomi į stebėjimo žurnalą

ir/arba nufotografuojama. Matavimo tikslumas priklauso nuo matavimo instrumento tikslumo ir matuotojo kruopštumo. Tai pats paprasčiausias ir mažiausiai kaštų reikalaujantis stebėjimo būdas. Gairės ATR1-1 ir M1-2 buvo išpustytos ar kitaip sunaikintos, laikotarpiu tarp 2016 m. gruodžio 17 d. ir 2017 m. kovo 13 d.



18 pav. Stebėjimo gairės (A. Kalesnikas, 2016)

Tacheometrinis, GPS matavimas. Tiesioginiai matavimai atliekami elektroniniais prietaisais – elektrooptiniais tacheometrais, kurie gali būti kartu su integruotu globalios padėties nustatymo (*Global Positioning System* arba GPS) moduliu, topografiniais GPS (19 pav.). Šiais prietaisais atlikti matavimai yra tiksliausi. Matavimų tikslumas, priklausomai nuo prietaiso tikslumo (klasės) ir gali siekti iki ± 1 mm.



19 pav. „Topcon“ firmos prietaisai:
a) topografinis GPS, b) elektrooptinis tacheometras (A. Kalesnikas, 2016)

Topografiniu GPS prietaisu matuoti gali vienas žmogus, koordinatės nustatomos iš palydovų. Matuojant kopose – dėl atviro horizonto (nėra medžių, statinių) pasiekiamas didelis tikslumas tiek vertikaloje, tiek horizontalioje plokštumose. Matavimų duomenys gaunami koordinatėmis, o informacija išsaugoma duomenų kaupiklyje. Matuojant elektrooptiniu tacheometru reikia prietaisą suorientuoti – pastačius ant taško su žinomomis koordinatėmis reikia pamatuoti į kitą tašką su žinomomis koordinatėmis. Išmatavus vertikalų kampą ir atstumą prietaisas išskaičiuoja

nesąryšį ir jį parodo ekrane. Esant leistinam nesąryšiui atliekami teritorijos matavimai. Duomenys (kampai, atstumai, koordinatės) kaupiami prietaiso atmintyje (20 pav.).

Stotis										
Stotis	ssn280	Prietaiso aukštis	1.470	Stoties tipas	Stotis	Mastelis	1.00000000	Stand.Klaida	?	
Orientacija										
Stotis	ssn280	Atgalinio vizavimo taškas	ssn0281a	Orientacijos korekcija	-52°10'03"	Orientacija	standartinės klaidos	?		
Taškas (B.S. (atgalinis vizavimas))	ssn0281a	H. kamp.	0°00'00"	V. kamp.	91°08'01"	AN (atstumo nuolinkis)	154.939	Kodas		
Stand.Klaidos		H. kamp.	0°00'05"	V. kamp.	0°00'05"	AN (atstumo nuolinkis)	0.003			
Taikinio aukštis	1.050	Prizmės konstanta	0.0mm							
Deltos	ssn0281a	Azimutas	?	H. Atstumas	-0.002	V. Atst.	-0.003			
Taškas	gr001	H. kamp.	254°46'41"	V. kamp.	90°33'26"	AN (atstumo nuolinkis)	10.587	Kodas		
Stand.Klaidos		H. kamp.	0°00'05"	V. kamp.	0°00'05"	AN (atstumo nuolinkis)	0.003			
Taikinio aukštis	1.550	Prizmės konstanta	0.0mm							
Taškas	gr002	H. kamp.	257°04'17"	V. kamp.	90°22'34"	AN (atstumo nuolinkis)	21.855	Kodas		
Stand.Klaidos		H. kamp.	0°00'05"	V. kamp.	0°00'05"	AN (atstumo nuolinkis)	0.003			
Taikinio aukštis	1.550	Prizmės konstanta	0.0mm							

20 pav. Neapdorotų duomenų iš elektrooptinio tacheometro fragmentas (A. Baurėnas, 2016)

Prietaisu galima matuoti su prizme ir be jos – tik lazeriu, kuris atsispindi nuo paviršiaus. Tiksliausi matavimai su lazeriu – iki 100 m, nes dėl smėlio struktūros lazerio spindulys gali būti išskaidytas ir matavimai bus netikslūs arba iš viso bus neišmatuoti. Lazerio spinduliui taip pat turi įtakos saulės šviesa. Matavimų naudojant tik lazerį trūkumas – mažas matavimo spindulys, negalima pamatuoti paviršių, kuriuos užstoja nedidelės kalvelės. Matuojant su prizme šių trūkumų išvengiame, tačiau matavimams reikalingas dar vienas žmogus – nešioti gairelę su prizme. Matavimų duomenų apdorojimui gali būti panaudoti programiniai paketai: Microsoft Office, AutoCAD, ArcGIS, QGIS, Surfer ir kiti.

Distanciniai matavimai. Duomenų surinkimą panaudojant bepiločius skraidymo aparatus gali atlikti vienas kvalifikuotas specialistas. Tai yra palyginti greitas ir tikslus teritorijų matavimo metodas. Priklausomai nuo bepiločio aparato modelio – kvadrakopteris ar lėktuvas – skiriasi skraidymo trukmė, aukštis, nuotraukų aprėptis. Kvadrakopterio (21 pav.) skrydžio laikas su viena baterija yra apie 15 min., optimalus skrydžio aukštis – 40–50 m nuo žemės paviršiaus. Kvadrakopteris gali skristi tiek automatiškai, tiek valdant rankiniu režimais. Lėktuvo skrydžio laikas su viena baterija yra apie 45–120 min., optimalus skrydžio aukštis – 150–250 m nuo žemės paviršiaus. Lėktuvas valdomas tik automatiškai (Kosmoso mokslo ir technologijų institutas, 2016).



21 pav. Bepilotis skraidymo aparatas (dronas) „DJI Inspire 1 Pro“, skirtas kartografavimui (A. Kalesnikas, 2016).

Duomenų tikslumui padidinti kopose naudojamos markės, kurios padedamos chaotiškai ir užkoordinuojamos. Naudojant tradicinius fotogrametrijos būdus – markės turėtų būti sudėtos taip, kad kiekviena markė būtų atvaizduota 3 aerovaizduose.

Naudoti bepiločių skraidymo aparatų negalima, kai vėjo greitis yra didesnis negu 10 m/s.

Duomenų apdorojimui gali būti panaudoti programiniai paketai: Pix4D, AGISoft, Drone2Map, AutoCAD, ArcGIS, QGIS, Surfer ir kiti.

Aerofotografavimas vykdomas kas 5 metus ir aerovaizdais padengiama Lietuvos teritorija. Už šiuos darbus atsakinga Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos. Palyginus aerofotonuotrauką darytą vienais metais su tos pačios teritorijos aerofotonuotrauka daryta anksčiau galima lengvai nustatyti objektų horizontalų pokytį. Darbui su arofotonuotraukomis gali būti panaudoti programiniai paketai: AutoCAD, ArcGIS, QGIS, Surfer ir kiti.

Už LIDAR duomenų parengimą taip pat atsakinga Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos. Duomenys pateikiami koordinatėmis X, Y ir Z. Dėl palyginti mažo vertikalaus tikslumo (iki $\pm 0,5$ m) šie duomenys tinka tik apžvalgai. Duomenų apdorojimui gali būti panaudoti programiniai paketai: AutoCAD, ArcGIS, QGIS, Surferi kiti.

Kosminio vaizdo nuotraukos yra atnaujinamos palyginti dažnai, kas 7–14 dienų, tačiau šias nuotraukas galime naudoti horizontaliems pokyčiams fiksuoti. Dėl labai mažo vertikalus tikslumo (± 5 m \div ± 15 m) negalime stebėti smėlio judėjimo kopose. Duomenų apdorojimui gali būti panaudoti programiniai paketai: AutoCAD, ArcGIS, QGIS, Surferi kiti.

Matavimų metodai. Atsižvelgiant į pasirinktų kartografuoti teritorijų gamtinius ypatumus, žmonių veiklą, Lietuvos Respublikos teisės aktus bei tai, kad Vilniaus universiteto Kartografijos ir

geoinformatikos katedra turi šiuolaikinius prietaisus (elektrooptinius tacheometrus, topografinį GPS, bepiločius skraidymo aparatus) buvo atlikti šie matavimai:

- Didžioji (Sklandytojų) kopa, esanti pasienio ruože, matuojama elektrooptiniais tacheometrais, topografiniu GPS, reperinėmis matavimo gairėmis. Matavimai prie valstybės sienos atliekami tik su topografiniu GPS. Vadovaujantis Lietuvos Respublikos teisės aktais 1 km atstumu nuo valstybės sienos su Rusijos Federacija naudoti bepiločius skraidymo aparatus draudžiama (Neringos savivaldybės taryba, 2015). Gauti matavimų duomenys buvo apdoroti komerciniu programiniu paketu ArcGIS;

- Parnidžio kopa kartografuojama elektrooptiniais tacheometrais, topografiniu GPS, bepiločiu skraidymo aparatu. Stacionarios gairės dėl laisvo žmonių judėjimo neįrengiamos. Gauti duomenys apdoroti komerciniais programiniais paketais ArcGIS ir Pix4D (nuotraukoms iš bepiločio skraidymo aparato apdoroti, 15 d. nemokama bandomoji versija);

- matavimai Naglių kopoje atliekami elektrooptiniais tacheometrais, topografiniu GPS. Gauti duomenys apdoroti ArcGIS programiniu paketu.

2.4. Pasirinktų teritorijų kartografavimas

Atsižvelgiant į tai, kad žemės paviršius bus vaizduojamas: horizontalėmis (laiptas – 0,5-1 m), žemės paviršiaus pjūviais, 3D modeliu bei reikės paskaičiuoti kopų poslinkių tūrius – piketai kopose koordinuojami kas 5-15 m, o taip pat charakteringuose ar lūžio taškuose. Irstančių ar degraduojančių kopų (22 pav.) matuojamos papėdės ir jei galima, stengiantis nesuardyti šlaitų, kopų viršūnės. Matavimai atliekami stengiantis nepakenkti (neištrypti) matuojamų kopų paviršiaus.



22 pav. Irstančios, degraduojančios kopos (A. Kalesnikas, 2016)

Didžioji (Sklandytojų) kopa, kur yra įrengta meteorologinė stotelė, matuojama detaliesiai. Pirminiu matavimu piketai koordinuojami kas 5–7 m, kitais matavimais fiksuojami pokyčiai, o piketai koordinuojami kas 10-15 m. Parnidžio ir Naglių kopose piketai koordinuojami kas 10-15 m.

Kopų lauko matavimų darbų grafikas pateikiamas 4 lentelėje.

Lentelė 4. Atliekamų darbų arbu grafikas

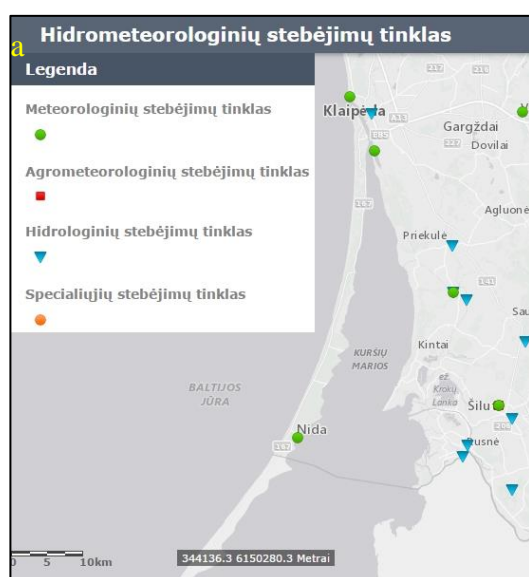
Laikotarpis Darbai	2016 m.			2017 m.			
	liepa– rugspjūtis	rugsėjis– spalis	lapkritis– gruodis	sausis– vasaris	kovas	balandis	gegužės 20 d.
I matavimas	07-28÷31						
II matavimas		09-14÷17					
III matavimas			12-15÷17				
IV matavimas				03-13÷20			
2D ir 3D kartografinis modelis bei rezultatų analizė							

2.5. Klimato poveikio tyrimai

Artimiausios Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos (LHMT) meteorologinės matavimo stotys yra (23 pav.):

- Nidoje prie uosto (Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos). Stotis įrengta žemoje vietoje, apsaugota mišku nuo Baltijos jūros pučiančių vėjų, dėl šios priežasties vėjo matavimų duomenys yra nepatikimi. Atstumas iki Didžiosios kopos yra ~2,8 km, Parnidžio – ~1,1 km, Naglių – ~16,1 km;

- Klaipėdoje, Klaipėdos uoste bei Šilutėje (Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos). Šiose vietose įrengtų meteorologinių stočių klimatinės sąlygos skiriasi nuo matuojamų teritorijų klimatinės sąlygų. Atstumas nuo Klaipėdos uosto meteorologinės stoties iki Didžiosios kopos yra ~43,9 km, Parnidžio – ~42,3 km, Naglių – ~25,4 km, o nuo Šilutės meteorologinės stoties iki Didžiosios kopos ~30,5 km, Parnidžio – ~29,3 km, Naglių – ~25,0 km.



23 pav. Meteorologinių stebėjimų tinklas
a) meteo.lt žemėlapių fragmentas (LHMT, 2017),
b) eismoinfo.lt žemėlapių fragmentas (LAKD, 2017)

Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos (LAKD) meteorologinė stotelė prie Nidos, automobilių kelyje Smiltynė–Nida–Kaliningradas (Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos), apsupta miško (23 pav.). Ši meteorologinė stotelė netinkama duomenų rinkimui – ypač vėjo.

Atsižvelgiant į aukščiau išdėstytus teiginius, Didžiojoje (Sklandytojų) kopoje, į kurią yra ribotas patekimas ir kurioje vyksta tik gamtiniai procesai, įrengta meteorologinė stotelė „Soens 270009“ (24 pav.). Jos koordinatės: X – 6131568.69, Y – 308163.75, H – 25,52.



24 pav. Meteorologinė stotelė su duomenų kaupikliu (A. Kalesnikas, 2016)

Vėjo greitis ir kryptis matuojami 1,75 m aukštyje nuo žemės paviršiaus, oro temperatūra ir kiti parametrai matuojami 1,65 m. Viso matuojama 18 parametru, kurie išsaugomi *.csv faile. Sukauptų meteorologinių duomenų fragmentas pateiktas 5 lentelėje.

Lentelė 5. Neapdorotų meteorologinių duomenų fragmentas.

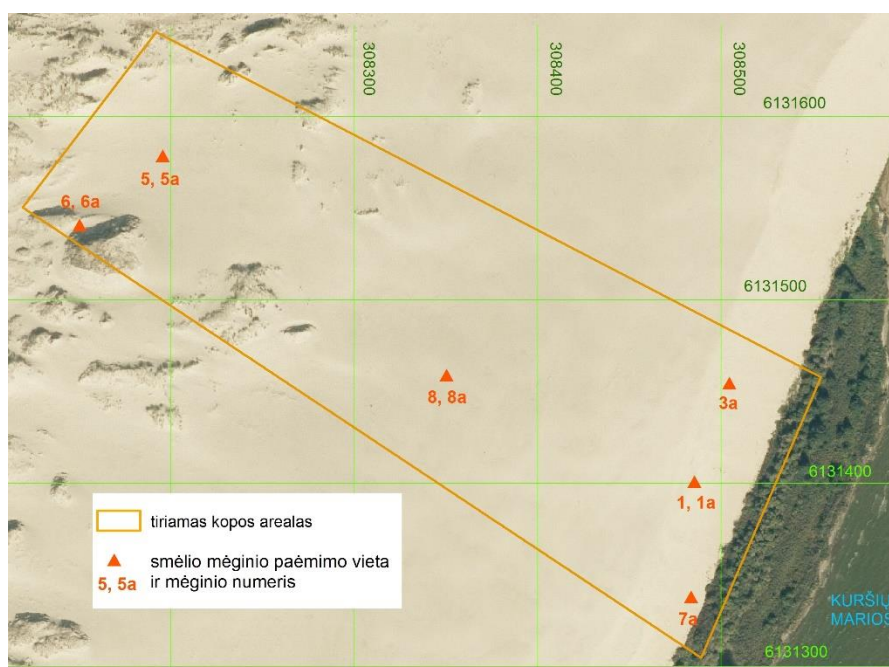
NO.	Time	Interval	Indoor Temperature (°C)	Indoor Humidity (%)	Outdoor Temperature (°C)	Outdoor Humidity (%)
<i>Eil. Nr.</i>	<i>Data, laikas</i>	<i>Matavimo periodiškumas (min)</i>	<i>Temperatūra kaupiklyje (°C)</i>	<i>Drėgmės kiekis kaupiklyje (%)</i>	<i>Lauko temperatūra (°C)</i>	<i>Drėgmės kiekis lauke (%)</i>
1	2	3	4	5	6	7
35	2016-08-01 04:18	30	20.3	70	18.9	74
36	2016-08-01 04:48	30	20.1	70	18.0	77
37	2016-08-01 05:18	30	19.9	70	18.2	72
38	2016-08-01 05:48	30	19.6	70	17.4	78

Relative Pressure (mmHg)	Absolute Pressure (mmHg)	Wind Speed (m/s)	Gust (m/s)	Wind Direction	DewPoint (°C)
<i>Santykiniis slėgis (mmHg)</i>	<i>Absoliutus slėgis (mmHg)</i>	<i>Vėjo greitis (m/s)</i>	<i>Vėjo gūšiai (m/s)</i>	<i>Vėjo kryptis</i>	<i>Rasos taškas (°C)</i>
8	9	10	11	12	13
758.9	753.5	2.7	3.4	NE	14.2
758.9	753.6	2.4	2.7	NE	13.9
758.6	753.2	3.1	3.7	NE	13.1
758.3	753.0	2.4	3.4	NE	13.5

WindChill (°C)	Hour Rainfall (mm)	24 Hour Rainfall (mm)	Week Rainfall (mm)	Month Rainfall (mm)	Total Rainfall (mm)
<i>Jutiminė temperatūra (°C)</i>	<i>Kritulių kiekis per valandą (mm)</i>	<i>Kritulių kiekis per 24 valandas (mm)</i>	<i>Kritulių kiekis per savaitę (mm)</i>	<i>Kritulių kiekis per mėnesį (mm)</i>	<i>Visas kritulių kiekis (mm)</i>
14	15	16	17	18	19
17.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16.7	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
16.1	0.30	1.20	1.20	1.20	1.20
16.0	0.90	1.80	1.80	1.80	1.80

2.6. Geomorfologiniai tyrimai

Smėlio dinaminės savybės tiesiogiai priklauso nuo jo dalelių dydžio ir formos. Tiksliam dinaminių pokyčių vertinimui buvo atlikti kopų smėlio granulimetriniai tyrimai. Smėlio mėginiai paimti nuo paviršiaus ir iš 10–15 cm gylio pasirinktose Didžiosios kopos vietose (25 pav.)



25 pav. Smėlio mėginių paėmimo vietos Didžiosios (Sklandytojų) kopos areale (A. Kalesnikas, 2017)

3. MATAVIMŲ REZULTATŲ ANALIZĖ

Atlikto tyrimo, pagal sukurta Kuršių nerijos kopų paviršiaus kartografavimo metodiką, metu sukaupta daug tiesioginių matavimų duomenų, kurių kiekiai pateikiami 6 lentelėje.

Lentelė 6. Sukaupta duomenų

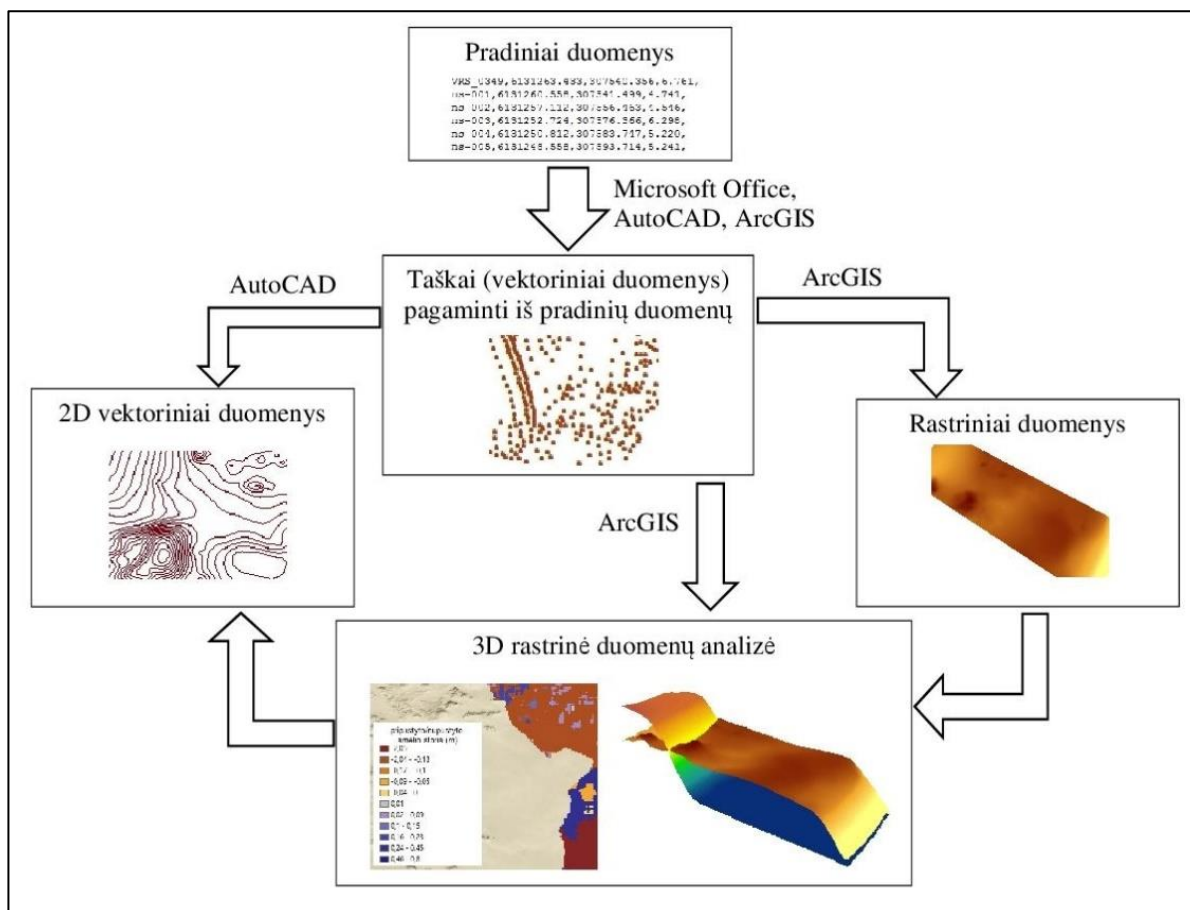
Prietaisas	Duomenų skaičius (matavimo taškai)					Iš viso
	2015-09÷ 2016-06	2016-07	2016-09	2016-12	2017-03	
Topografinis GPS	3248	1383	1672	769	1257	8329
Elektrooptinis tacheometras	2377	1189	1710	296	3876	9448
Stacionarios gairės		8	8	8	4	28
Aerovaizdai	~180				~320	~500
Meteorologinė stotelė (matavimai kas 30 min)	-	2273		-	-	2273
Meteorologinė stotelė (matavimai kas 30 min)	-	-	1746		-	1746
Geomorfologiniai tyrimai		22	17	13	10	62

Sukaupti duomenys saugomi:

- VU CHGF Kartografijos ir geoinformatikos katedros archyve – tiesioginių, reperinių, meteorologinių bei distancinių tyrimų matavimai;
- Gamtos tyrimų centre – geomorfologinių tyrimų;
- Valstybės sienos apsaugos tarnyboje prie Lietuvos Respublikos vidaus reikalų ministerijos – Lietuvos Respublikos ir Rusijos Federacijos valstybių sienos ženklų fotonuotraukos pagal kuriuos matomas vizualus kopų judėjimas (15 pav.).

Tiesioginių matavimų, distancinių tyrimų, meteorologiniai duomenys analizuoti pagal metodologinę schemą (26 pav.) keliais būdais:

- 2D modelio galimybių aspektu;
- distancinių tyrimų metodų galimybių aspektu;
- meteorologinių faktorių įtakos aspektu;
- erdvinio modelio galimybių aspektu.



26 pav. Kartografinio modelio kūrimo metodinė schema (A. Kalesnikas, 2017)

3.1. Kopų paviršiaus 2D modelio analizė

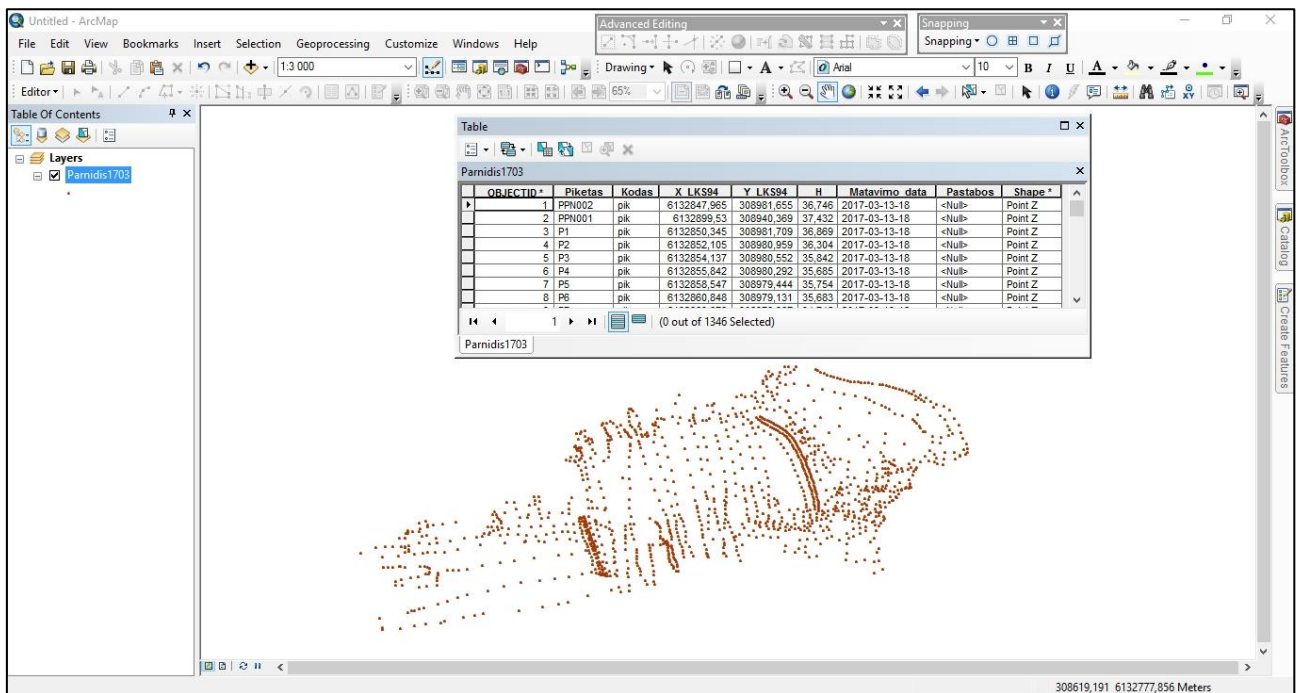
Dvimačiai žemės paviršiaus modeliai tradiciškai kuriami iš tiesioginių matavimų duomenų. Žemės paviršiaus horizontalės dažniausiai vaizduojamos dvimačiame žemės paviršiaus modelyje, todėl šiam modeliui sudaryti užtenka turėti tik plokštumines (2D) X ir Y koordinates. Matuojant ir analizuojant kopų paviršiaus pokyčius būtina turėti aukščius, t. y. Z koordinatę.

Šiame tyrime buvo sukaupti šie tiesioginių matavimų duomenys: piketo numeris, horizontalūs ir vertikalūs kampai, atstumai, kurie perskaičiuojami į koordinates LKS94 sistemoje. Duomenys išsaugoti *.csv formatu.

Tiesioginių matavimų duomenys atrinkti, apskaičiuotos jų koordinatės LKS-94 koordinatėjų sistemoje ir Microsoft Office skaičiuoklėje Excel parengti duomenų įkėlimui į ArcGIS programą (6 lentelė). Toliau duomenys analizuojami ArcGIS (27 pav.).

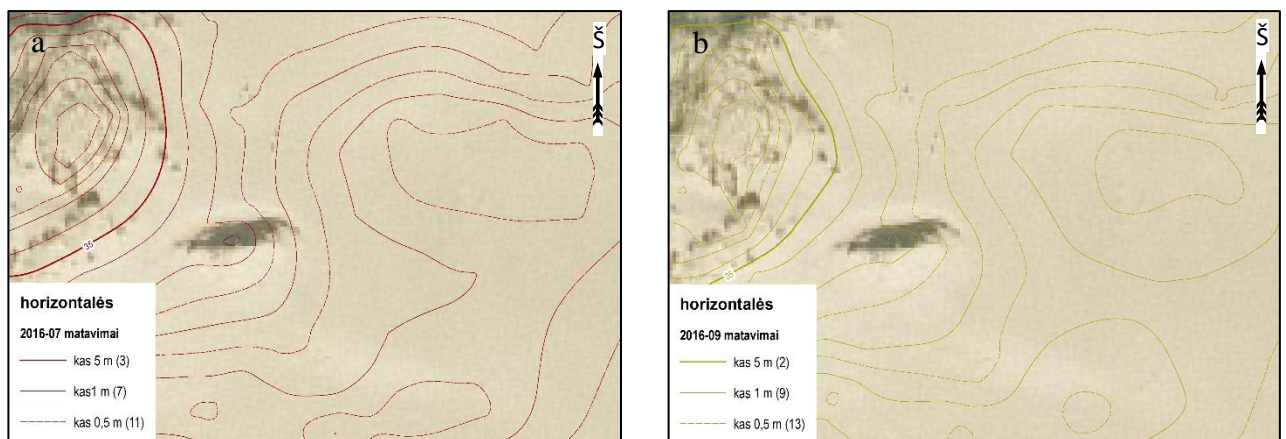
Lentelė 6. Parengtų, įkėlimui į ArcGIS programą, duomenų fragmentas

Piketas	Kodas	X_LKS94	Y_LKS94	H	Matavimo_data	Pastabos
0001	pik	6131127,762	308361,468	26,828	2016-07	
S001	pik	6131127,762	308361,468	26,828	2016-07	
S003	pik	6131183,987	308363,294	29,795	2016-07	
A001	pik	6131149,618	308358,638	28,295	2016-07	
A002	pik	6131125,277	308360,433	26,958	2016-07	
A003	pik	6131133,290	308358,586	27,318	2016-07	



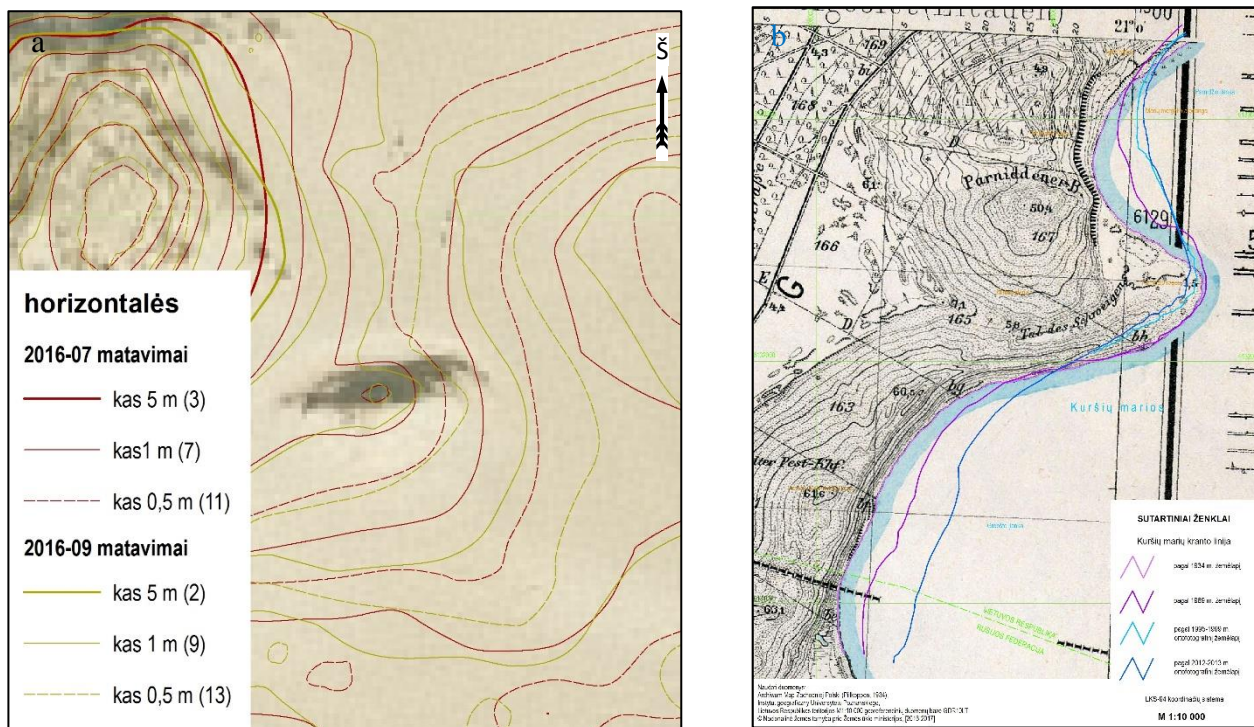
27 pav. Įkeltų duomenų į ArcGIS programą fragmentas (A. Kalesnikas, 2017)

Iš šių duomenų sudaromas plokštuminis 2D kopų paviršiaus horizontalių žemėlapis (28 pav., 1, 2, 3, 5 priedai).



28 pav. Horizontalės sudarytos iš tiesioginių matavimų:
a) 2016 m. liepos mėn., b) 2016 m. rugsėjo mėn. (A. Kalesnikas, 2016)

Apjungus kelis žemėlapius ar analizuojamus duomenis mes galime įvertinti horizontalius pokyčius, t. y. smėlio arealų bei kitų vietovės elementų (pvz.: kranto linijos) pokyčių kryptį ir atstumą (29 pav., 4 priedas). Didžioji (Sklandytojų) kopa, nuo 1934 m. iki 2017 m., į Kuršių marias prie valstybės sienos pasislinko – ~135 m (1934–1958 m) → ~175 m (1958–2017 m.). Parnidžio kopa, netoli Saulės laikrodžio į Kuršių marias pasislinko – ~145 m (1934–1958 m) → ~100 m (1958–1999 m.) → ~10 m (1999–2017 m.), o Kuršių marios į Baltijos jūros pusę (plaunamas krantas) – ~5 m (1934–1958 m) → ~65 m (1958–1999 m.) → ~15 m (1999–2017 m.).

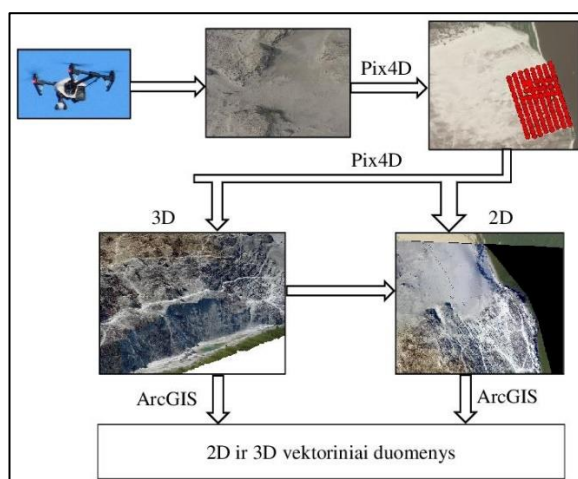


29 pav. 2D duomenų palyginimas:
 a) 2016 m. liepos ir rugsėjo mėn. horizontalės,
 b) 1910 m., 1955 m., 1999 m., 2012 m. Kuršių marių kranto palyginimas (A. Kalesnikas, 2016)

Akivaizdu, kad iš šių duomenų negalima atlikti pilnavertės analizės (pvz.: tūrių paskaičiavimų), todėl reikia taikyti kitus metodus.

3.2. Distancinių tyrimų duomenų analizė

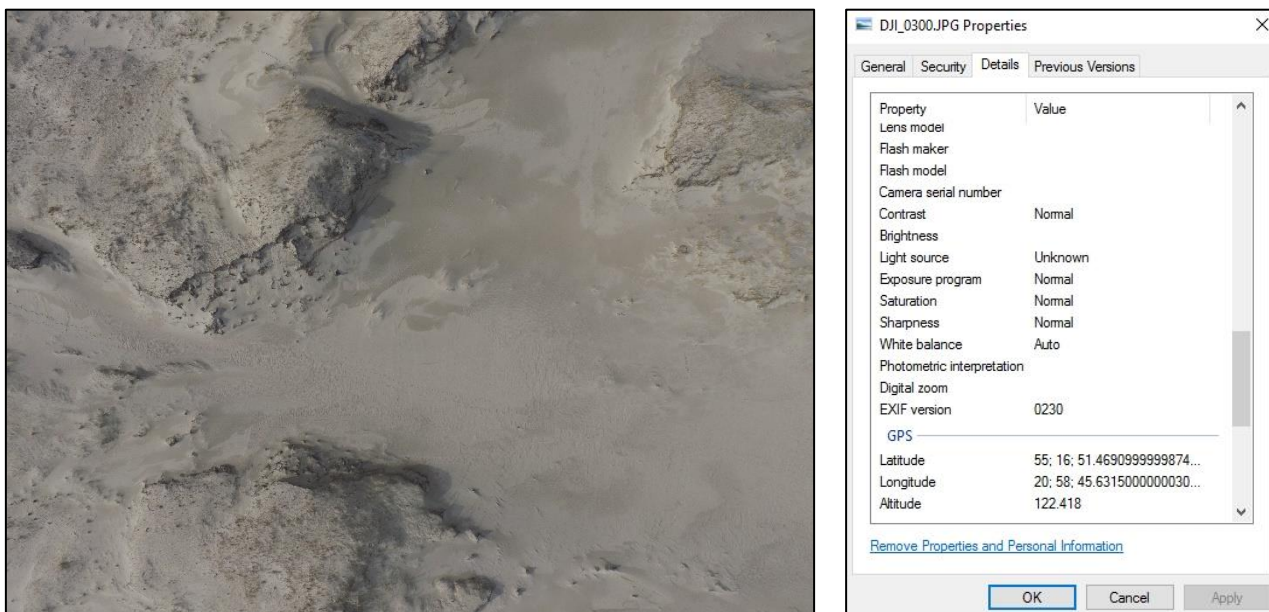
Distancinių tyrimų duomenys – tai bepiločiu skraidančiu aparatu (dronu) nufotografuoti aerovaizdai (aerofotonuotraukos), iš kurių pagamintas ortofotografinis žemėlapis (30 pav.)



30 pav. Ortofotografinių žemėlapių sudarymo schema (A. Kalesnikas, 2017)

Visuose tyrimo metu nufotografuotose aerovaizduose (31 pav.) yra saugoma papildoma nuotraukos techninė informacija (EXIF *EXchangeable Image file Format*) – data, geografinės

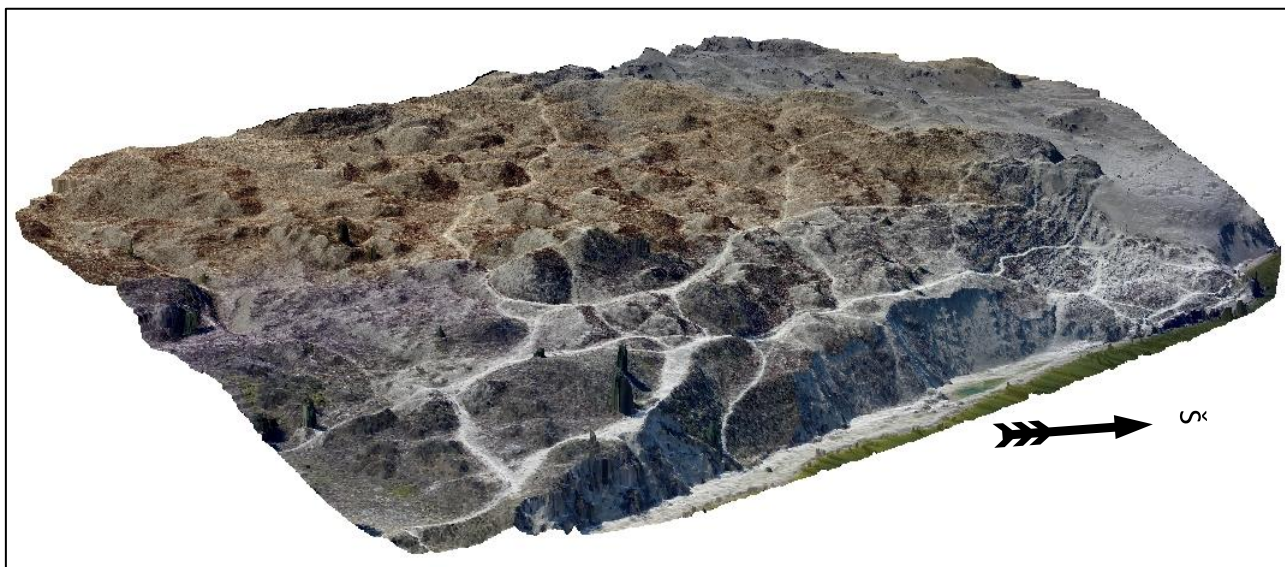
nuotraukos centro koordinatės WGS84 sistemoje, absoliutinis aukštis, posvyrio kampai, dydis, rezoliucija, kameros parametrai ir kiti duomenys (9 priedas).



31 pav. Bepiločiu skraidymo aparatu nufotografuota kopų aerofotonuotrauka ir jos techninės informacijos (EXIF) fragmentas (L. Bevainis, 2016)

Aerovaizdai buvo įkelti į Pix4D programą ir sudarytas vietovės ortofotografinis žemėlapis LKS-94 koordinacių sistemoje (32 pav.).

Siekiant padidinti sudaromo ortofotografinio žemėlapio tikslumą – vietovėje išdėstomos kontrolinės markės, kurios užkoordinuojamos tiesioginiais metodais.



32 pav. Parnidžio kopos trimatis 3D ortofotografinis žemėlapis (L. Bevainis, 2016)

Šių duomenų pagalba galime analizuoti horizontalius vietovės elementų ar reljefo pokyčius, o taip pat sudaryti vektorinius duomenis.

Tyrimo metu naudoti dronu ne visada buvo galima atlikti aerofotografavimą dėl kelių faktorių:

- blogos meteorologinės sąlygos – 10 m/s ir didesnis vėjas bei jo gūšiai, krituliai, rūkas;

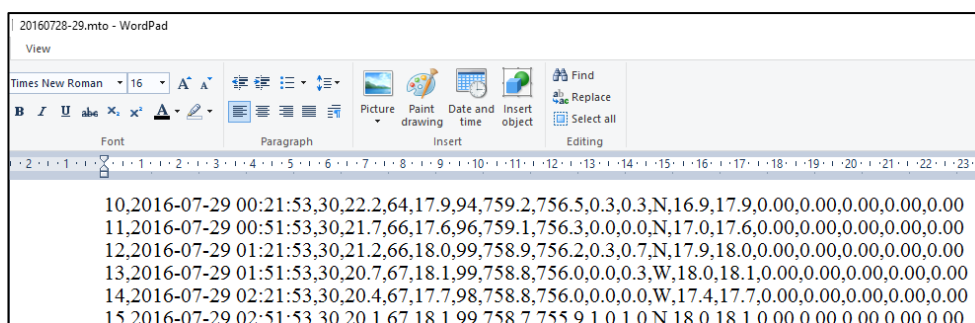
- sniegu padengtas kopų paviršius, dėl ko nesimato fotografuojamo paviršiaus;
- neskraidymo teritorijos – 1 km atstumu nuo Lietuvos Respublikos ir Rusijos Federacijos valstybių sienos draudžiama skraidyti bebiločiais skraidymo aparatais.

Todėl duomenų surinkimui ir jų interpretavimui reikėjo taikyti kitus kartografavimo metodus.

3.3. Meteorologinių faktorių ir smėlio granulometrinė analizė

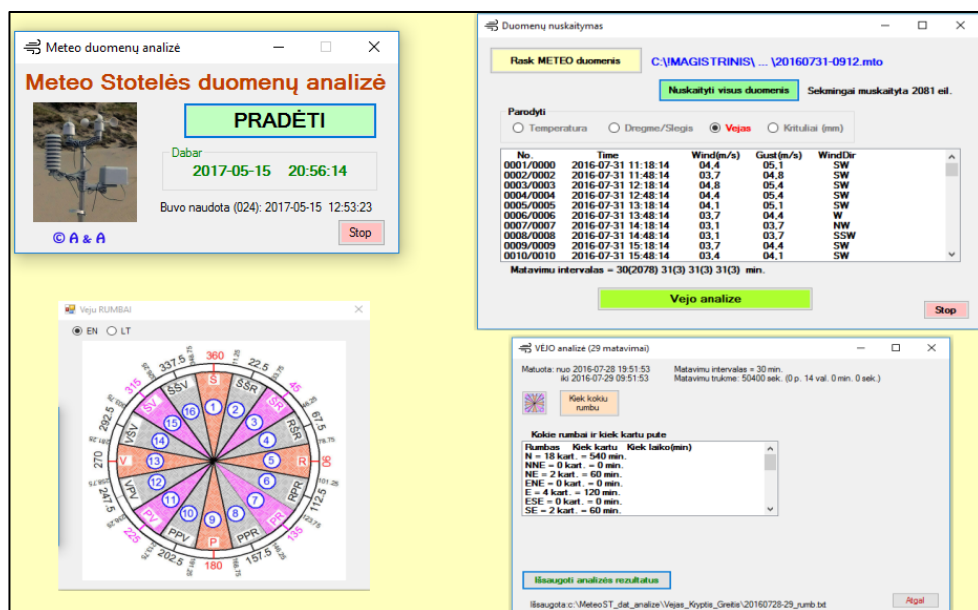
Meteorologiniai reiškiniai – vėjas, krituliai daro įtaką kopų smėlio judėjimui, dėl ko keičiasi vietovės reljefas. Siekiant prognozuoti kopų smėlio judėjimo dinamiką – Didžiojoje (Sklandytojų) kopoje buvo įrengta meteorologinė stotelė.

Sukaupti meteorologiniai duomenys apdorojami konvertuojami iš *.csv į *.mot formatą (33 pav.), kuris skirtas duomenų analizei su „MetStotDat“ programa (34 pav.).



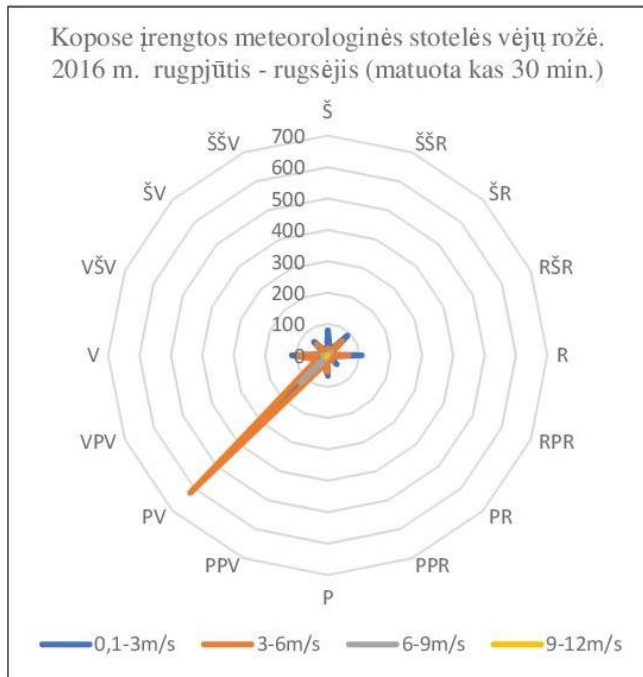
33 pav. Apdorotų meteorologinių duomenų fragmentas (A. Kalesnikas, 2016)

Šio *.mot formato duomenys įkeliami į tyrimo metu sukurtos taikomosios programos „MetStotDat“ aplinką (programos autoriai: VU CHGF GI KKG docento dr. Artūro Baurėno ir magistranto Audriaus Kalesniko) (34 pav.).



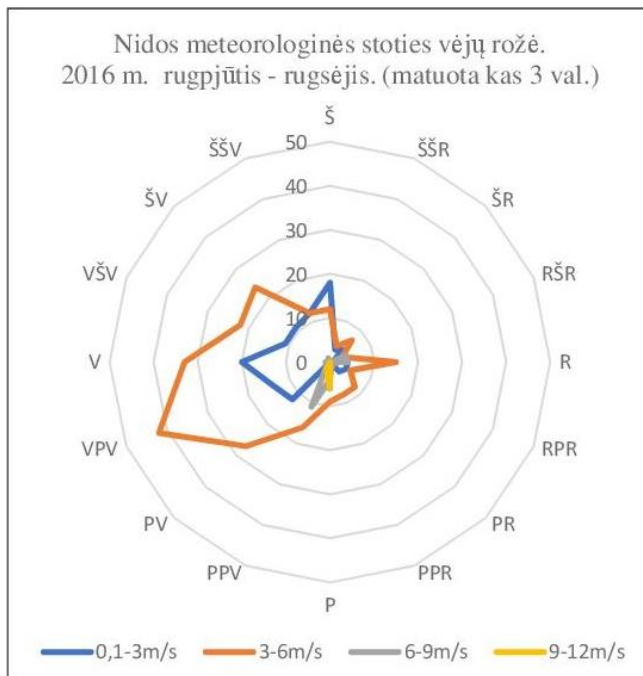
34 pav. Meteorologinių duomenų analizės programa „MetStotDat“ (A. Baurėnas, A. Kalesnikas, 2017)

Šios programos paskirtis – atlikti meteorologinės stotelės sukauptų duomenų (kurių yra daugiau kaip 4000) analizę bei apibendrinimą. Programa pateikia apibendrintus temperatūros, drėgmės, slėgio, vėjo krypties ir stiprumo bei kritulių kiekio duomenis, paruoštus kartogramų sudarymui (35, 36 pav.).



	0,1-3m/s	3-6m/s	6-9m/s	9-12m/s
Š	80	23	0	0
ŠŠR	17	11	0	0
ŠR	89	64	13	0
RŠR	6	6	0	0
R	108	67	0	0
RPR	6	9	0	0
PR	40	21	0	0
PPR	1	0	1	0
P	65	53	1	0
PPV	31	36	10	0
PV	353	620	123	6
VPV	26	41	8	0
V	114	93	16	1
VŠV	11	6	3	0
ŠV	61	49	4	0
ŠŠV	8	2	0	0
Viso	1016	1101	179	7

35 pav. Kopose įrengtos meteorologinės stotelės vėjo greičio ir krypties analizės fragmentas (A. Kalesnikas, 2017)



	0,1-3m/s	3-6m/s	6-9m/s	9-12m/s
Š	18	12	0	0
ŠŠR	3	4	0	0
ŠR	4	7	0	0
RŠR	1	3	4	0
R	4	15	4	0
RPR	4	5	0	0
PR	3	8	1	0
PPR	0	8	1	0
P	6	9	4	6
PPV	0	16	11	2
PV	12	27	1	0
VPV	14	42	1	0
V	20	33	1	0
VŠV	11	22	0	0
ŠV	11	24	0	0
ŠŠV	12	12	1	0
viso	123	247	29	8

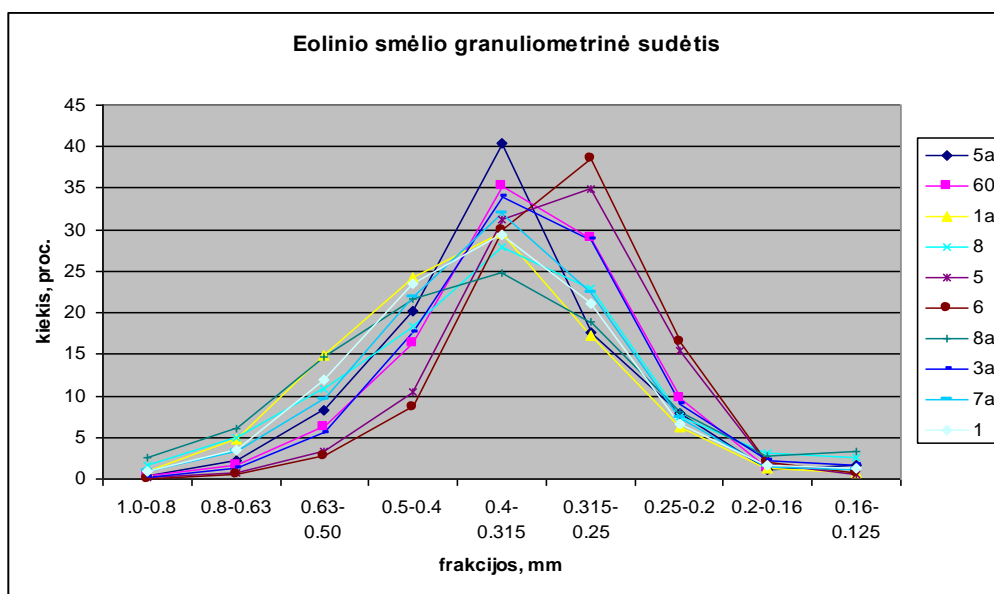
36 pav. Nidos meteorologinės stoties vėjo greičio ir krypties analizės fragmentas (A. Kalesnikas, 2017)

Atlikus sukauptų duomenų analizę matome, kad vėjas dažniausiai pučia pietvakarių kryptimi (35 pav., 10, 11 priedai). Palyginus su Nidos meteorologinės stoties duomenimis (36 pav.) matome akivaizdžius vėjo greičio ir krypties nesutapimus (7 lentelė).

Lentelė 7. Sukauptų meteorologinių duomenų atsitiktinių reikšmių palyginimas

Matavimo laikas	Nidos meteorologinė stotis				Kopose įrengta meteorologinė stotelė			
	temperatūra C°	vėjo greitis		vėjo kryptis °	temperatūra C°	vėjo greitis		vėjo kryptis °
		vidutinis m/s	gūšiai m/s			vidutinis m/s	gūšiai m/s	
2016-08-03 21:00	20,1	9	10	183	19,5	0,3	0,7	90
2016-08-04 00:00	19,5	9	12	171	19,8	3,1	4,4	45
2016-08-08 09:00	20,8	10	12	203	20	4,1	4,8	225
2016-08-18 15:00	15,9	9	11	191	15,2	2,4	2,7	225
2016-08-21 00:00	20,1	9	11	178	19,8	1,4	1,7	135
2016-08-25 00:00	14,6	0	0	0	16,7	0	0,3	315
2016-08-30 12:00	18,3	5	10	299	18,1	9,9	11,2	225
2016-09-11 21:00	17,6	0	3	0	17,5	5,1	6,1	225
2016-09-28 03:00	11,6	8	11	200	17,9	1,4	2	270
2016-09-29 03:00	15,8	4	10	290	11,2	4,1	5,1	135
2016-08-30 00:00	17	5	10	267	15,9	7,5	9,5	270
2016-09-28 21:00	16,2	5	11	280	15,4	6,8	8,8	225

Galima teigti, kad sudarant prognozinis kopų paviršiaus pokyčių kartografinius modelius būtina įrengti lokalias meteorologines stoteles kartografuojamose teritorijose.



37 pav. Eolinio smėlio granulimetrinė sudėtis, tiriamame Didžiosios kopos areale (R. Morkūnaitė, 2017)

Atlikus eolinio smėlio granulimetrinį vertinimą (37 pav.) išskirtos trys pagrindinės smėlio frakcijos (Morkūnaitė R.): smulkiagrūdis (dalelių dydis < 0,25 mm), vidutiniagrūdis (tarp 0,25 mm ir 0,5 mm) ir stambiagrūdis (tarp 0,5 mm ir 1 mm). Galime teigti, kad iš arealo, kuriame kaupiami lokalūs meteorologiniai duomenys, smulkiagrūdis smėlis išpustomas pietvakarių kryptimi (35 pav.).

Didžioji šio smėlio dalis kaupiasi tirta arealo vidurinėje dalyje (14 priedas). Paskaičiavus smėlio pernašos kiekį, pagal lokaliaus meteorologinės stotelės duomenis (35 pav.), galima teigti, kad smulkiagrūdžio smėlio išpustyta 972 kub. m. Vertinant pernašos kiekį pagal Nidos meteorologinės stoties duomenis (36 pav.) smėlio išpustyta 787 m³ (Morkūnaitė R., Bautrėnas A., Česnulevičius A., Kalesnikas A. 2017). Smėlio pustymo videomedžiaga (Pustymas.mov) pridedama skaitmeninėje laikmenoje

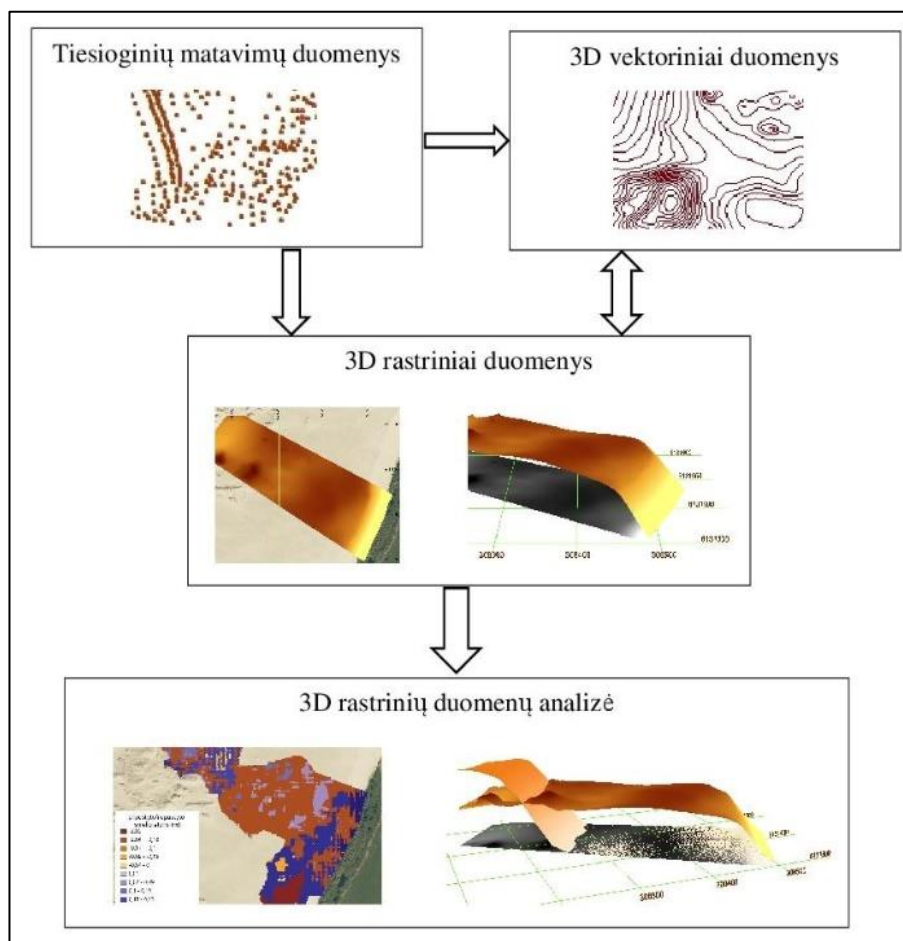
3.4. Kopų paviršiaus erdvinio 3D modelio analizė

Erdviniam 3D kopų paviršiaus modelio sudarymui turi būti ne tik X, Y koordinatės, bet ir Z koordinatė (aukštis). Tyrimo metu sudarytas kartografinis modelis apjungia visus tiesioginių matavimų bei erdvinius vektorinius duomenis sukauptus tyrimo metu.

3D modelio sudarymas vyksta keliais etapais:

- tiesioginių matavimų interpretacija;
- 3D vektorinių duomenų apjungimas su tiesioginiais matavimais;
- konvertavimas į 3D rastrinius duomenis;
- 3D rastrinių duomenų analizė.

Modelio sudarymo schema pateikta 38 pav.

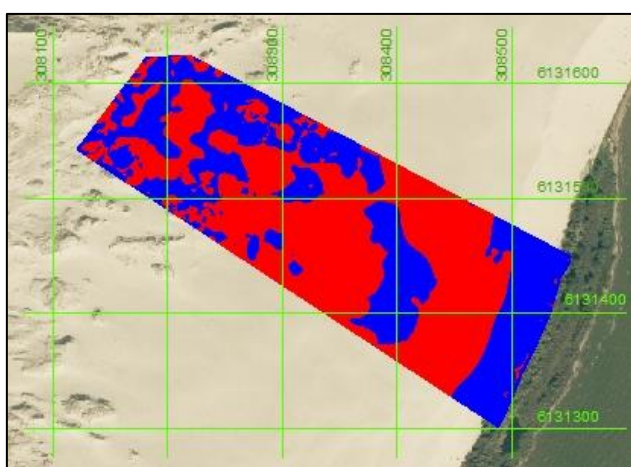


38 pav. Erdvinio kartografinio 3D modelio sudarymo schema (A. Kalesnikas, 2017)

Tik sukūrus galutinį kartografuojamo paviršiaus erdvinį (3D) modelį galima atlikti pilnavertę sukauptų duomenų analizę keliais aspektais (6–9, 12–18 priedai):

- paskaičiuoti nupustyto/ripustyto kopų smėlio tūrį;
- įvertinti vidutinį smėlio sluoksnio storį;
- sukurti 3D horizontalių modelį;
- sudaryti pasirinktų vietų palyginamuosius paviršiaus pokyčių pjūvius;
- vizualizuoti kartografuojamos teritorijos pokyčius.

Tūrių analizė. Analizuotas pasirinktų kartografuotų teritorijų – Didžiosios (Sklandytojų), Naglių ir Parnidžio kopų, nupustyto/ripustyto smėlio kiekio (tūrių) pokytis (39 pav.; 8 lentelė; 14, 16, 17 priedai).



Eil. Nr.	Nupustyto/ripustyto kopų smėlio	
	Tūris m ³	Plotas m ²
1	-1538	8020
2	-972	8296
3	-118	1784
4	-87	712
32	-1	19
223	0	8
253	446	3120
254	4466	29080
<i>Viso:</i>	<i>2457</i>	<i>59576</i>

39 pav. Didžiosios kopos nupustyto/ripustyto smėlio tūrių pokytis per 2016 m. rugsėjo–gruodžio mėn. ir pernešto smėlio tūrių duomenų fragmentas (A. Kalesnikas, 2017)

Lentelė 8. Tūrių pokyčių palyginamas

Analizuojamas laikotarpis	Analizuojamas plotas (m ²)	kopų smėlio tūris (m ³)		
		-nupustyto	+ripustyto	skirtumas
Didžioji (sklandytojų) kopa				
Vektorizuotų duomenų				
1934 m. – 1958 m.	59576	-24892	+543377	+518485
1958 m. – 2016 m. rugsėjo mėn.	59576	-391044	+1007395	+616351
Tiesioginių matavimų				
2015 m. rugsėjo mėn. – 2016 m. balandžio mėn.	33860	-10809	+4695	-6114
2016 m. balandžio–liepos mėn.	33860	-4803	+1564	-3239
2016 m. liepos–rugsėjo mėn.	59576	-2924	5381	+2457
2016 m. rugsėjo–gruodžio mėn.	59576	-8895	+8357	-538
2016 m. gruodžio mėn. – 2017 m. kovo mėn.	59576	-10995	+6742	-4253
Parnidžio kopa				
2016 m. balandžio–rugsėjo mėn. (smėlio gaudyklės)	947	-58	+94	+36
2016 m. rugsėjo mėn. – 2017 m. kovo mėn. (smėlio gaudyklės)	947	0	+200	+200

2016 m. balandžio mėn. – 2017 m. kovo mėn.	16083	-2915	4519	+1604
<i>Naglių kopa (38 pav.)</i>				
a) 2016 m. rugsėjo mėn. – 2017 m. kovo mėn. (trypiama teritorija)	9932	-1101	+814	-287
b) 2016 m. rugsėjo mėn. – 2017 m. kovo mėn.	22413	-2079	+3158	+1079

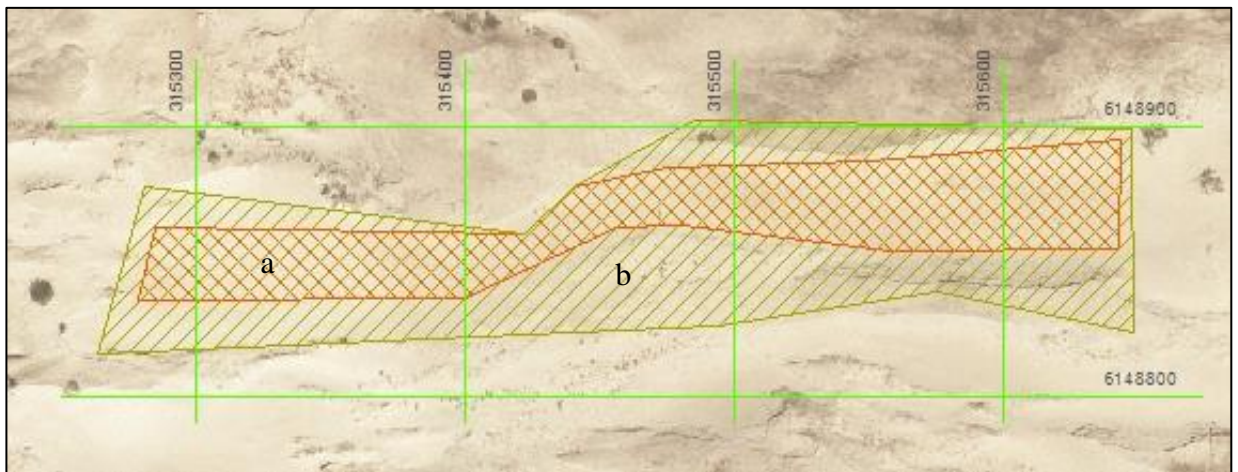
Išanalizavus duomenis matome, kad Didžioji (Sklandytojų) kopa:

- pagal vektorizuotus duomenis (8 lentelė), nuo 1934 m. iki 2016 m. liepos mėn., pajudėjo į Kuršių marias apie 297 m, bei buvo pernešta daugiau, kaip 1,1 mln. m³ smėlio, o jos aukštis pažemėjo 22,5 m;

- pagal tiesioginių matavimų duomenis (8 lentelė), vertinant periodą nuo 2016 m. liepos mėn. iki 2017 m. kovo mėn., matome, kad tirtame kopos areale buvo prarasta (perneštą į kitą vietą) 11687 m³ (38426 m³ išpustyta ir 26739 m³ pripustyta) smėlio;

Parnidžio kopoje (8 lentelė), kurioje įrengtos smėlio gaudyklės, analizuojamoje teritorijoje buvo pripustyta 1604 m³ smėlio.

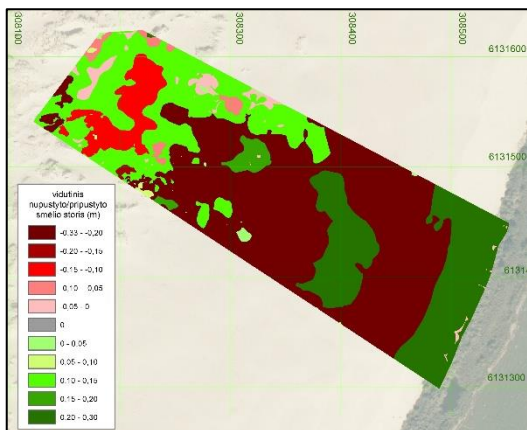
Naglių kopoje (40 pav., 8 lentelė), gausiausiai lankomoje vietoje, 2016 m. rugsėjo mėn. – 2017 m. kovo mėn. prarasto smėlio kiekis tik 287 m³. Akivaizdu, kad toks nedidelis pokytis buvo todėl, kad šiuo periodu smarkiai mažėja lankytojų skaičius ir didžiausią įtaką smėlio judėjimui daro meteorologiniai faktoriai.



40 pav. Tiriamas Naglių kopos arealas:

a) trypiama teritorija, plotas 9932 m²; b) plotas 22413 m² (A. Kalesnikas, 2017)

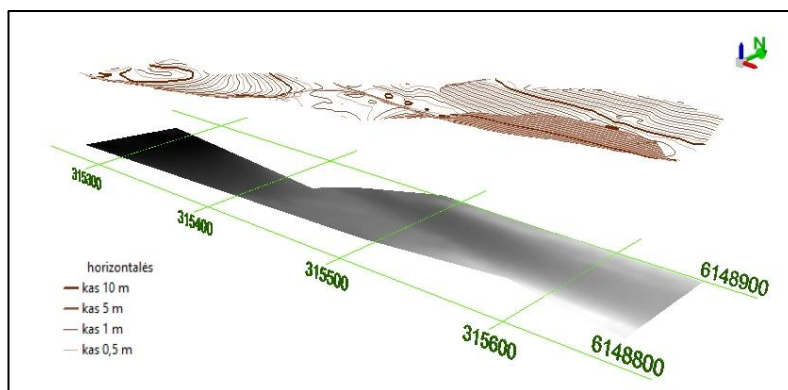
Vidutinis smėlio storio ir palyginamųjų pjūvių analizė. Analizuojant nupustyto/pripustyto kopų smėlio tūrius, negalime nustatyti kokio storio smėlio sluoksnis susidaro vienoje ar kitoje arealo vietoje. Todėl buvo atlikta nupustyto/pripustyto kopų smėlio vidutinio storio analizė (41 pav.; 15, 16, 17 priedai).



Eil. Nr.	Nupustyto/pripustyto kopų smėlio	
	Plotas m ²	Vidutinis storis m
1	8020	-0,19
2	8296	-0,12
3	1784	-0,07
4	712	-0,12
32	19	-0,03
223	8	0
253	3120	0,14
254	29080	0,15

41 pav. Didžiosios kopos nupustyto/pripustyto smėlio vidutinis storis (2016 m. rugsėjo–gruodžio mėn.) ir duomenų fragmentas (A. Kalesnikas, 2017)

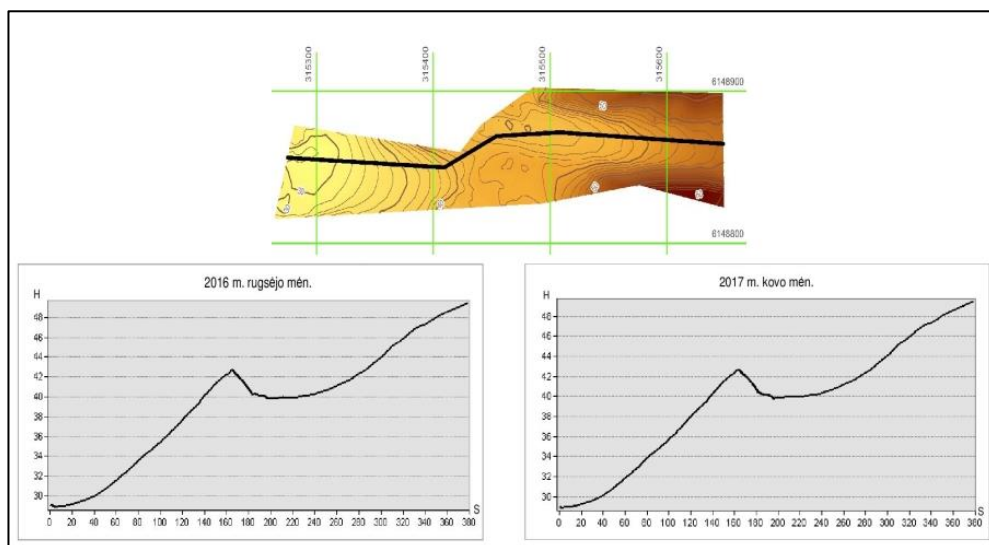
3D horizontalių modelių analizė. Iš kopų paviršiaus erdvinio rastrinio modelio buvo sukurtas erdvinis (3D) horizontalių modelis (42 pav.) leidžiantis vizualiai vertinti vykstančius pokyčius, ko neįmanoma padaryti su 2D horizontalių modelių.



42 pav. Erdvinis (3D) horizontalių modelis (A. Kalesnikas, 2017)

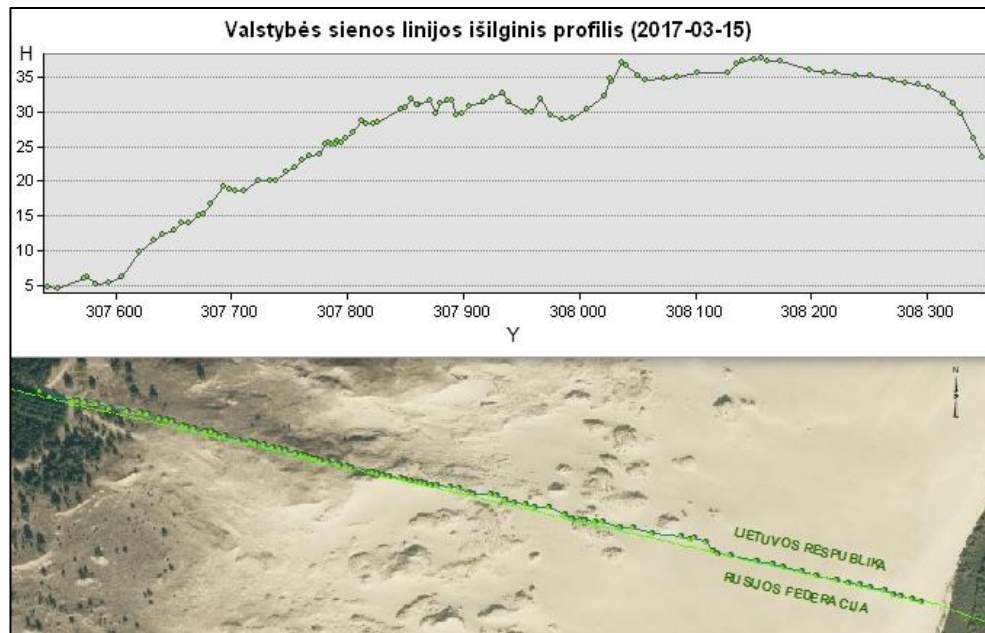
Pasirinktų vietų palyginamieji paviršiaus pokyčių pjūviai. Palyginamieji pjūviai gali būti sudaromi dviem metodais:

- iš sukurto erdvinio horizontalių modelio (43 pav.).



43 pav. Kopų paviršiaus palyginamasis pokyčių pjūvis (A. Kalesnikas, 2017)

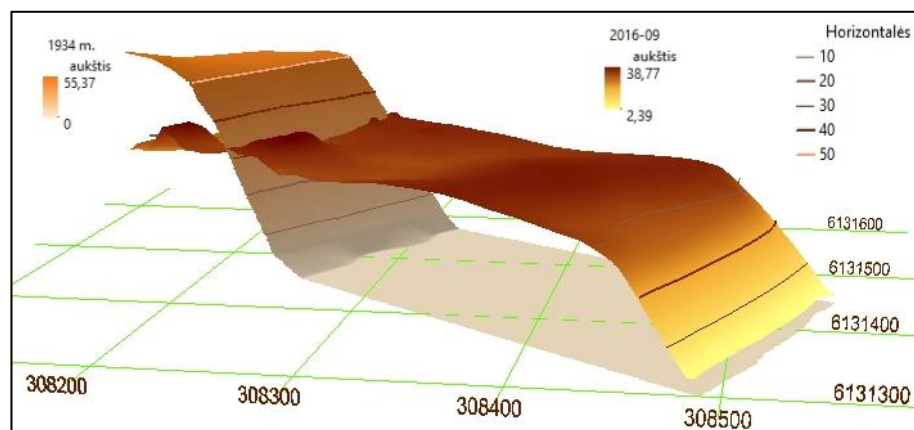
- iš tiesioginių matavimų duomenų (44 pav.).



44 pav. Valstybės sienos linijos išilginis profilis (A. Kalesnikas, 2017)

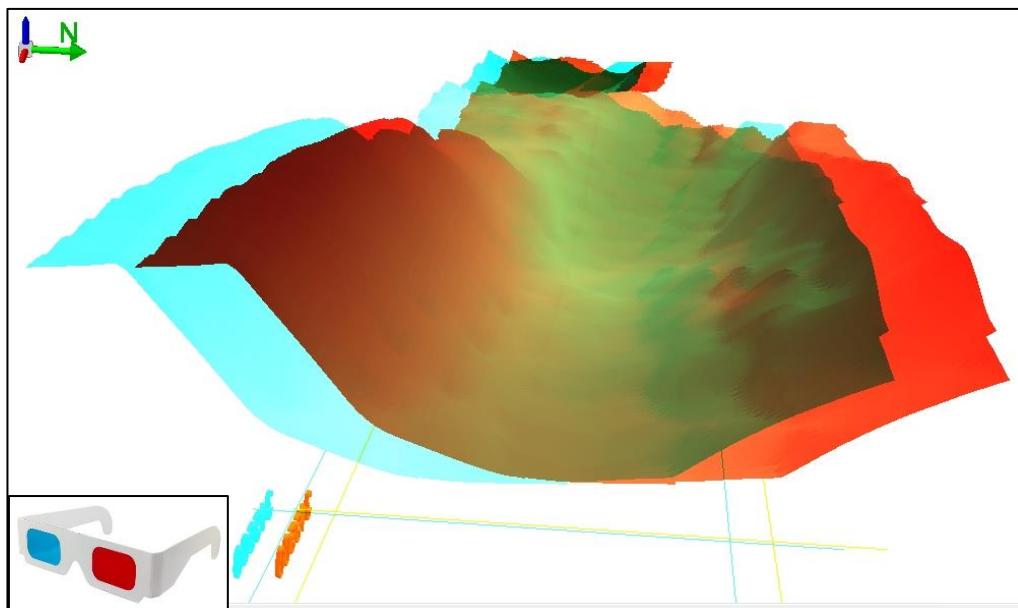
Kopų paviršiaus palyginamųjų pokyčių pjūvių privalumas – vietovėje užkoordinavus tas pačias arba beveik tas pačias vietas bei sudarius tų vietų profilius, galime juos palyginti ne tik vizualiai, bet ir įvertinti konkrečių vietovės taškų pokyčius per laiko intervalą. Profilis sudarytas iš tiesioginių matavimo duomenų yra tikslesnis, bet atliekant matavimus šiuo metodu būtina koordinuoti tuos pačius vietovės taškus, o sudarant profilį iš erdvinio modelio – užtenka nurodyti profilio pradžią ir pabaigą.

Kartografuotų pokyčių vizualizacija. Pokyčių kartografavimo duomenys iki šiol dažniausiai buvo pateikiami plokštumoje, todėl ne specialistui sunku būdavo įvertinti vykstančių pokyčių dydį. Šiame darbe analizuojama erdvinio modeliavimo metodika leidžia kopose vykstančius pokyčius pateikti ne tik plokštumoje ir įvairiais rakursais (45 pav.; 18 priedads)., bet ir stereoskopiniu vaizdu (46 pav.). Todėl pokyčius vizualiai gali vertinti bet kuris vartotojas, net neturintis specialaus išsilavinimo.



45 pav. Didžiosios kopos erdvinis modelis.
1934 m. ir 2016 m. kopų palyginimas (A. Kalesnikas, 2017)

Toks stereoskopinis (44 pav.) erdviniu duomenų pateikimo metodas gali būti taikomas edukaciniais tikslais, nes turint specialius 3D akinius (vienas raudonas, kitas mėlynas lęšiai) galima matyti pasirinktos teritorijos stereoskopinį vaizdą.



46 pav. Naglių kopos stereoskopinis vaizdas ir 3D akiniai (A. Kalesnikas, 2017)

Visi sudaryti skaitmeniniai: 2D horizontalių, smėlio pernašos tūrių bei įvykusių pokyčių arealų plotų, smėlio sluoksnio storių palyginimo, pasirinktų vietų reljefų pjūvių, vizualinių 3D modeliai – saugomi Kartografijos ir geoinformatikos katedroje.

IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Atlikus literatūros bei kartografinės medžiagos analizę, galime teigti, kad visose šalyse, kur yra kopų, vyksta šių teritorijų pastovus kartografavimas. Deja Lietuvoje kopų matavimai buvo atliekami nesistemiškai ir šiuo metu turimi duomenys yra neišsamūs ir netinkami kartografinio prognozavimo modelių kūrimui. Sukaupta senoji kartografinė medžiaga (1912 m. 1934 m., 1958 m., 1970 m.) buvo vektorizuota, maksimaliai galimu tikslumu ($\pm 3\text{--}5$ m plokštumoje). Šie vektorizavimo duomenys panaudoti Kuršių marių kranto linijos bei kopų aukščio pokyčio vertinimui.
2. Atlikus matavimų prietaisų bei matavimų metodikų analizę galima teigti, kad norint kurti kopų pokyčių prognozavimo erdvinius modelius būtina taikyti kelis matavimų metodus. Todėl sukurta tyrimo metodika sudaryta iš dviejų dalių: matavimų metodikos ir duomenų kaupimo bei apdorojimo metodikos. Matavimų metodika apjungia keturis matavimo metodus, t. y. tiesioginius topografinius matavimus, distancinius tyrimus, meteorologinius bei geomorfologinius matavimus. Sukaupiti duomenų bazėje ir apibendrinti matavimo duomenys (daugiau nei 23 tūkst. matavimų duomenų) leido atlikti pilnavertį kompleksinį pasirinktų kopų arealų pokyčių vertinimą. Tyrimas parodė, kad norint kuo tiksliau prognozuoti vykstančių pokyčių tendencijas, matavimus, taikant šią sukurta metodiką, tikslinga atlikti ne rečiau kaip keturis kartus per metus bei po ekstremalių meteorologinių pokyčių.
3. Dinaminių procesų kartografavimas, taikant sukurta metodiką, atliktas trijuose pasirinktuose kopų arealuose (17 pav.), kurių bendras plotas 131932 m² (8 lentelė). Atliekant kartografavimą, kiekvienas pasirinktas arealas (dėl skirtingos antropogeninės veiklos) buvo matuojamas pritaikius, skirtingus matavimo metodus. Tiesioginiai topografiniai matavimai (± 5 mm vidutiniu tikslumu) buvo atlikti visuose pasirinktuose arealuose; distanciniai tyrimai – Naglių ir Parnidžio kopų arealuose, nes Didžiosios kopos teritorijoje skraidyti su bepiločiais aparatais draudžiama; meteorologiniai ir geomorfologiniai tyrimai atlikti tik Didžiojoje kopoje, norint įvertinti skirtingą meteorologinių ir antropogeninių faktorių įtaką.
4. Atlikus sukaupėtų tiesioginių matavimų duomenų palyginimą su naujausiais (2012 m.) LIDAR duomenimis (6 lentelė) galime teigti, kad prognozavimo modelių kūrimui LIDAR duomenys, dėl nepakankamo aukščių tikslumo ($\pm 0,5$ m) ir reto jų atnaujinimo (kas 3–6 m.), nėra tinkami, todėl norint imtis kopų smėlio pokyčių stabilizavimo priemonių būtini tiesioginių matavimų duomenys.
5. Tyrimas parodė, kad distancinius tyrimo metodus tikslinga taikyti norint greitai vizualiai įvertinti pokyčius įvykusius po ekstremalių meteorologinių reiškinių, nes norint pasiekti reikiamą arerovaizdų apdorojimo tikslumą (± 5 cm), dėl nepakankamo orientyrų kiekio kopose, būtina naudoti fotogrametrines markes, kurioms koordinuoti reikalingi papildomi

tiesioginiai matavimai.

6. Meteorologinių duomenų analizė parodė, kad erdvinio prognozinio pokyčio modelio sukūrimui būtini lokalūs meteorologiniai duomenys tiriamuose kopų arealuose, nes šio tyrimo metu įrengtos meteorologinės stotelės (24 pav.) sukaupti duomenys (oro temperatūra, vėjo greitis ir kryptis) akivaizdžiai skiriasi nuo Nidos meteorologinės matavimo stoties duomenų (35, 36 pav.). Vidutinis skirtumas tarp šių duomenų svyruoja nuo vieno iki šešių vienetų (7 lentelė). Vertinant vėjo įtaką kopų smėlio dalelių pernašai tokie turimų meteorologinių duomenų nesutapimai gali daryti įtaką vertinant pernešamo smėlio kiekius. Priklausomai nuo pasirinktos meteorologinės stoties duomenų gali atsirasti 15–20% pernašos vertinimo paklaida.
7. Tyrimo metu sukaupti ir apibendrinti duomenys leido sukurti erdvinį skaitmeninį pokyčių modelį, kuris labai palengvina kopose vykstančių procesų vertinimą keliais aspektais: smėlio pernašos tūrių (pvz.: Didžiosios kopos areale buvo prarasta 11687 m³ (8 lentelė)); įvykusių pokyčių arealų plotų apskaičiavimą (39 pav.); smėlio sluoksnio storių palyginimą (41 pav.); pasirinktų vietų reljefų pjūvių sudarymą (43, 44 pav.); vizualinių 3D modelių kūrimą (45 pav.); stereoskopinis unikalios kopų reljefo atvaizdavimą (46 pav.); vektorizuotų duomenų palyginimą su tyrimo metu sukauptais tiesioginių matavimų duomenimis (18 priedas).
8. Kompleksinė duomenų analizė leidžia konstatuoti, kad nuo 1912 m.: Didžioji (Sklandytojų) kopa pajudėjo PR kryptimi ~300 m ir pažemėjo ~20–22 m; Parnidžio kopa ŠR kryptimi pasislinko ~250 m ir pažemėjo ~15–20 m; Kuršių marios, prie Parnidžio rago, kranto liniją išplovė ~70–100 m. ŠV kryptimi (4 priedas).

LITERATŪROS IR INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

Knygos:

Aleknavičius A. ir Sinkevičiūtė V. 2008. Kartografija. Kaunas: Lietuvos žemės ūkio universitetas. 56 p.;

Česnulevičius A ir Švedas K. 2013. Kartografija. Vilnius: Edukologija. 294 p.;

Dikšaitė L. 2010. UNESCO Pasaulio paveldo objektas – Kuršių nerija. Neringa: Turizmo plėtros institutas. 30 p.;

Morkūnaitė R., Baužienė I., Česnulevičius A. 2011. Parabolic dunes and soils of the Curonian Spit, south-eastern Baltic Sea coast. *Baltica*, 24 (2), 95-106. Vilnius.

Tamutis Z, Žalnierukas A. ir kiti. 1996. Geodezija. 2 tomas. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidykla. 384 p.

Данилов В.В., Хренов Л.С. и другие. 1974. Геодезия. Москва: Недра. 414 стр.

Knygų dalys ir skyriai:

Andrée, K., Bau und Entstehung der Kurischen Nehrung. 1932. Reprint: Die Kurische Nehrung, Europas Sandwüste. Königsberg. 45 pp.;

Meier D. 2012. Die Schäden der Sturmflut von 1825 an der Nordseeküste Schleswig-Holsteins, Die Küste archiv für forschung und technik an der nord- und ostsee, 79, Karlsruhe. 193 – 235.

Tomasz A. Łabuz. 2015. Metody badań terenowych w analizie zmian ukształtowania akumulacyjnych odcinków wydm nadmorskich polskiego wybrzeża, *Landform Analysis*. Vol. 28, Poznań, pp. 45 – 60.

Брокгауз Ф.А. и И.А. Ефрон. 1890—1907. Энциклопедический словарь. Петербург.

Pristatymai

Bautrėnas A., Morkūnaitė R. 2016. Kuršių nerijos kopų reljefo kaita. Nida. Kuršių nerijos nacionalinio parko įsteigimo 25-mečiui skirta konferencija „Kuršių nerijos kraštovaizdžio pokyčiai“.

Morkūnaitė R., Bautrėnas A., Česnulevičius A., Kalesnikas A. 2017. Mikroklimatiniai tyrimai ir jų reikalingumas Kuršių nerijos kopose. Palanga. 10-oji nacionalinė jūros mokslų ir technologijų konferencija „Jūros ir krantų tyrimai 2017“.

Internetiniai puslapiai:

<http://atlas-paysages.gironde.fr/j2-la-lagune-du-bassin-d-arcachon.html> (paskutini kartą žiūrėta 2016-04-14);

<http://bramaswiny.szc.pl/autor.html> (paskutini kartą žiūrėta 2016-06-12);

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Planchette_0_1751.jpg (paskutini kartą žiūrėta 2016-06-01);

<http://conservatoirepatrimonialbassinarcachon.fr> (paskutini kartą žiūrėta 2016-02-02);

<https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/item/AWEQPACBLH4H5JNF54MHJPLMMTEISWUB> (paskutini kartą žiūrėta 2016-06-02);
<https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/item/QWZFP3KT3NGULQMJ4CA5QVLMUAHABT37?query=kampen+sylt&isThumbnailFiltered=true&thumbnail-filter=on&rows=20&offset=0&viewType=list&firstHit=3BCWEMKBZFKSSMOY6WCBBZHSGKMTDSJ2&lastHit=lasthit&hitNumb> (paskutini kartą žiūrėta 2016-06-02);
[http://de.wikipedia.org/wiki/Preu%C3%9Fen_\(historische_Landschaft\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Preu%C3%9Fen_(historische_Landschaft)) (paskutini kartą žiūrėta 2015-12-02);
<http://www.eismo.info.lt> (paskutini kartą žiūrėta 2017-01-30);
<http://www.futura-sciences.com/magazines/voyage/infos/dossiers/d/geographie-dune-pyla-791/page/2> (paskutini kartą žiūrėta 2016-06-12);
<http://gamta.cepkeliai-dzukija.lt/index,lt,18747.html> (paskutini kartą žiūrėta 2016-06-12);
<http://gauss.suub.uni-bremen.de/suub/hist/servlet/servlet.hmap?id=245458&blatt=0> (paskutini kartą žiūrėta 2016-01-31);
http://greif.uni-greifswald.de/geogreif/?map=theme&signatur=091&map_them=32 (paskutini kartą žiūrėta 2016-06-12);
<http://www.historic-maps.de/rahmen-1100.htm?http://www.historic-maps.de/karten-atlanten/deutsches-reich-1893/ehemalige-ostgebiete-1893/galerie/pages/Kinten-Kintai-Memel%201893.htm> (paskutini kartą žiūrėta 2016-06-02);
<http://igrek.amzp.pl> (paskutini kartą žiūrėta 2016-01-12);
<http://www.leonc.fr/histoire/cartes/carte.htm> (paskutini kartą žiūrėta 2016-06-04);
https://www.lib.utexas.edu/maps/historical/baedeker_n_germany_1910/frisian_islands_north_1910.jpg (paskutini kartą žiūrėta 2016-06-04);
http://www.lrs.lt/pls/proj/dokpaieska.showdoc_1?p_id=1099658&p_query=bepilo%E8i%F8&p_tr2=2&p_org=5091&p_fix=y&p_gov=n (paskutini kartą žiūrėta 2016-11-22)
<http://lv-twk.oekosys.tu-berlin.de//project/lv-twk/002-sylt.htm> (paskutini kartą žiūrėta 2016-03-16);
http://members.geosciences.ensmp.fr/medard/FBL_paysages/FBL-paysage_06.htm (paskutini kartą žiūrėta 2016-04-08);
<http://www.meteo.lt/lt/web/guest/stebejimu-tinklas> (paskutini kartą žiūrėta 2017-01-30)
<http://www.nemunodelta.lt/index,lt,16978.html=a29wb3M=> (paskutini kartą žiūrėta 2016-06-02);
<http://neringa.lt/go.php/Bendrasis-planas15967> (paskutini kartą žiūrėta 2016-06-02);
<http://www.opusmang.com/opusmangvision/index.php?topic=351.0> (paskutini kartą žiūrėta 2016-03-02);
<http://rechauffement-climatique-aquitaine.e-monsite.com/pages/consequences-aquitaine/dune-du-pyla.html> (paskutini kartą žiūrėta 2016-06-07);
<http://toponymielateste.free.fr/Les%20rues%20de%20La%20Teste,%20Pyla%20et%20Cazaux..htm> (paskutini kartą žiūrėta 2016-03-02);
http://www.upnabove.com/file/repository/Product_SOA_1_20150303_LT.pdf (paskutini kartą žiūrėta 2016-08-16)
<http://www.viesvile.lt/gamta/fizine-geografine-situacija.html> (paskutini kartą žiūrėta 2016-06-12);
http://www.vstt.lt/VI/rubric.php?rubric_id=76 (paskutini kartą žiūrėta 2016-06-12);
http://wiki-de.genealogy.net/Kurische_Nehrung.

Audrius Kalesnikas

Kartografinių metodų taikymas Kuršių nerijos kopų paviršiaus pokyčių, 2015–2017 metais, įvertinimui

Santrauka

Kuršių nerija unikalus gamtos objektas, įtrauktas į UNESCO paveldą, kuris gausiai lankomas turistų bei poilsiautojų. Deja, dėl įvairių klimato bei antropogeninių pokyčių sparčiai nyksta. Todėl aktualu ne tik įvertinti esamus pokyčius, bet ir kurti galimų pokyčių prognozavimo modelius.

Pagrindinis magistro darbo tikslas – atlikti Kuršių nerijos kopų tiesioginius matavimus, įvertinti pokyčius ir sukurti vykstančių dinaminių procesų prognozavimo metodiką.

Darbą sudaro: įvadas, trys dalys, išvados ir pasiūlymai, literatūros sąrašas, santrauka lietuvių ir anglų kalbomis bei priedai. Darbui atlikti buvo panaudoti įvairūs būdai: literatūros apžvalgos analizė, darbo metodologijos sukūrimas, matavimų rezultatų analizė ir išvadų formavimas.

Vykdam tyrimą pirmiausia buvo atlikta Lenkijos, Prancūzijos ir Vokietijos, kurioms labai aktualūs kopų pokyčiai, literatūrinės ir kartografinės medžiagos analizė. Stebėjimai vykdomi Prancūzijoje nuo 1617, o Vokietijoje nuo 1200 m. Kopose vykstantys procesai aktualūs iki dabar, dėl ko daugelyje valstybių analizuojami bei stebimi sistemingai.

Lietuvoje Kuršių nerijos kopos yra kartografuotos nesistemingai. Detalūs kartografavimo darbai, kuriuos galima analizuoti įvairiais aspektais atlikti 1910–1911 m. ir 1955–1956 m. Nuo 1955 m. kopos tyrinėjamos fragmentiškai.

Prieš pradėdant tiesioginius matavimus, metodologinėje darbo dalyje, atlikta išsami matavimų metodų bei prietaisų analizė, pasirinkti trys pagrindiniai tyrimo arealai (Didžioji, Naglių ir Parnidžio kopos), sudaryta matavimo metodika, parinkti keturi matavimo metodai (reperiniai, tiesioginiai, meteorologiniai matavimai ir aerofotografavimas) ir kaupiamų duomenų analizavimo būdai.

Atliekant kartografuojamų teritorijų tiesioginius matavimus sukaupta daug duomenų: užkoordinuota (X, Y, Z koordinatės) daugiau kaip 17 tūkst. taškų, nufotografuota apie 500 aerovaizdų, virš 4 tūkst. meteorologinių duomenų eilučių, 28 reperinių gairių nuotraukos, paimti 62 mėginiai granulometrijai atlikti. Sukaupėtų duomenų analizė atlikta keturiais aspektais (2D modelio galimybių, distancinių tyrimų metodų galimybių, meteorologinių faktorių įtakos, erdvinio modelio galimybių). Duomenų kiekis leidžia garantuoti analizės bei modeliavimo tikslumą.

Atlikus analizę parodomos skaitmeninio vizualizavimo metodų galimybės (horizontalūs vietovės elementų pokyčiai, paskaičiuotas nupustyto/pripustyto kopų smėlio tūris, įvertintas vidutinis smėlio sluoksnio storis, sudaryti pasirinktų vietų palyginamieji paviršiaus pokyčių pjūviai, sukurtas 2D ir 3D horizontalių modelis, vizualizuoti kartografuojamos teritorijos pokyčiai).

Tyrimo rezultatai svarbūs Kuršių nerijos kopų pokyčių vertinime bei padės kuriant kopų judėjimo prognozavimo modelius.

Reikšminiai žodžiai: Kuršių nerija, kopos, kartografinis modelis, skaitmeninis modeliavimas.

Audrius Kalesnikas

Application of cartographic methods for estimation of surface changes in the dunes of the Curonian spit in 2015 to 2017

Summary

The Curonian Spit is a unique natural location, a site of the UNESCO World Heritage List and popular attraction for tourism and recreation. However, various climatic and anthropogenic changes bring about its fast degradation. Not only assessment of actual changes but also creation of future change prognostication models are therefore important.

The purpose of this paper was direct measurement of dunes of the Curonian Spit, assessment of changes and creation of a method for prognostication of continuing dynamic processes.

The main purpose of this paper is direct measurement of dunes of the Curonian Spit, assessment of changes and creation of a method for prognostication of continuing dynamic processes.

The paper consists of an introduction, three sections, conclusions and proposals, list of sources, summaries in Lithuanian and English, and annexes. The preparation of the paper involved various activities: analysis and overview of previous publications, creation of a work method, analysis of measurement data, and preparation of conclusions.

First of all, the research involved analysis of publications and cartographic materials issued in Poland, France and Germany for which dune changes are a very important issue. Monitoring has been carried out in France since 1617 and in Germany since 1200. Processes in dunes have become no less important since then and are subject to continual analysis and monitoring in many countries.

Dunes of the Curonian Spit have been mapped not on a continual basis in Lithuania. Detailed mapping works which may be subject to many-sided analysis were carried out in 1910 to 1911 and 1955 to 1956. Dune research has been fragmentary since 1955.

Prior to direct measurement, measurement methods and instruments were thoroughly analyzed, three major research areas selected (Great, Naglių and Parnidžio Dunes), a measurement method formed, and (four) measurement techniques (anchor points, direct and meteorological measurements, and aerial photography) and data analysis techniques were selected in the methodological section of the paper.

Massive data were collected during direct measurement of the mapped territories: coordinates (X, Y, and Z) were established for more than 17,000 points, about 500 aerial images taken, more than 4,000 meteorological data lines generated, 28 anchor point photographs taken, and 28 samples taken for granulometric analysis. Data analysis was carried out in four aspects: 2-D model possibilities, distant research model possibilities, meteorological factor influence, and spatial model possibilities. The solid data amount guarantees preciseness of analysis and modelling.

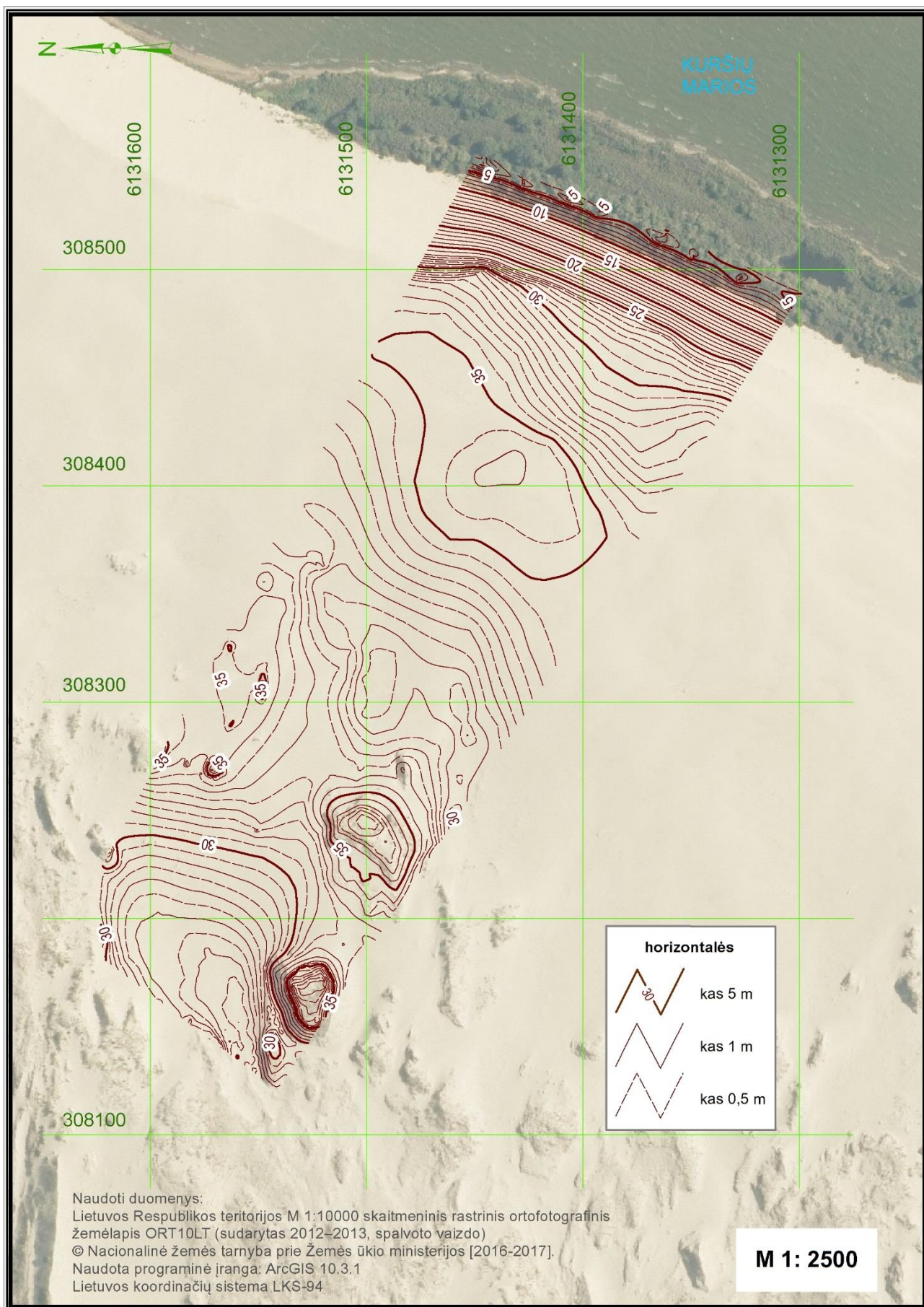
Digital visualization possibilities were demonstrated upon analysis (horizontal changes in landscape elements were shown, blown out / blown in dune sand volume calculated, average sand layer depth assessed, comparative cross-sections of surface changes in selected places made, a 2-D and 3-D contour model created, and changed in the mapped territory visualized).

The results of research are important for Curonian Spit dune change assessment and will be helpful for creation of dune movement prognostication models.

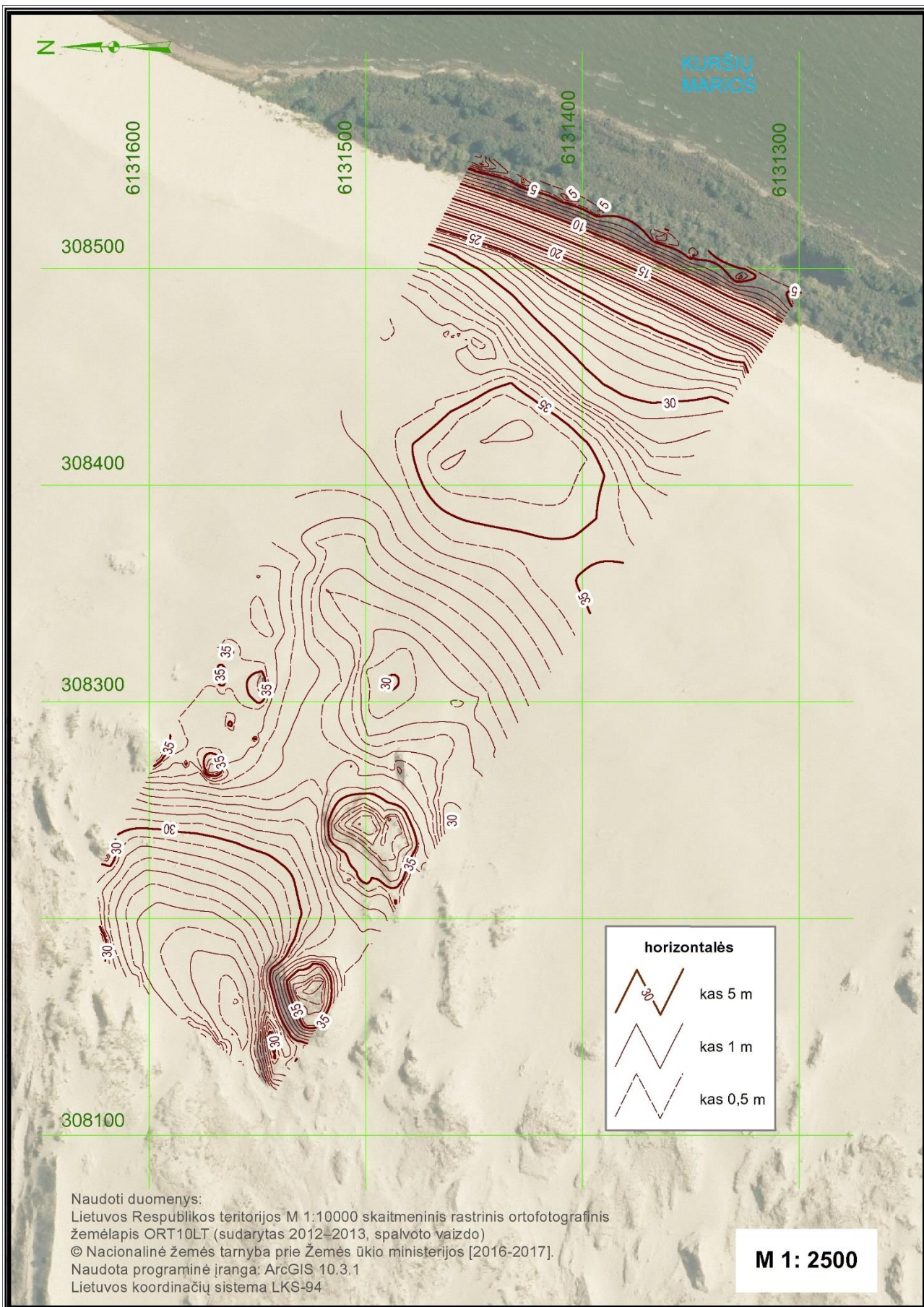
Keywords: Curonian Spit, dunes, mapping model, digital modelling.

PRIEDAI

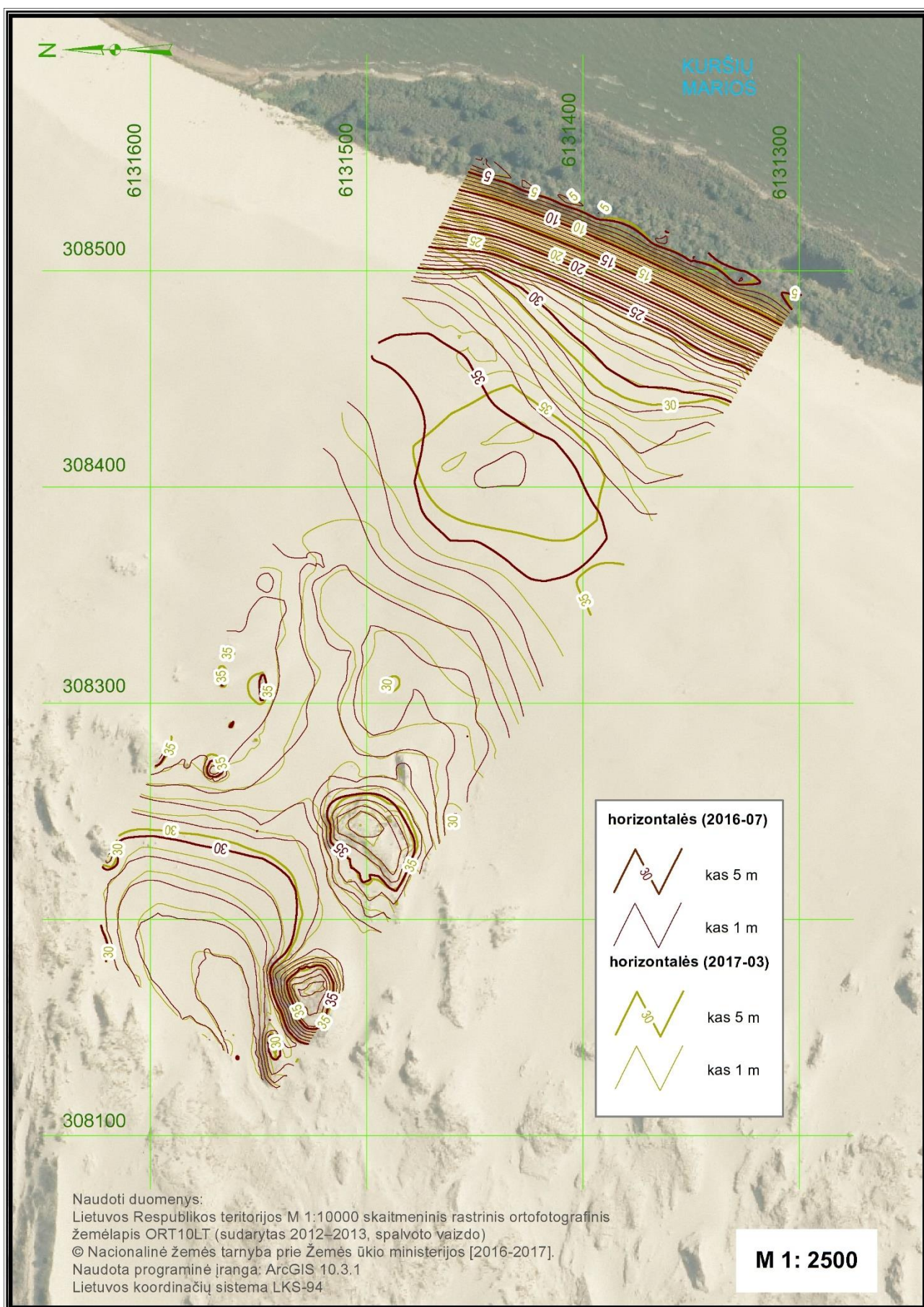
1 priedas. Didžiosios (Sklandytojų) kopos arealo 2D horizontalės. 2016 m. liepos mėn.



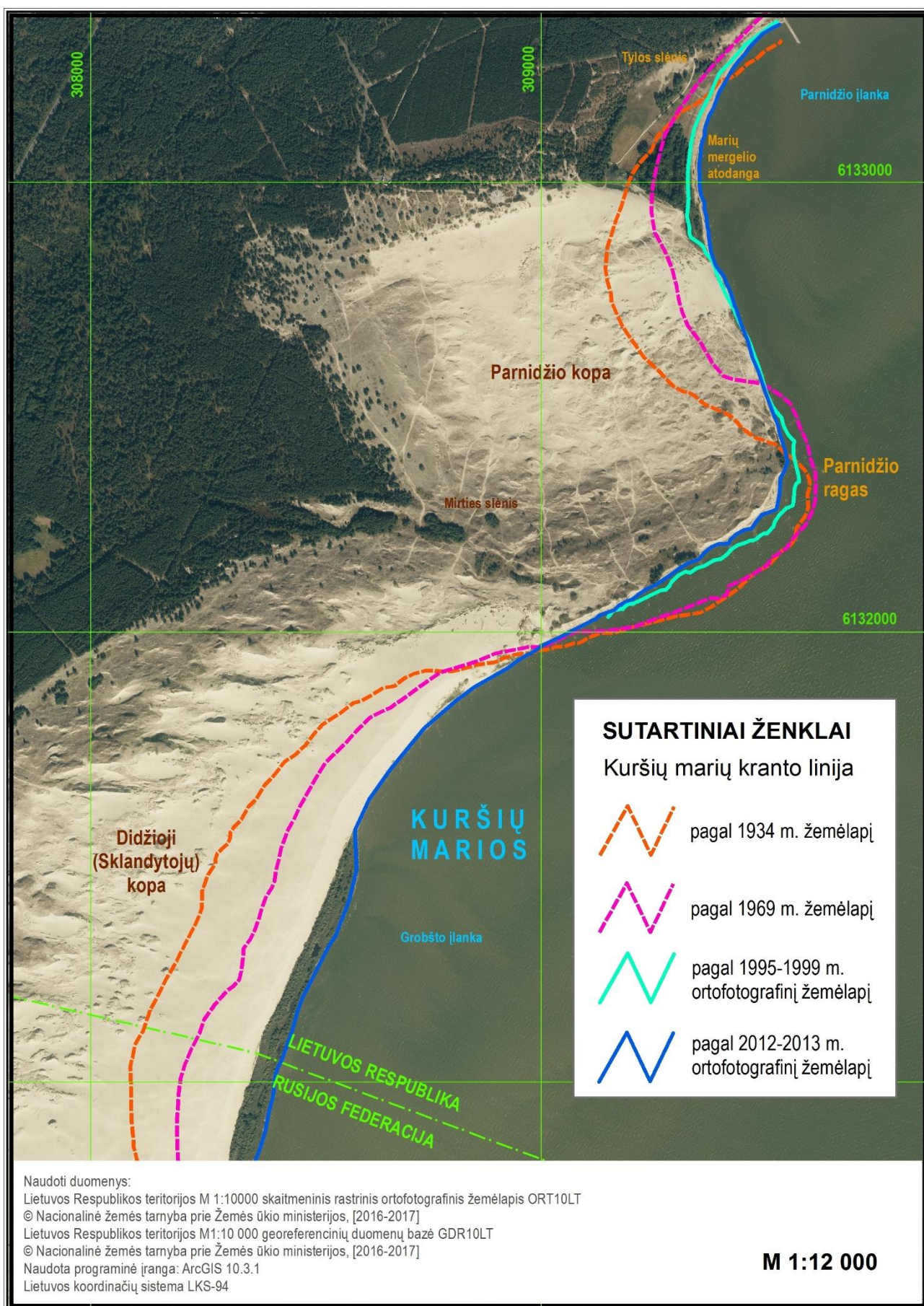
2 priedas. Didžiosios (Sklandytojų) kopos arealo 2D horizontalės. 2017 m. kovo mėn.



**3 priedas. Didžiosios (Sklandytojų) kopos arealo 2D horizontalių palyginimas.
2016 m. liepos mėn. – 2017 m. kovo mėn.**

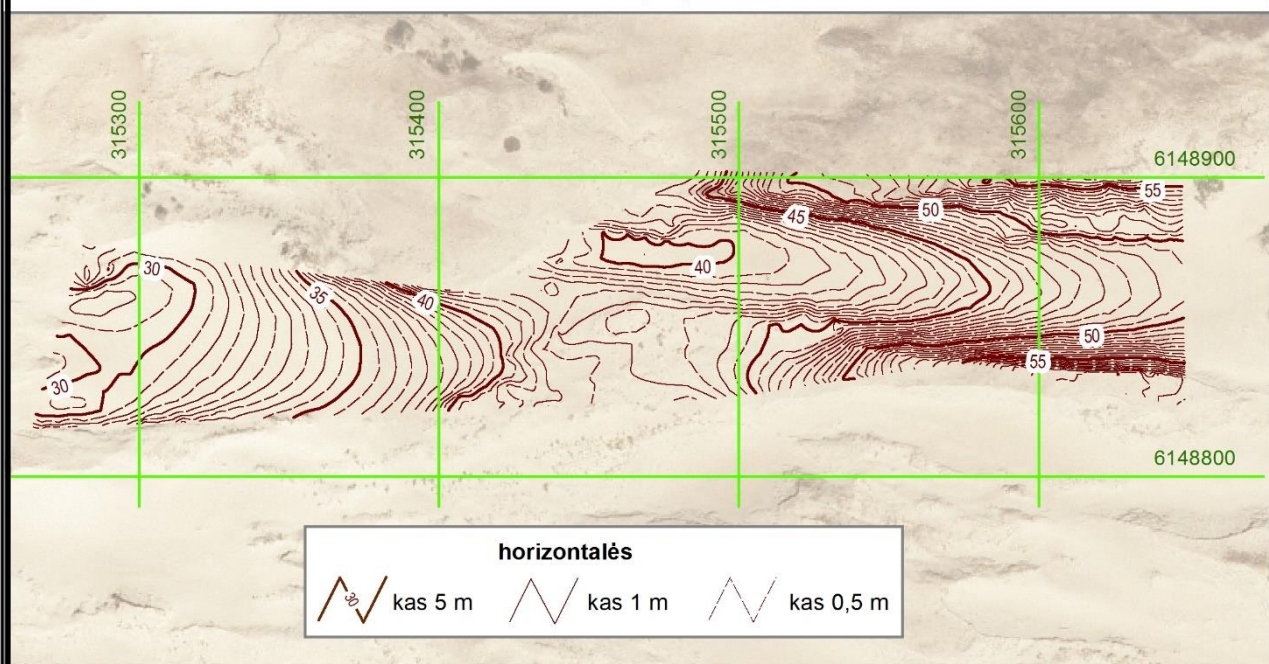


4 priedas. Kuršių marių kranto linijos pokyčiai 1934–2013 m.

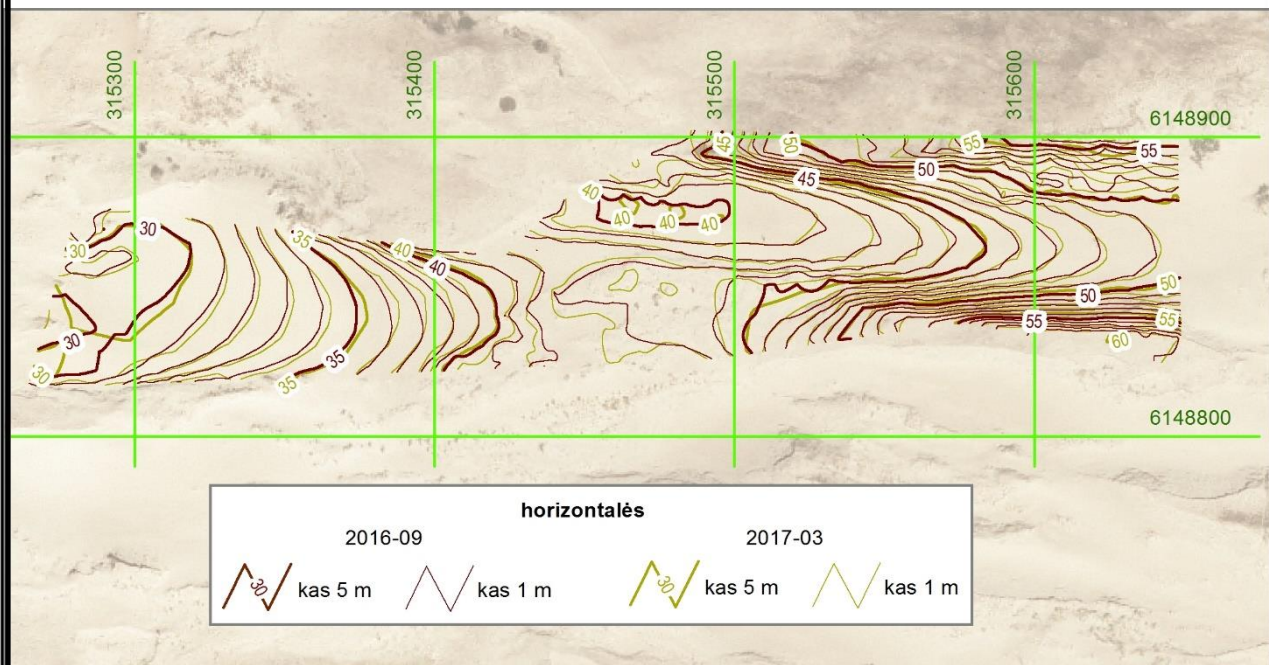


**5 priedas. Naglių kopos arealo 2D horizontalės. 2016 m. rugsėjo mėn. mėn.
Palyginimas 2016 m. rugsėjo mėn. – 2017 m. kovo mėn.**

2016 m.rugsėjo mėn.



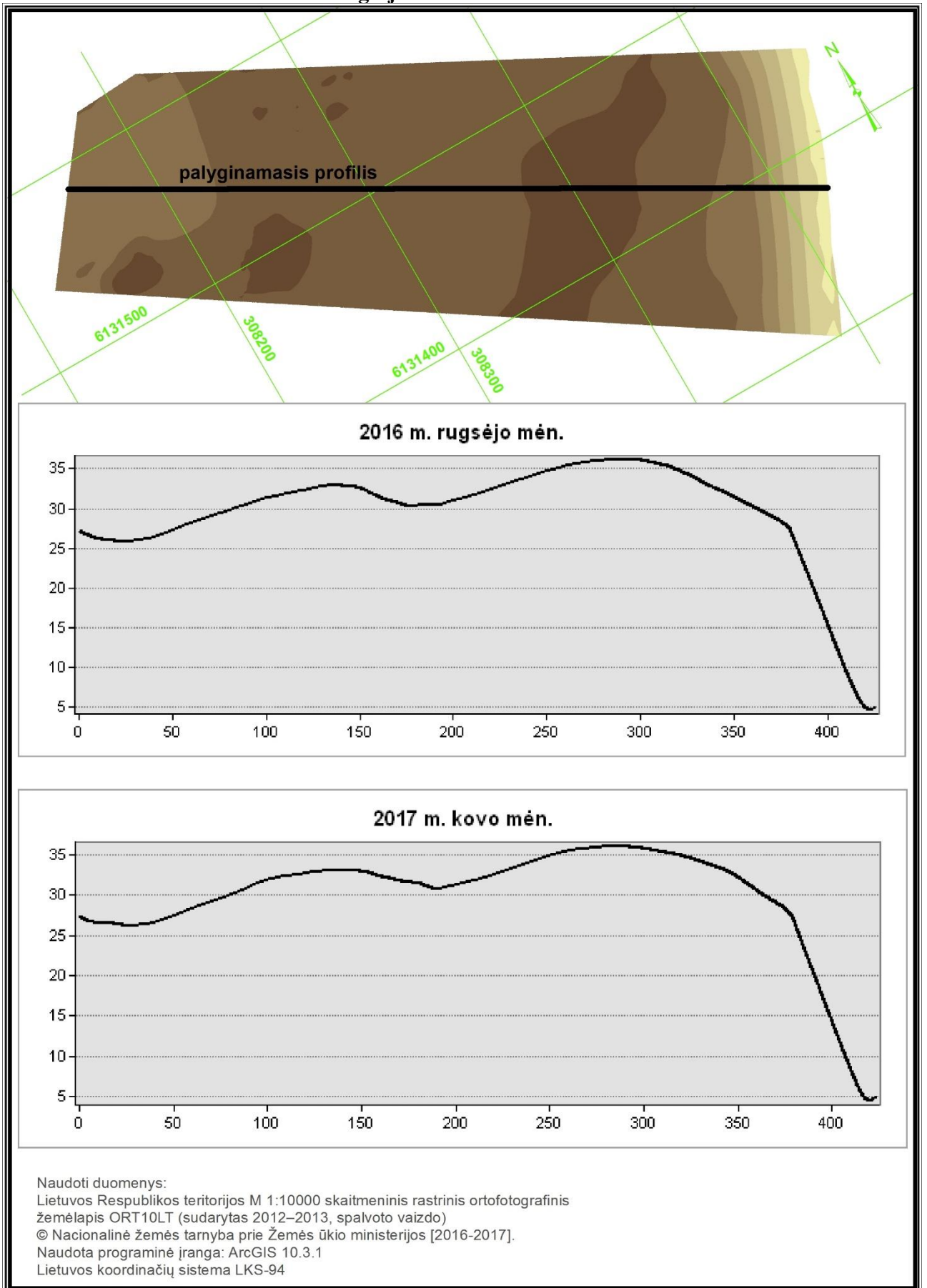
2016 m.rugsėjo mėn. - 2017 m. kovo mėn. palyginimas



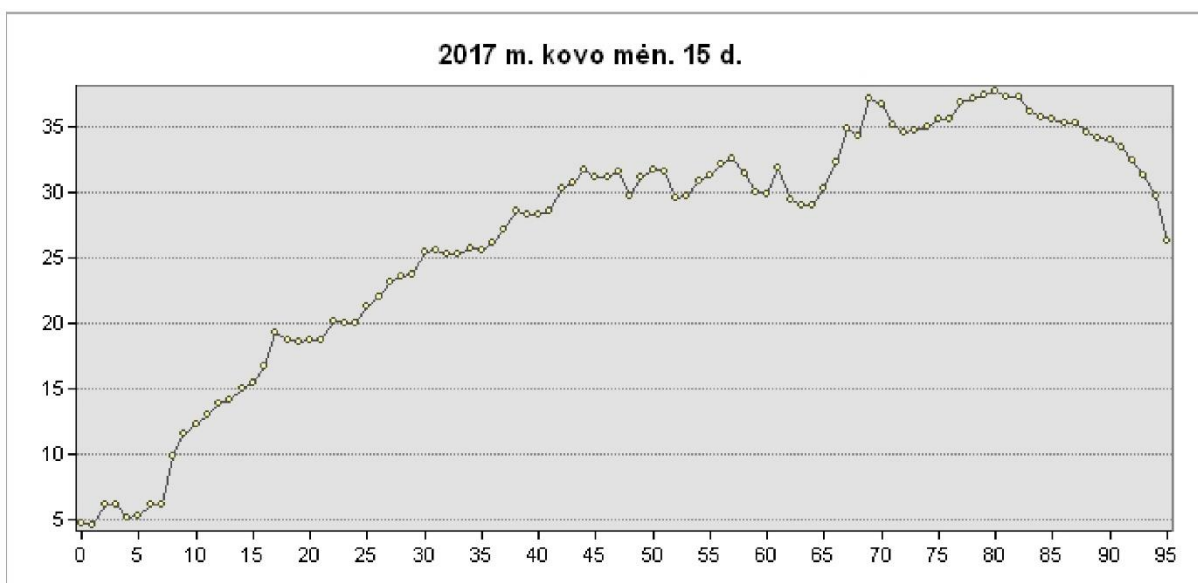
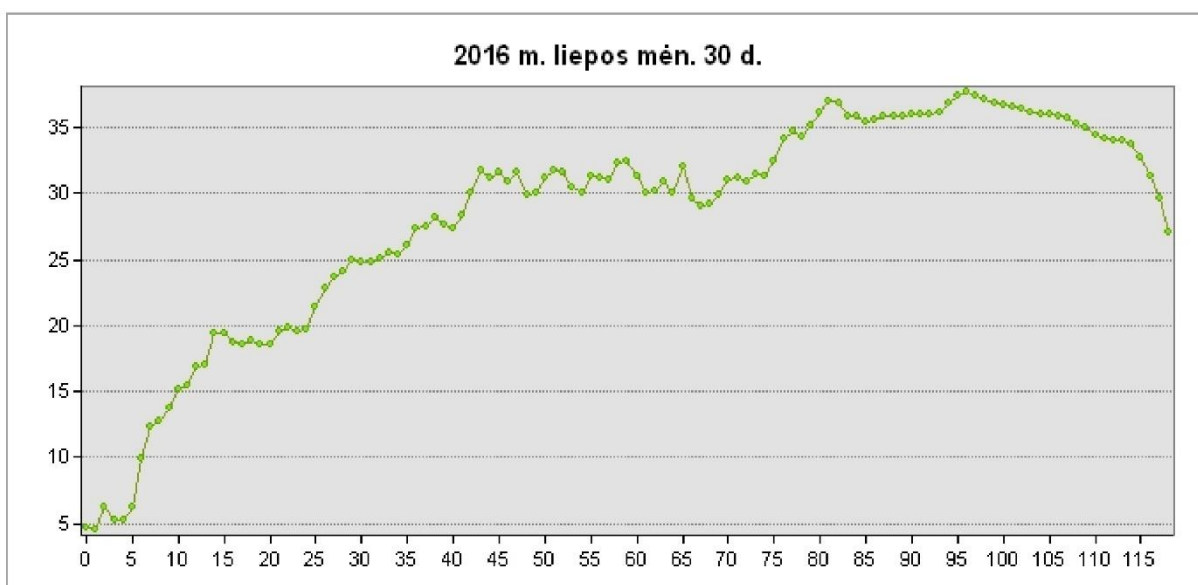
Naudoti duomenys:
Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:10000 skaitmeninis rastrinis ortofotografinis
žemėlapis ORT10LT (sudarytas 2012–2013, spalvoto vaizdo)
© Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos [2016-2017].
Naudota programinė įranga: ArcGIS 10.3.1
Lietuvos koordinatų sistema LKS-94

M 1:2500

**6 priedas. Didžiosios (Sklandytojų) kopos arealo palyginamieji profiliai.
2016 m. rugsėjo mėn. ir 2017 m. kovo mėn.**



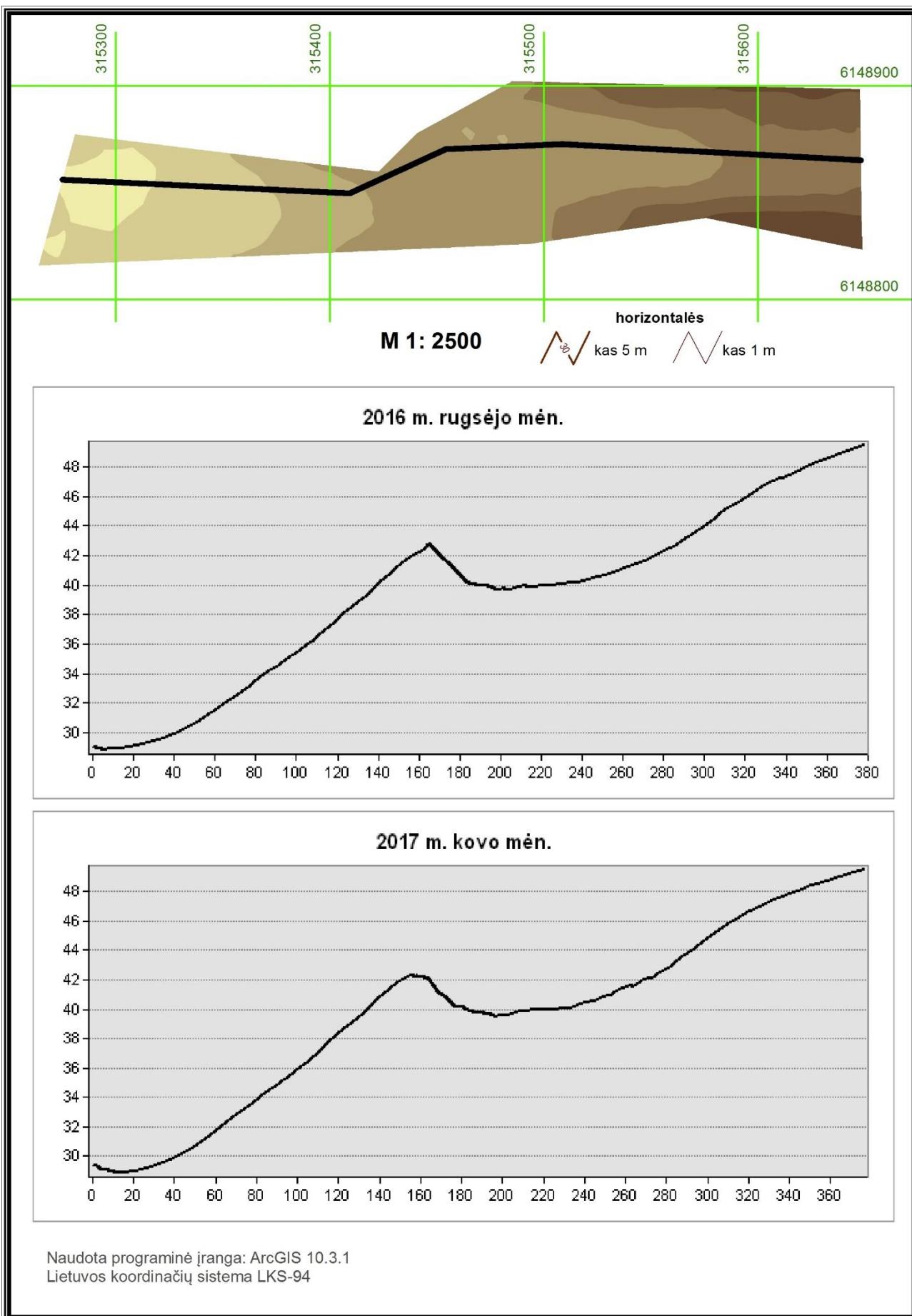
7 priedas. Lietuvos Respublikos ir Rusijos Federacijos valstybių sienos fragmento palyginamieji profiliai, sudaryti iš tiesioginių matavimų. 2016 m. liepos 30 d. ir 2017 m. kovo 15 d.



Naudoti duomenys:
 Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:10000 skaitmeninis rastrinis ortofotografinis žemėlapis ORT10LT (sudarytas 2012–2013, spalvoto vaizdo)
 © Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos [2016–2017].
 Naudota programinė įranga: ArcGIS 10.3.1
 Lietuvos koordinatų sistema LKS-94

M 1: 6000

**8 priedas. Naglių kopos arealo palyginamieji profiliai.
2016 m. rugsėjo mėn. ir 2017 m. kovo mėn.**

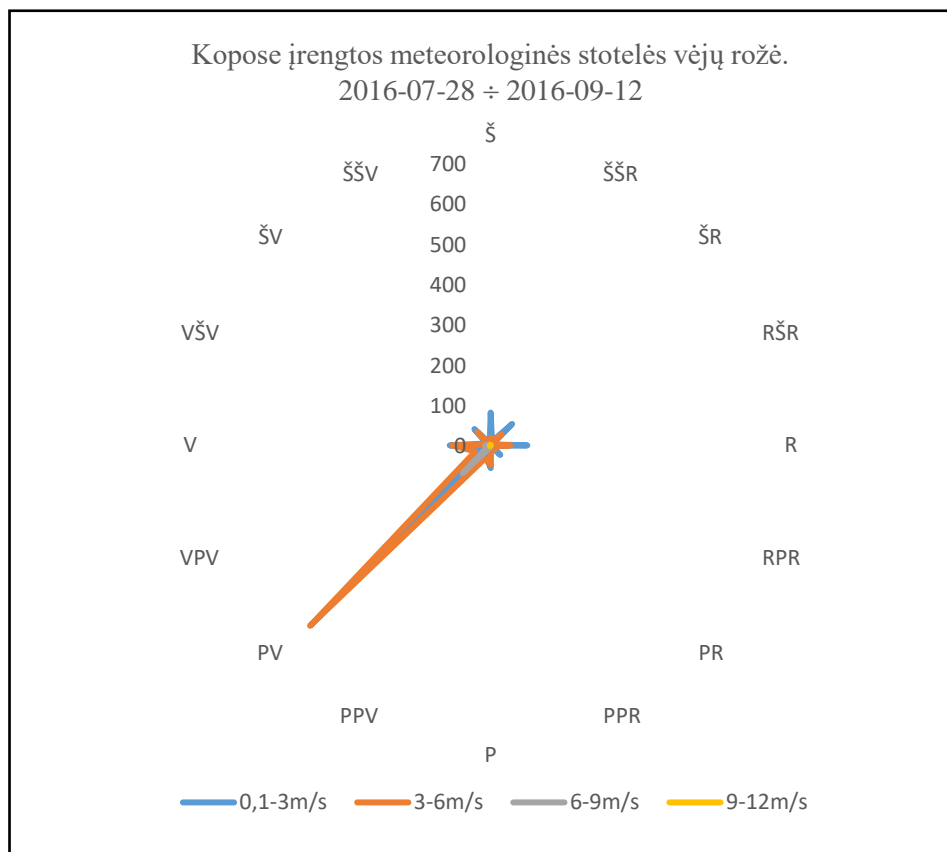


9 priedas. Vienos aerofotonuotraukos techninė informacija (EXIF)

[Camera]	
Image description	: DCIM\100MEDIA\ DJI_0300.JPG
Camera Manufacturer	: DJI
Camera Model	: FC350
Orientation	: top-left (1)
X Resolution	: 72
Y Resolution	: 72
Resolution unit	: Inch
Software	: v02.65.5033
Date modified	: 2016:07:28 18:22:32
YCbCr Positioning	: centered (1)
XPCOMment	: 0.9.138
XPKeywords	: N
[Image]	
Exposure time [s]	: 1/890
F-Number	: 2.8
Exposure program	: Normal (2)
ISO speed ratings	: 100
EXIF version	: 02.30
Date taken	: 2016:07:28 18:22:32
Date digitized	: 2016:07:28 18:22:32
Components configuration	: 1020300
Compressed bits per pixel	: 168107/46875
Shutter speed [s]	: 1/889
Aperture	: F2.8
Exposure bias value	: 0
Max aperture	: F1.4
Subject distance (m)	: 0
Metering mode	: Average (1)
Light source	: Unknown (0)
Flash	: No flash
Focal length [mm]	: 3.6
FlashPix Version	: 00.10
Colour space	: sRGB

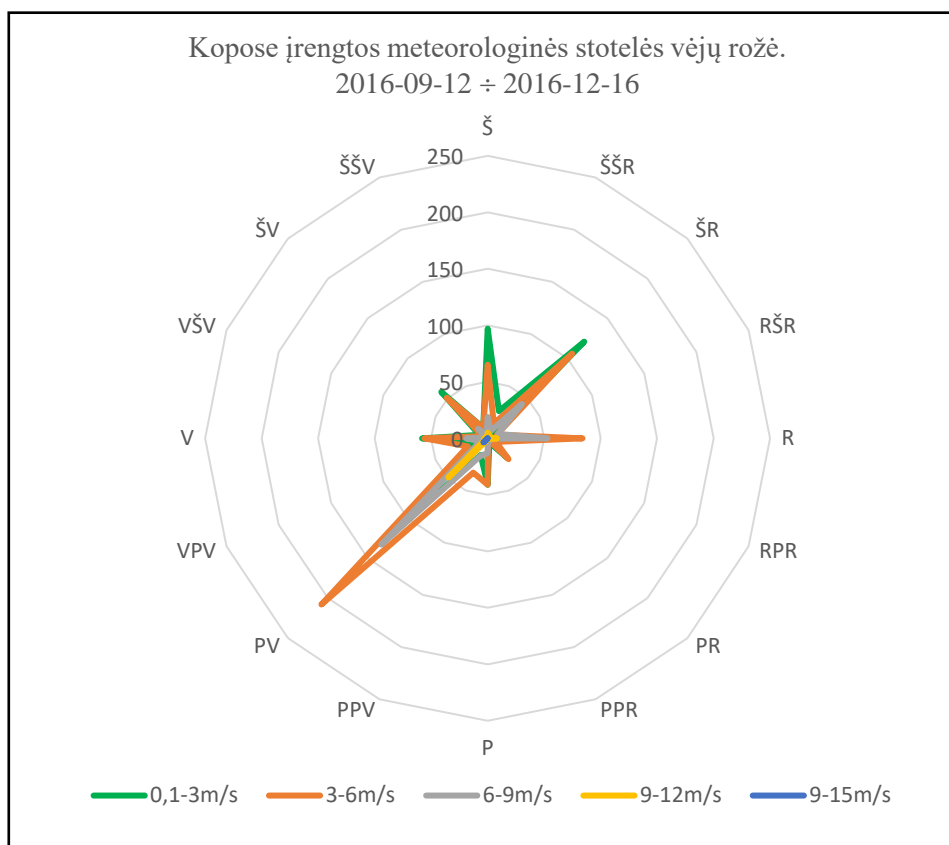
EXIF image width	: 4000
EXIF image length	: 3000
Interoperability offset	: 656
Exposure index	: 0
File source	: DSC
Scene type	: 0
Custom rendered	: Normal process (0)
Exposure mode	: Auto (0)
White balance	: Auto (0)
Digital zoom	: 0
Focal length (35mm)	: 20
Scene capture type	: Standard (0)
Gain control	: None (0)
Contrast	: Normal (0)
Saturation	: Normal (0)
Sharpness	: Normal (0)
Subject distance range	: Unknown (0)
[IOP]	
IOP index	: R98
IOP version	: 0100
[Makernotes]	
[GPS]	
Version ID	: 0.0.0.0
Latitude Ref	: North
Latitude	: 55° 16' 51.47"
Longitude Ref	: East
Longitude	: 20° 58' 45.63"
Altitude Ref	: Sea Level
Altitude	: 122.4180
[Thumbnail]	
Compression	: 6
X Resolution	: 72
Y Resolution	: 72
Resolution unit	: Inch
Thumbnail offset	: 41972
Thumbnail length	: 7619

10 priedas. Kopose įrengtos meteorologinės stotelės vėjo greičio ir krypties duomenys



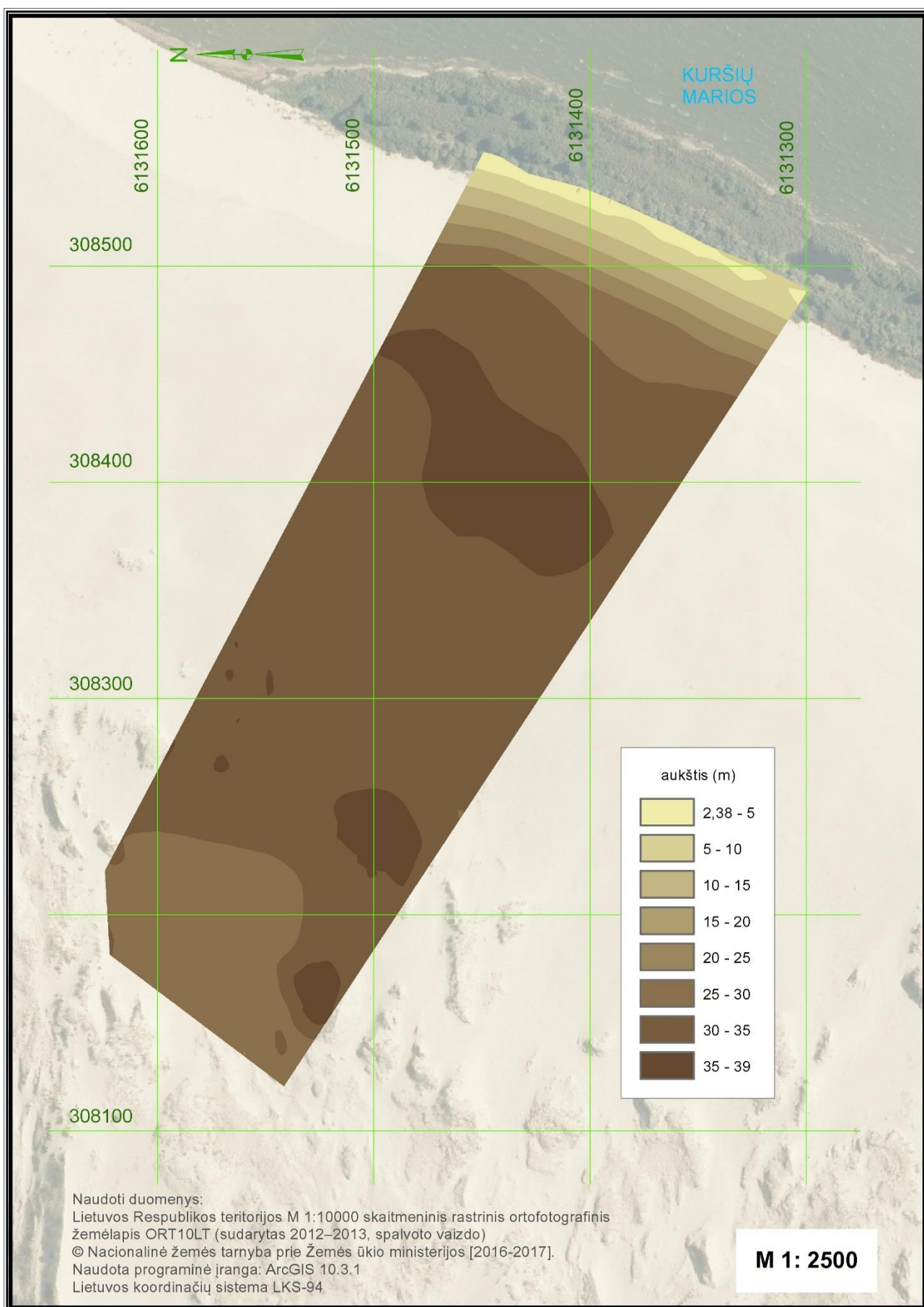
Vėjo kryptis	Vėjo greitis (2016-07-28÷2016-09-12)			
	0,1-3m/s	3-6m/s	6-9m/s	9-12m/s
Š	81	19	0	0
ŠŠR	10	9	0	0
ŠR	75	38	0	0
RŠR	5	4	0	0
R	91	49	0	0
RPR	4	7	0	0
PR	34	15	0	0
PPR	0	0	1	0
P	57	49	1	0
PPV	30	36	7	0
PV	359	633	97	2
VPV	23	41	7	0
V	101	95	13	1
VŠV	11	6	3	0
ŠV	57	46	3	0
ŠŠV	6	1	0	0

11 priedas. Kopose įrengtos meteorologinės stotelės vėjo greičio ir krypties duomenys

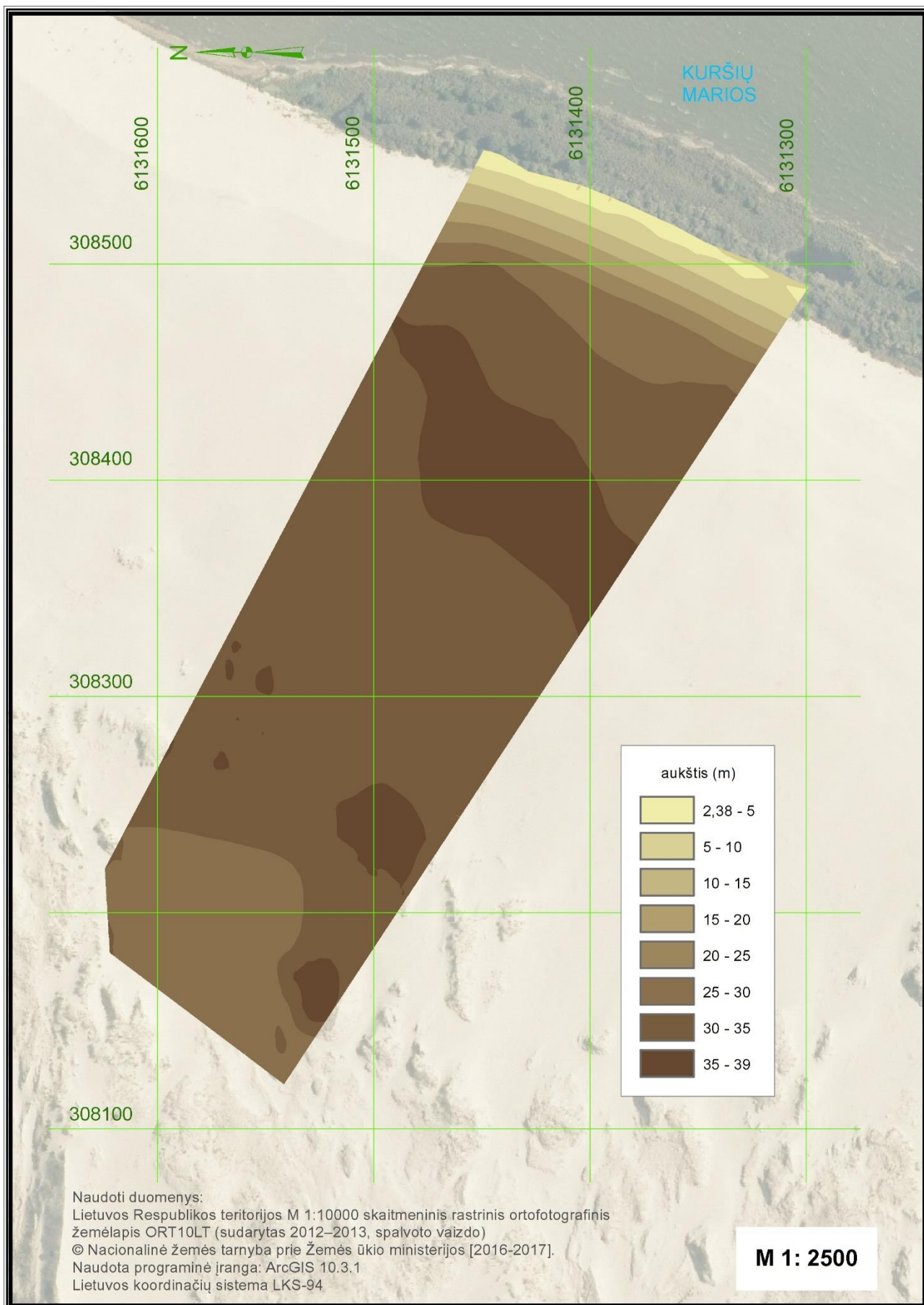


Vėjo kryptis	Vėjo greitis (2016-09-12÷2016-12-16)				
	0,1-3m/s	3-6m/s	6-9m/s	9-12m/s	9-15m/s
Š	97	65	19	5	0
ŠŠR	26	14	7	3	0
ŠR	121	106	43	3	0
RŠR	5	9	10	0	0
R	57	84	53	8	0
RPR	5	8	1	0	0
PR	24	26	3	0	0
PPR	4	1	0	0	0
P	41	41	13	0	0
PPV	16	33	17	2	0
PV	119	208	133	49	5
VPV	10	19	7	2	0
V	58	56	19	3	0
VŠV	8	5	2	0	0
ŠV	58	51	12	2	0
ŠŠV	10	10	3	0	0

**12 priedas. Didžiosios (Sklandytojų) kopos arealo erdviniai rastriniai duomenys.
2016 m. liepos mėn.**

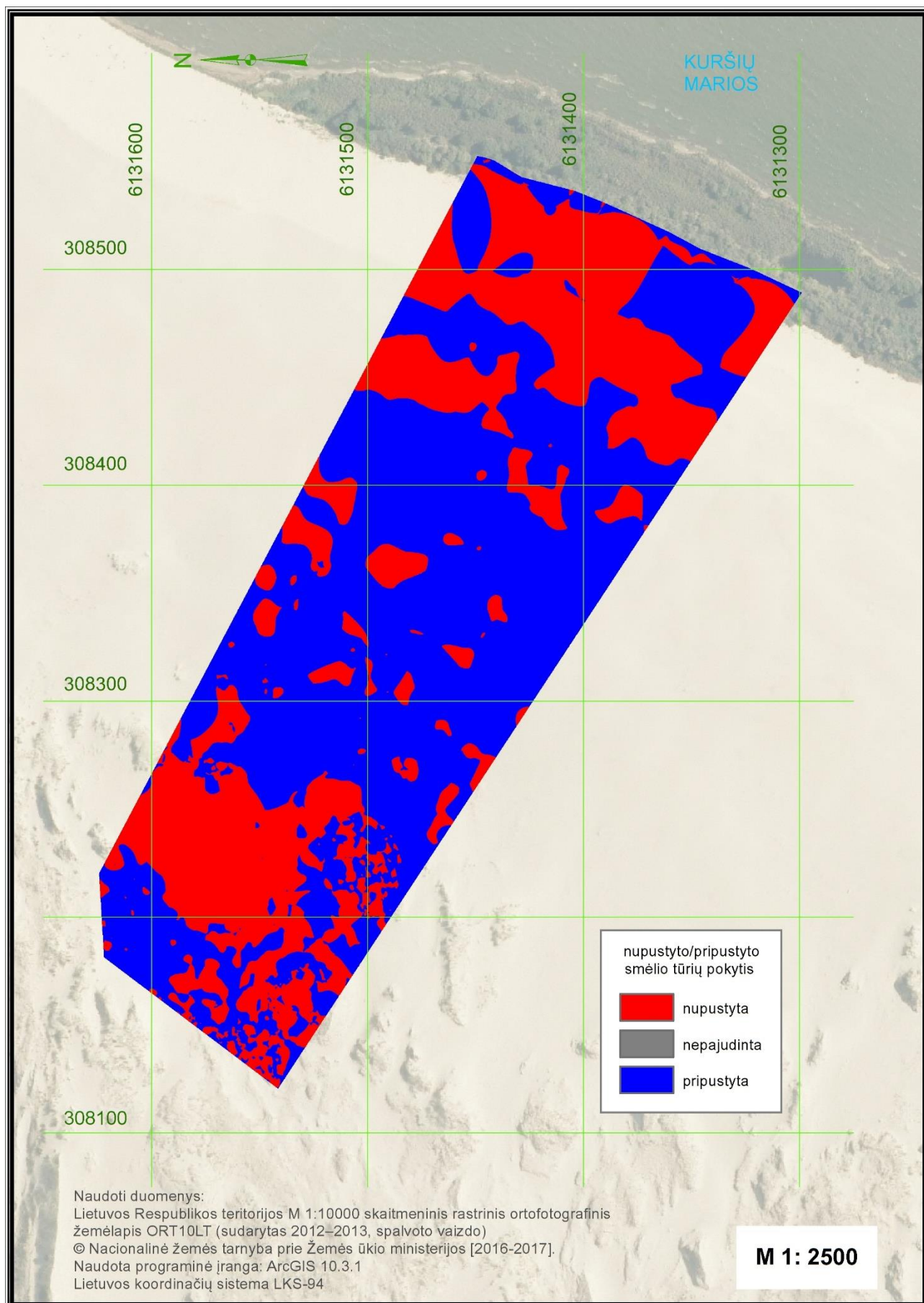


**13 priedas. Didžiosios (Sklandytojų) kopos arealo erdviniai rastriniai duomenys.
2016 m. rugsėjo mėn.**



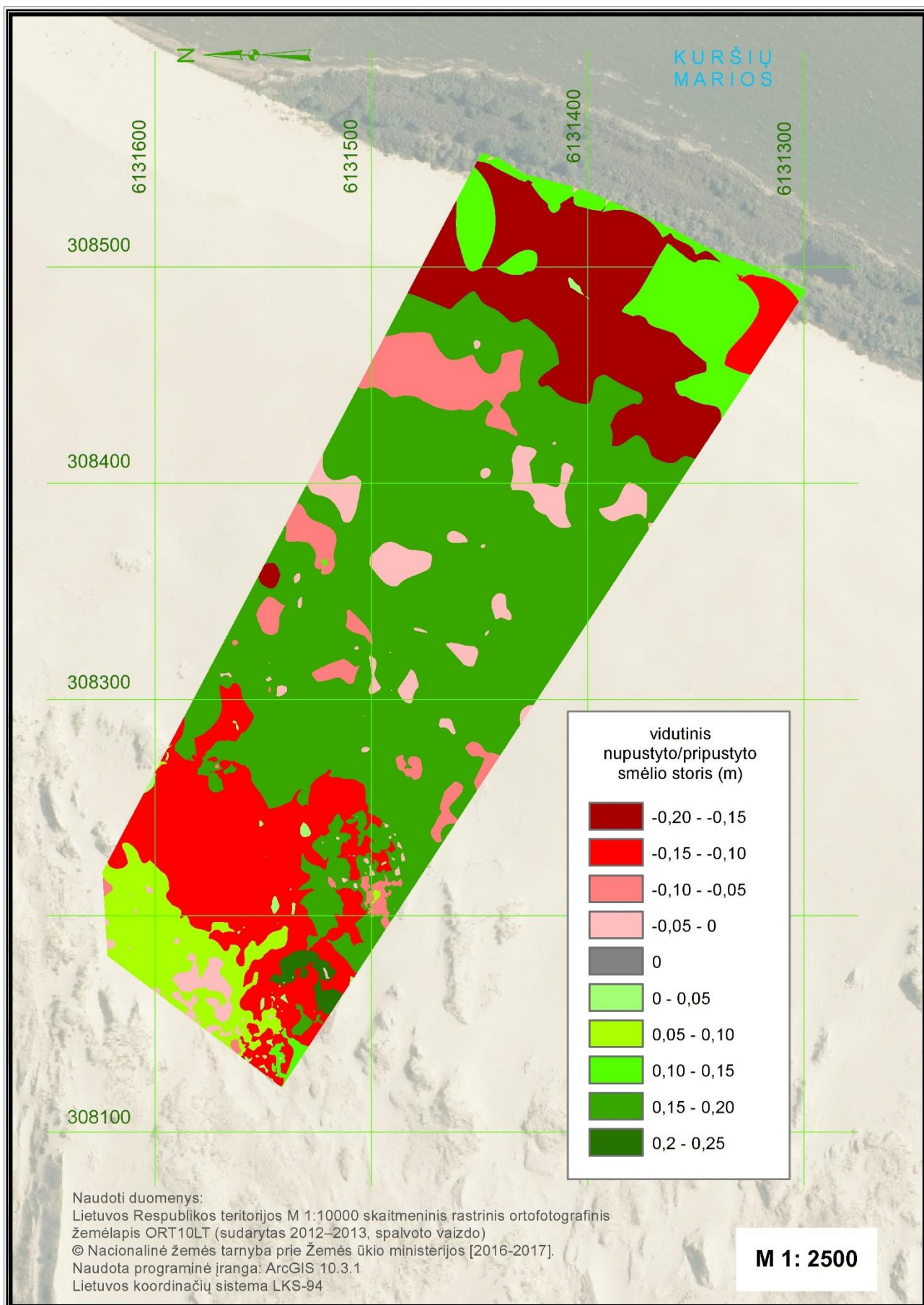
**14 priedas. Didžiosios (Sklandytojų) kopos nupustyto/pripustyto smėlio tūrių pokytis,
per 2016 m. liepos – rugsėjo mėn.**

(modelio analizės duomenys pateikti skaitmeninėje laikmenoje: didžioji_sk.pdf)

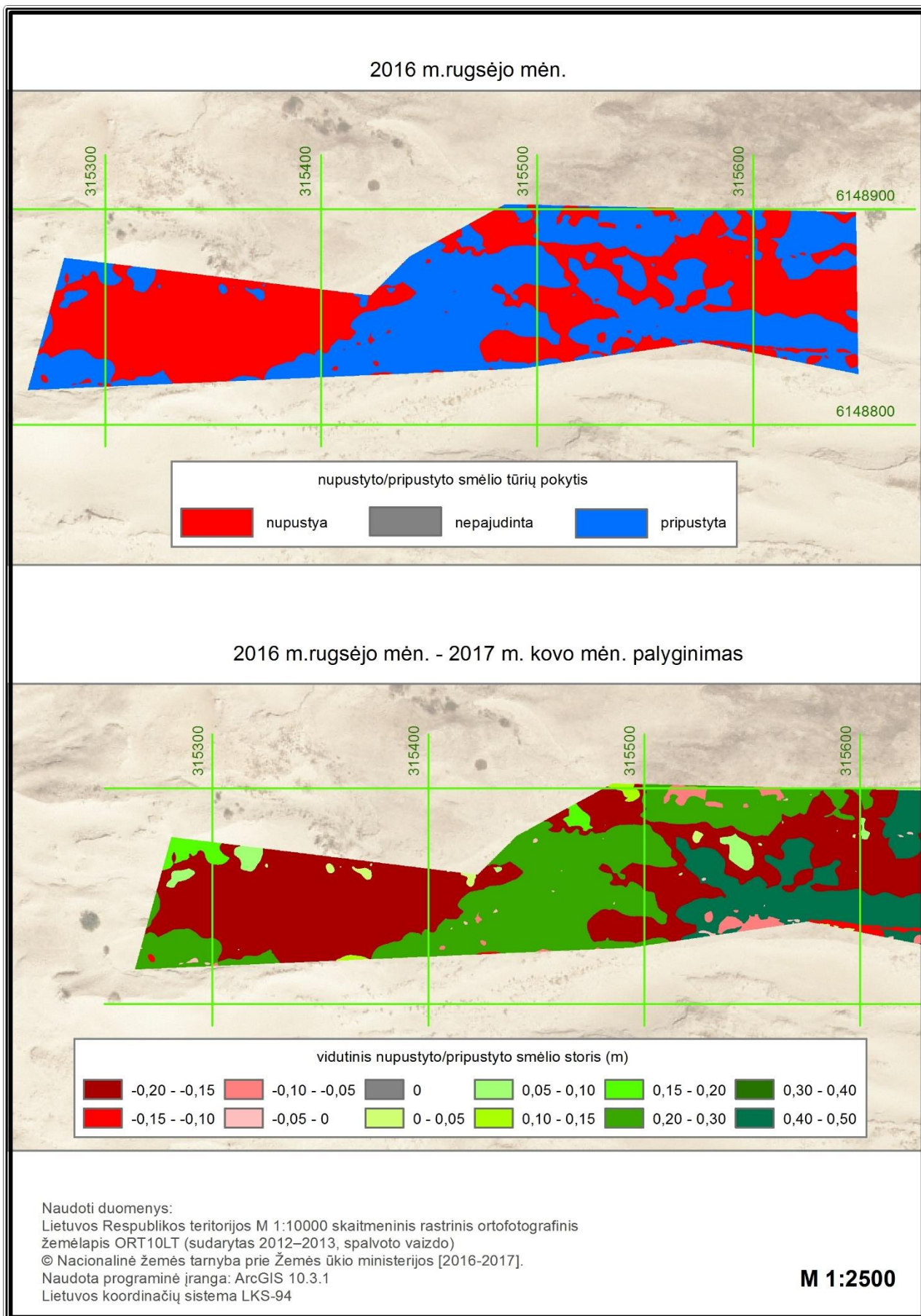


**15 priedas. Didžiosios (Sklandytojų) kopos pernešto smėlio vidutinis sluoksnio storis,
Per 2016 m. liepos – rugsėjo mėn.**

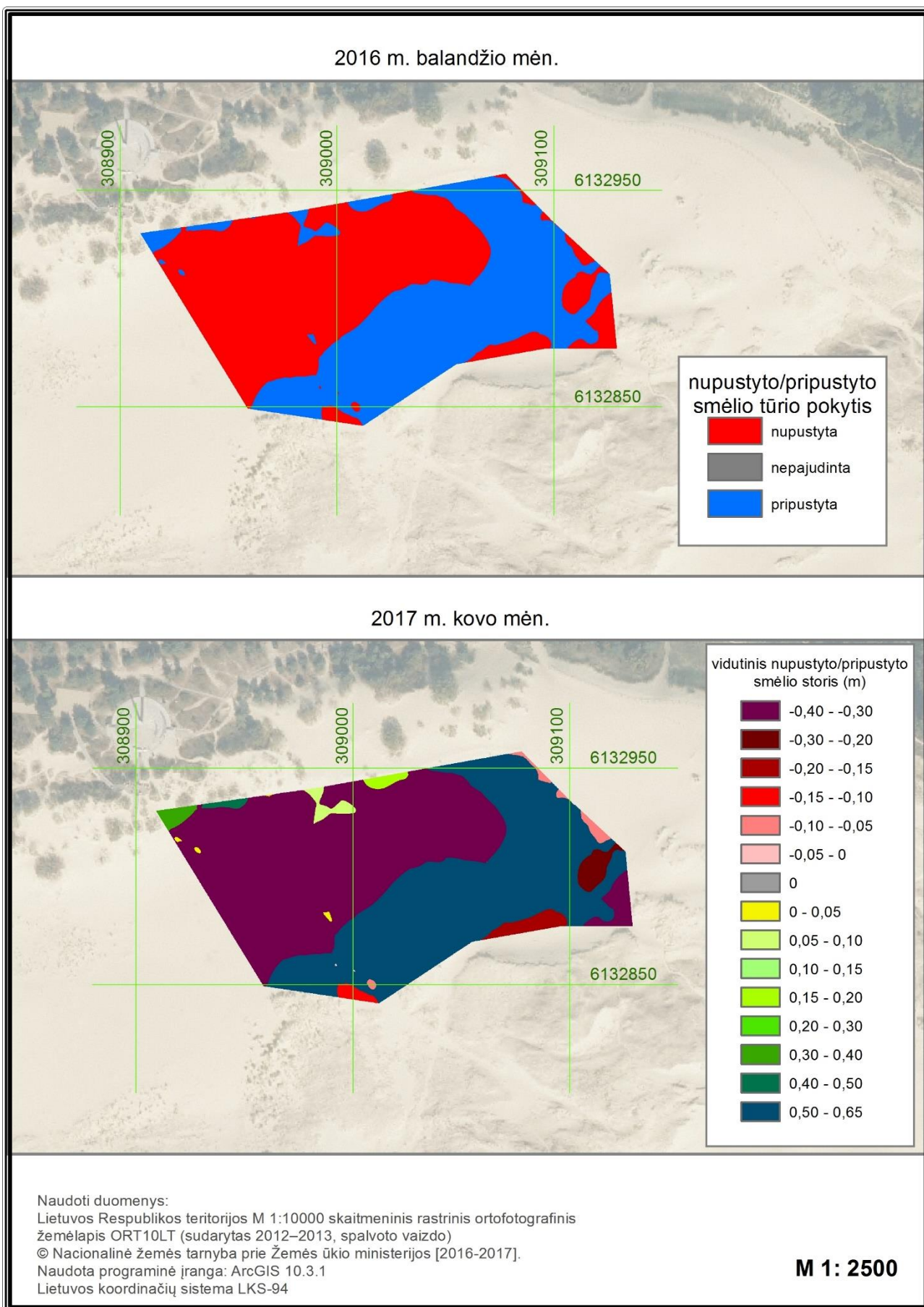
(modelio analizės duomenys pateikti skaitmeninėje laikmenoje: didžioji_sk.pdf)



16 priedas. Naglių kopos nupustyto/pripustyto: smėlio tūrių pokytis ir pernešto smėlio vidutinis sluoksnio storis, per 2016 m. rugsėjo – 2017 m. kovo mėn.
(modelio analizės duomenys pateikti skaitmeninėje laikmenoje: nagliai_sk.pdf)

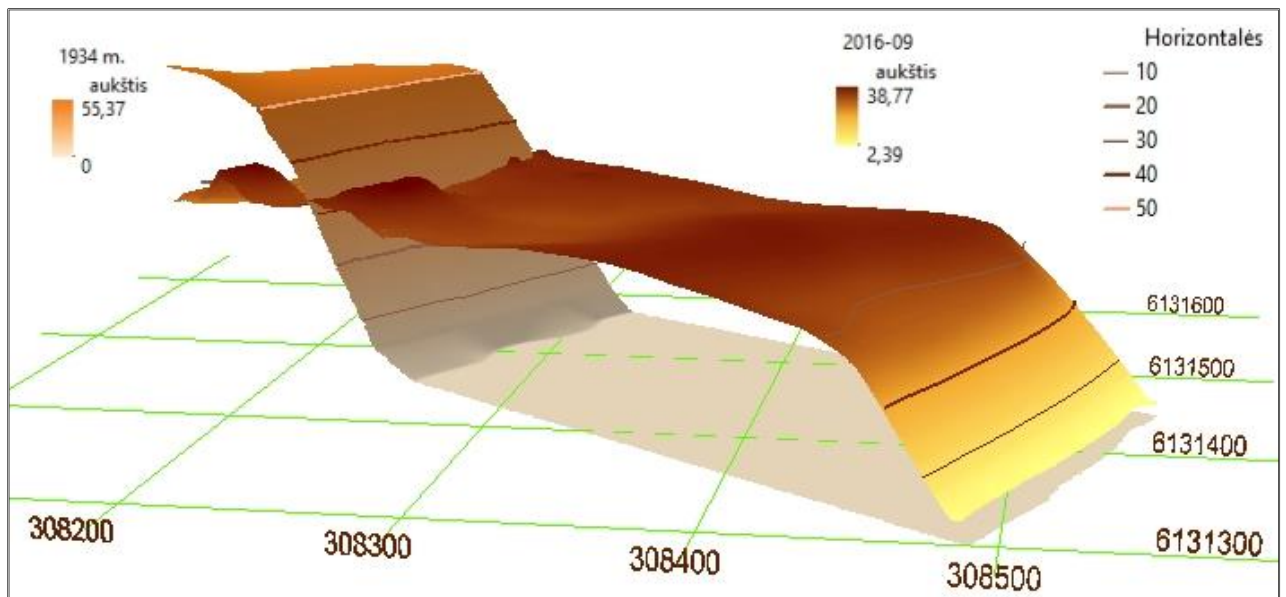


17 priedas. Parnidžio kopos nupustyto/pripustyto: smėlio tūrių pokytis ir pernešto smėlio vidutinis sluoksnio storis, per 2016 m. balandžio – 2017 m. kovo mėn.
 (modelio analizės duomenys pateikti skaitmeninėje laikmenoje: parnidis_sk.pdf)

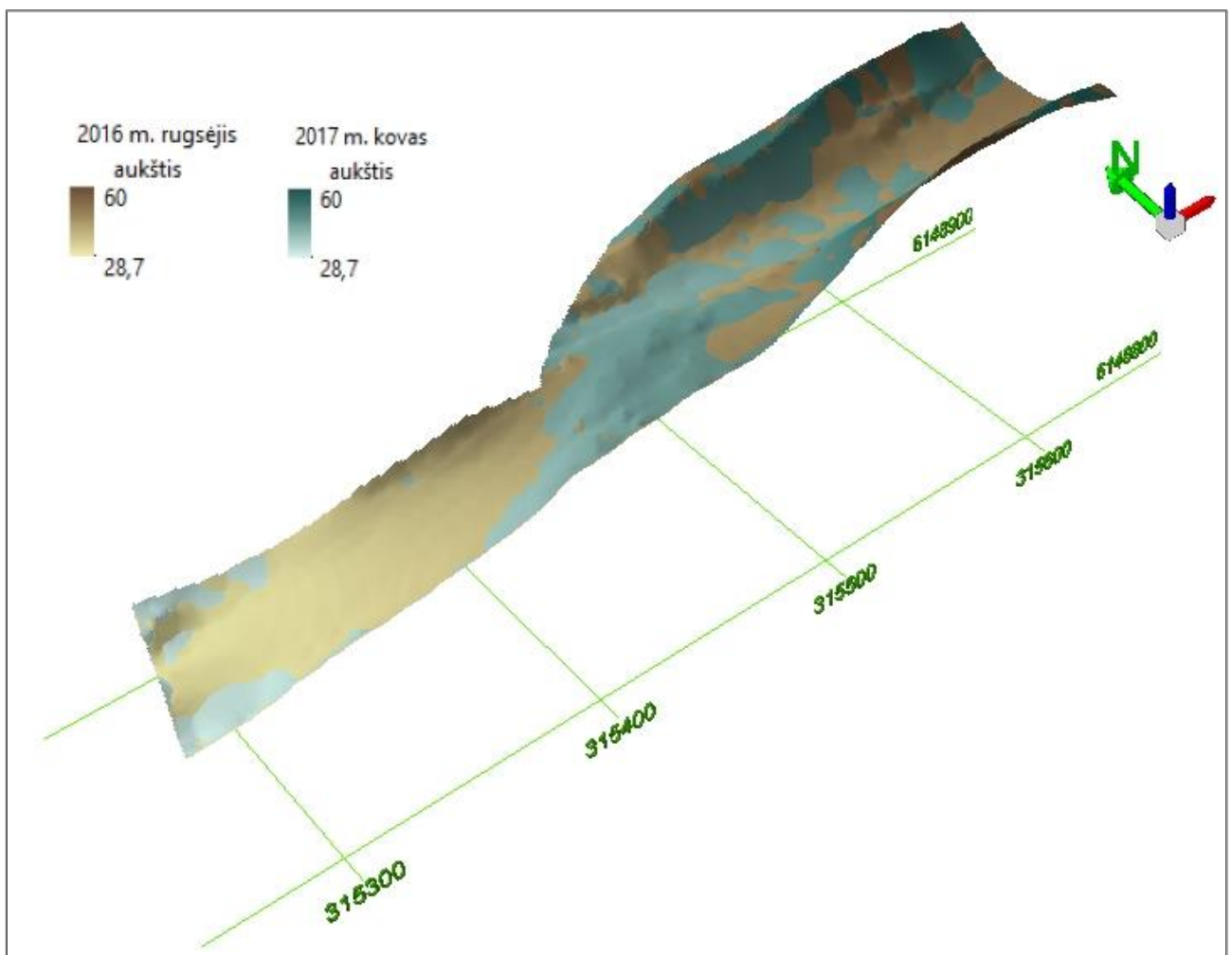


18 priedas. 3D vizualizacija

Didžiosios (Sklandytojų) kopos palyginimas 1934 m. ir 2016 m. rugsėjis



Naglių kopos palyginimas 2016 m. rugsėjo mėn. ir 2017 m. kovo mėn.



BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO VERTINIMO LAPAS

Darbo autorius:

Audrius Kalesnikas

.....

(parašas)

(vardas, pavardė)

Mokslinis darbo
vadovas:

doc. dr. Artūras Bautrėnas

.....

(mokslinis laipsnis, mokslinis vardas, vardas, pavardė)

(parašas)

Recenzentas:

.....

(mokslinis laipsnis, mokslinis vardas, vardas, pavardė)

(parašas)

.....

Kartografijos ir
geoinformatikos
katedros vadovas:

prof. hab. dr. Algimantas Česnulevičius

(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:

.....

(parašas)

(vardas, pavardė)

.....