KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS
JŪROS TECHNOLOGIJŲ IR GAMTOS MOKSLŲ
FAKULTETAS
GAMTOS MOKSLŲ KATEDRA

LIETUVOS JŪRINIO KRANTO GEOMORFOLOGINIŲ PARAMETRŲ STEBĖJIMO IR VERTINIMO METODAI

Jūrų hidrologijos studijų programos magistro baigiamasis darbas

Autorius JH18 Greta Kilmonaitė
Vadovas dr. Nerijus Blažauskas
Konsultantas

Reg. nr. .....

Klaipėda, 2020

SANTRAUKA

Greta Kilmonaitė

LIETUVOS JŪRINIO KRANTO GEOMORFOLOGINIŲ PARAMETRŲ STEBĖJIMO IR VERTINIMO METODAI

Jūrų hidrologijos studijų programos magistro baigiamasis darbas

Darbo vadovas: dr. Nerijus Blažauskas

Klaipėdos universitetas

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Gamtos mokslų katedra

Klaipėda, 2020

Darbo apimtis: 56 p., 4 lent., 43 pav.

Pagrindiniai žodžiai: krantas, geomorfologija, geodinamika, niveliacija, 3D skenavimas.

Lietuvos kranto ruožas ekonominiu požiūriu labai svarbus uosto bei turizmo plėtrai. Tačiau dėl didelės fizinės apkrovos, stiprėjančių ir dažnėjančių audrų bei klimato kaitos, Lietuvos krantai vis labiau yra ardomi.

Siekiant įvertinti ardos mastą bei įvairių procesų poveikį, naudojami tyrimų metodai yra kiek pasenę. Tad darbe atsižvelgiama į metodus, kurie taikomi kranto tyrimams, galimybę juos apjungti į bendrą sistemą bei įvertinamos galimas alternatyvos, pagerinant drabų kokybę ir duomenų tikslumą.

Galutiniame rezultate įvertinta ilgalaikė ir trumpalaikė Lietuvos kranto ruožo morfodinamika, pasitelkiant skersinės ranto niveliacijos metodą bei taikant antžeminę lazerinę 3D skenavimo sistemą. Tyrimų metodika palyginta tarpusavyje, įvertinant tokius kriterijus, kaip laiko sąnaudos, žmonių kiekis, galutinių duomenų masyvas, padengimas bei rezoliucija. Taip pat įvertintos platesnės metodo panaudojimo galimybės atliekant užduotis, reikalaujančias tikslių skaičiavimų. Kadangi duomenys gauti, naudojant antžemine lazerine 3D skenavimo sistemą yra labai detalūs, jos taikymas gali reikšmingai pagerinti inžinerinių kranto ruožo darbų kokybę.

SUMMARY

Greta Kilmonaitė

MONITORING AND EVALUATION METHODS OF GEOMORPHOLOGICAL PARAMETERS OF THE LITHUANIAN SEA COAST

Master thesis in Marine Hydrology Sciences

Supervisor: dr. Nerijus Blažauskas

Adviser:

Klaipėda University

Faculty of Marine Technology and Natural Sciences

Department of Natural Sciences

Klaipėda, 2020

Work’s size: 56 papers, 4 tables, 43 pictures.

Key words: shore, geomorphology, geodynamics, profiling, 3D scanning.

The coastline of Lithuania is economically very important for port and tourism development. However, due to high physical load and increasing climate change, Lithuanian beaches becoming more and more eroded.

The research methods used to assess the extent of the damage and the impact of various processes are outdated. Thus, the paper takes into account the methods used for shore researches, the feasibility of integrating them into a common framework, and evaluates possible alternatives for improving the quality of coastal researches and data accuracy.

Therefore, in the final results, long-term and short-term morphodynamics of the Lithuanian coastline were evaluated using transverse coastal profiling method and applying 3D laser scanning system. The research methodology was compared with each other, taking into account criteria such as time consumption, number of people, accuracy and the amount of final data, coverage and resolution. Wider applicability of the methods for tasks requiring accurate calculations was also based on calculations and other researchers works. Eventually the application of high level of detailed data obtained by using a 3D laser terrestrial scanning system, can significantly improve the quality of offshore engineering and research.

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. 2019 metais atlikti matavimai 18

2 lentelė. Duomenų tinklelio palyginimas 28

3 lentelė. Gautų rezultatai reikšmės su paskaičiuotomis paklaidomis 29

4 lentelė. Pasirinktų kriterijų palyginimas 42

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Lietuvos pajūrio ir įjūrio morfografinė schema (Gudelis, 1993) 7

2 pav. Kranto povandeninio šlaito schema. 1 – kranto povandeninis šlaitas (priekrantė), 2 – įkrantė (sėklių zona), 3 – nuokrantė, 4 –priekrantės nuolydis. A,C,E – tarpsėkliai, B,D,F – sėkliai (B – priekrantinis, F – įjūrinis) (Žilinskas, Jarmalavičius, 2007) 8

3 pav. Kranto zonos elementų kaita laike ir erdvėje priklausomai nuo hidrodinaminių sąlygų (Stive ir kt. 2002) 9

4 pav. Tyrimų vieta 10

5 pav. Lietuvos Baltijos jūros kranto (paplūdimio) pločio dinamika 1993–2008 m. Kuršių nerijoje Smiltynės–Nidos atkarpoje (abscisės „0“ žyma – Klaipėdos uosto vartai); (Jarmalavičius et al., 2011) 13

6 pav. Lietuvos Baltijos jūros kranto (paplūdimio) pločio dinamika 1993–2008 m. žemyniniame krante Šventosios–Melnragės atkarpoje (abscisės „0“ žyma – valstybinė siena su Latvija) (Jarmalavičius et al., 2011) 13

7 pav. Kanto zonos tyrimai (pagal Nordstrom, Inman, 1975) 16

8 pav. Stacionarios (TLS) ir mobilios (ALS) LiDAR sistemos 17

9 pav. Skersinės kranto niveliacijos profiliai (KRABAS, 2011) 19

10 pav. Trimble R10 GNSS imtuvas su Trimble® TSC3 duomenų kaupikliu 20

11 pav. Žemyninio Lietuvos kranto probleminiai ruožai 21

12 pav. Trimble® TX8 lazerinis 3D skeneris (kairėje), kartu su Trimble R10 GNSS imtuvu bei Trimble® TSC3 duomenų kaupikliu 22

13 pav. Stočių išdėstymo schemos: zigzagais (a) ir viena paskui kitą (b) 23

14 pav. Skenavimo stotys išdėstytos Karklės (a) ir Melnragės (b) kranto ruože 24

15 pav. Kontroliniai taškai išdėstomi prieš darant skenavimą, matavimo stotyje. 24

16 pav. Visų stočių taškų debesys be registracijos koordinačių sistemoje 25

17 pav. Vienos stoties duomenų masyvo registarcija koordinačių sistemoje pagal kontrolinius taškus 25

18 pav. Koordinačių sistema suteikta dviems matavimo stotims 26

19 pav. Pirminis duomenų valymas Clipping Box Extraction įrankiu 26

20 pav. Naudojamas Ground Extraction įrankis, raudona spalva – taškai, kurie bus iškerpami 27

21 pav. Galutinai sutvarkytų duomenų fragmentas 27

22 pav. Pasirinkti trys atskaitos taškai 28

23 pav. Vėjų rožė 2019 04 01 – 11 30 laikotarpiu 30

24 pav. Bangos aukštis 2019 04 01 – 11 30 laikotarpiu 30

25 pav. Vandens lygis 2019 04 01 – 11 30 laikotarpiu 31

26 pav. Kuršių nerijos paplūdimio pločio dinamika 2011-2019 m (abscisės „0“ žyma – Klaipėdos uosto vartai) 32

28 pav. Kuršių nerijos paplūdimio pločio amplitudės svyravimai 2011-2019 m (abscisės „0“ žyma – Klaipėdos uosto vartai) 33

29 pav. Kuršių nerijos paplūdimio kopagūbrio aukščio dinamika 2011-2019 m (abscisės „0“ žyma – Klaipėdos uosto vartai) 34

30 pav. Žemyninio Lietuvos paplūdimio pločio dinamika 2011-2019 m (abscisės „0“ žyma – Klaipėdos uosto vartai) 35

31 pav. Lietuvos žemyninio paplūdimio pločio amplitudės svyravimai 2011-2019 m (abscisės „0“ žyma – Klaipėdos uosto vartai) 36

32 pav. Žemyninio Lietuvos paplūdimio kopagūbrio aukščio dinamika 2011-2019 m (abscisės „0“ žyma – Klaipėdos uosto vartai) 37

33 pav. 1 profilio palyginimas 2019 04 29 – 2019 11 08 laikotarpiu 38

34 pav. 2 profilio palyginimas 2019 04 29 – 2019 11 08 laikotarpiu 38

35 pav. 3 profilio palyginimas 2019 04 29 – 2019 11 08 laikotarpiu 39

36 pav. 4 profilio palyginimas 2019 04 29 – 2019 11 08 laikotarpiu 39

37 pav. 5 profilio palyginimas 2019 04 29 – 2019 11 08 laikotarpiu 40

38 pav. 6 profilio palyginimas 2019 04 29 – 2019 11 08 laikotarpiu 40

39 pav. 6 profilio palyginimas 2019 04 29 – 2019 11 08 laikotarpiu 41

40 pav. Smėlio tūrio pokytis Melnragės paplūdimio ruože 2019 08-11 mėn. 41

41 pav. Lyginamų profilių vieta 43

42 pav. 2 profilio palyginimas, taikant skersinės kranto niveliacijos metodą ir antžeminę lazerinę 3D skenavimo sistemą 43

43 pav. 3 profilio palyginimas, taikant skersinės kranto niveliacijos metodą ir antžeminę lazerinę 3D skenavimo sistemą 44

TURINYS

ĮVADAS ... 3
1. LITERATŪROS APŽVALGA ... 4
1.1 Kranto zonos tyrimai ... 4
1.2 Statistiniai metodai taikomi kranto zonos tyrimuose ... 5
1.3 Kranto zonos geomorfologija ... 6
1.4 Tyrimų objektas ... 10
1.5 Lietuvos kranto zonos monitoringo programa ... 13
2. TYRIMO METODAI IR MEDŽIAGA ... 16
2.1 Darbe naudota medžiaga ... 17
2.2 Skersinė kranto niveliacija ... 18
2.2.1 Techninių sąlygų įvertinimas atliekant skersinę kranto niveliaciją ... 19
2.2.2 Priminis duomenų apdorojimas ... 20
2.3 Antžeminis lazerinis 3D kranto ruožų skenavimas ... 21
2.3.1 Techninės prietaiso galimybės ... 22
2.3.2 Duomenų surinkimas ... 22
2.3.3 Pirminis duomenų apdorojimas ... 24
2.3.4 Antrinis duomenų apdorojimas: duomenų interpoliacija ... 28
2.4 Hidrometeorologinės sąlygos ... 29
3. REZULTATAI ... 32
3.1 Ilgalaikė Lietuvos kranto ruožo morfologinių parametrų kaita ... 32
3.2 Trumpalaikė probleminio paplūdimo zonos ruožo morfologinių parametrų kaita ... 37
3.3 Darbe naudotų metodų efektyvumo vertinimas ... 42
TYRIMŲ REZULTATŲ APTARIMAS ... 45
IŠVADOS ... 48
LITERATŪROS SĄRAŠAS ... 49
PRIEDAI ... 56

ĮVADAS

Ekonominiu požiūriu kranto zona nuo seno vaidina didelį vaidmenį gyvenviečių vystymuisi. Aktyviai keičiantis supančiai aplinkai upių žiotys sutvirtintos molais, pastatyti uostai, įrengtos drenažo sistemos, žemumos nuo jūros atitvertos pylimais, stabilizuoti ardomi krantai ir kt. (Albanese, 1991).

Lietuvos įjūris ir pajūris priskiriamas Vidurio Baltijos pietrytiniam sektoriui, kur krantai priklauso žemųjų išlygintųjų akumuliacinių morfogenetiniam krantų tipui (Gudelis, 1998). Dėl nuolat augančios uosto plėtros, didėjančios rekreacijos bei klimato kaitos, būtini detalūs kranto ruožo tyrimai, siekiant įvertinti galimą poveikio aplinkai mastą. Lietuvoje, tiek moksliniuose darbuose, tiek vykdant valstybinio monitoringo programą, šiems tyrimams atlikti naudojamas skersinės kranto niveliacijos metodas, tačiau užsienyje vis labiau populiarėja nuotoliniai tyrimų metodai. Mūsų šalyje šie metodai, labiau taikomi vandens telkinių biologinių parametrų ir ekologinių procesų tyrimams, inžinerinių objektų vertinimui ir kt., tačiau kranto tyrimas praktiškai nenaudoti.

Iki šiol Lietuvoje didesnis dėmesys buvo skiriamas Kuršių nerijos jūros kranto morfodinamikai ir tik labai mažas – žemyninei jūros kranto daliai, pagrinde analizuojant hidrotechninių įrenginių įtaką kranto geomorfodinamikai. Dėl pastarojo dešimtmečio žemyninio kranto stabilizavimo darbų, t. y. krantų maitinimo smėliu atskirose atkarpose, kas neabejotinai pakeitė priekrantės skersinio profilio parametrus, trūksta aiškaus vertinimo apie probleminius kranto ruožus bei apskritai tyrimų rezultatų apibendrinančių visą Lietuvos jūros kranto ruožo dinamiką. Nors Lietuvos kranto zona yra įtraukta į vyriausybės numatytą valstybinio aplinkos monitoringo programą, ataskaitose duomenys apie kranto būklę pateikiami abstrakčiai, be detalesnės analizės.

Šiame darbe siekiama atsižvelgti į metodus, kurie taikomi kranto tyrimams, galimybę juos apjungti į bendrą sistemą bei įvertinti alternatyvas, pagerinant darbų kokybę ir duomenų tikslumą. Siekiama, kad tiksliems inžineriniams skaičiavimams būtų naudojami aukštos kokybės duomenys.

Darbo tikslas: įvertinti taikomų metodų efektyvumą, analizuojant ilgalaikius ir trumpalaikius kranto ruožo geomorfologinių parametrų pokyčius.

Uždaviniai:

1. Įvertinti ilgalaikę Lietuvos jūrinio kranto morfologinių parametrų kaitą, remiantis skersinės kranto niveliacijos metodu;
2. Įvertinti trumpalaikius Lietuvos jūrinio probleminio kranto ruožo morfologinius pokyčius, analizuojant antžeminės lazerinės 3D skenavimo sistemos duomenis;
3. Palyginti skersinės kranto niveliacijos ir antžeminės lazerinės 3D skenavimo sistemos metodų efektyvumą ir pritaikymo galimybes.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

Jūros kranto zona yra sausumos ir jūros sąlyčio zona, šiandien suprantama kaip bendra gamtinė-socialinė-ekonominė sistema (Vallega, 1992; Clark, 1995; Cicin-Sain, Knecht, 1998). Remiantis Robertu E. Deanu (2002), viso pasaulio krantai yra panašūs savo sudėtimi ir forma, tad šios sistemos formavimosi, valdymo bei tvarkymo procesai ir principai mažai skiriasi tarpusavyje visame pasaulyje.

Siekiant užtikrinti šios sistemos darnų funkcionavimą, siūloma taikyti integruoto kranto zonos valdymo (IKZV) (Integrated Coastal Zone Management (ICZM)) principus (Vallega, 1992; Clark, 1995; Cicin-Sain, Knecht, 1998). Šie principai susideda iš teisinio ir institucinio bendradarbiavimo, reikalingo užtikrinti, kad pakrančių zonos plėtros ir valdymo planai būtų suderinti su aplinkos apsaugos (įskaitant socialinės aplinkos) tikslais (Post, Lundin, 1996).

Nemažiau svarbus „Krantotvarkos vadovas“ (*Coastal Engineering Manual (CEM)*), kuriame pateikiamos jūros kranto zonos metodų taikymo rekomendacijos daugumai sprendimų krantotvarkos klausimais (Pope, Lockhart, 2008). Pagrindinis CEM tikslas yra sukurti patikimą ilgalaikio-trumpalaikio pakrančių zonos vertinimo modelį (Dean, Dalrymple, 2002).

1.1 Kranto zonos tyrimai

Jūros kranto kaip vientisos kompleksinės sistemos tyrimai atliekami jau seniai (Davies, 1964). Pirmieji bandymai (Bascom, 1951) daugiau siejosi su krantų klasifikavimu remiantis geomorfologiniais požymiais ir dinamine aplinka. Bandant susieti atskirus kranto morfolitodinaminius rodiklius buvo atlikti pirmieji tyrimai, kuriuose analizuojama sąnašų dalelių dydžio ir kranto nuolydžio tarpusavio priklausomybė (McLean, Kirk, 1969; Dubois, 1972; Swart, 1991).

Australų mokslininkai Shortas ir Hespas (1982) skirtingus krantų tipus išskyrė, remiantis bangų energijos intensyvumu bei kranto zonos morfologinius elementus sujungiant į vientisą sistemą. Ši klasifikacija vėliau buvo tobulinama (Hesp, 1988; Short, 1988; Masselink, Short, 1993), tačiau pagrindiniu indikatoriumi išliko bangų energija – tai pagrindinis veiksnys, nulemiantis kranto morfolitologinius bruožus. Didesnės energijos (disipatyvūs) krantai pasižymi plačia sėklių zona, gausiomis smulkiagrūdžio smėlio atsargomis, lėkštu ir plačiu paplūdimiu, prie kurio šliejasi dinamiškai aktyvios aukštos prieškopės. Mažos energijos (reflektyvūs) krantai pasižymi menkai išreikšta sėklių zona su mažomis smėlio atsargomis, siauru ir stačiu paplūdimiu, kuriame vyrauja stambesnės frakcijos smėliai, bei žemomis ir dinamiškai neaktyviomis prieškopėmis (Jarmalavičius, 2012).

Dar vienas kranto, kaip vientisos geodinaminės sistemos modelis, buvo pasiūlytas amerikiečių mokslininko Psuty (1988). Savo darbe apie sąnašų biudžetą bei kopos/ paplūdimio sąveiką,

pagrindiniu krantodariniu veiksniu jis pasirinko sąnašų kiekį. Vėliau ši klasifikacija buvo dalinai papildyta (Sherman, Bauer, 1993) ir skyrė atskirus krantų tipus, priklausomai ar juos formuojantis sąnašų biudžetas yra teigiamas, ar neigiamas. Jų kombinacija skirtingos geodinaminės (transgresinės/regresinės) aplinkos krantuose sudarė klasifikavimo pagrindą (Jarmalavičius, 2012). Vėlesni tyrimai sisteminiu pagrindu iš esmės rėmėsi anksčiau nustatytais dėsningumais, tačiau didesnis dėmesys buvo skiriamas kranto dinamikos ir ją atspindinčių kranto morfometrinių rodiklių analizei (Saye, van der Wal ir kt., 2005).

Lietuvoje kranto zonos tyrimai pradėti vykdyti tik po Antrojo pasaulinio karo. Šiek tiek ankstesnių duomenų apie krantus buvo galima rasti senuose kartografiniuose darbuose, locijose, krantų aprašymuose, kurie susiję su uostais arba stiprių audrų padariniais (Červinskas, 1978). Vėliau, ieškant vietos naujo uosto statybai, Lietuvos priekrantę tyrinėjo prof. Šimoliūnas (1933, 1939).

Jau po Antrojo pasaulinio karo, Lietuvos geologijos ir geografijos institutas bei Vilniaus universiteto Gamtos mokslų fakultetas, vadovaujami prof. V. Gudelio, pradėjo sisteminius krantodaros procesų tyrimus. Matuoti plūsmo srauto greičiai, kranto povandeninio šlaito viršutinės dalies pokyčiai, bangų stebėjimai. To pasėkoje padarytos reikšmingos išvados apie pirmyneigio ir grįžtamojo srauto greičių priklausomybę nuo paskutinės sugožiančios bangos parametrų, vėjo krypties bei stiprumo, vandens infiltracijos į nuosėdas reikšmę krantodaros procesams (Janukonis, 1999). Pradėtas skirti didesnis dėmesys atskirų kranto morfolitologinių rodiklių tarpusavio priklausomybių (Jarmalavičius, Žilinskas, 1997; Jarmalavičius, 2000), taip pat atskirų kranto ruožų morfometrinių rodiklių ypatumų, priklausomai nuo nešmenų pernašos sėklių zonoje, tyrimams (Žaromskis, Gulbinskas, 2010).

Dabar Lietuvos Baltijos jūros kranto zonos tyrimai apima keletą krypčių: kranto linijos trumpalaikės ir ilgalaikės dinamikos (Žilinskas, 2005; Jarmalavičius ir kt., 2011; Bagdanavičiūtė ir kt., 2012; Jarmalavičius ir kt., 2014) analizę ir abrazinių bei akumuliacinių procesų modeliavimą (Mėžinė ir kt., 2013), visos kranto zonos morfologinių ir morfometrinių ypatybių, priklausomai nuo vyraujančio nešmenų pernašos proceso (Žaromskis, Gulbinskas, 2010), ar jų tarpusavio priklausomybės (Jarmalavičius, 2012) vertinimą ir priekrantės zonos reljefo bei jai būdingų procesų nagrinėjimą (Janušaitė, Jukna, 2017). Yra bandymų analizuoti ir morfodinaminius procesus povandeniniame šlaite (Gelumbauskaitė, 2003). Visi šie sukaupti tyrimai buvo papildyti fizinių procesų, skatinančių kranto zonos ardą, tokių kaip vandens lygio kilimas (Dailidienė ir kt., 2006) ir bangų rėžimas, analize (Kelpšaite ir kt., 2008, 2011; Kriaučiūnienė ir kt., 2006).

1.2 Statistiniai metodai taikomi kranto zonos tyrimuose

Statistiniai analizės metodai naudojami kranto zonos tyrimuose, leidžia išskirti pagrindinius rodiklius, kuriais remiantis, galima nusakyti kranto morfologijos kaitą (Jarmalavičius, 2012). Kranto

morfometrinių rodiklių tarpusavio priklausomybės, priklausomai nuo bangų energijos, leidžia interpretuoti kranto ypatumus (Short, Hesp, 1982).

Rodikliai, kurie reprezentuoja kranto zonos kaitą, atrenkami sudarant koreliacinę matricą ir skaičiuojant koreliacijos koeficientą tam, kad būtų galima nustatyti rodiklių junginius, turinčius geriausią tarpusavio ryšį. Analizuojami morfologiniai rodikliai gali apimti prieškopės absoliutų ir santykinį aukštį ir vakarinio šlaito nuolydį, paplūdimio aukštį, plotį ir nuolydį, sėklių zonos plotį, gylį, įjūriausio sėkliaus viršūnės gylį ir sėklių zonos nuolydį, priekrantės iki 15 m plotį ir nuolydį (Jarmalavičius, 2012). Taip pat nagrinėjami galimi litodinaminiai rodikliai, tokie kaip prieškopių šlaito, papėdės, paplūdimio vidurio, 1, 7 ir 10 m gylio sąnašų dalelių vidutinis skersmuo bei smulkiagrūdžio, vidutingrūdžio ir stambiagrūdžio smėlio dalies kiekis mėginiuose. Be šių rodiklių analizuojami ir kranto geodinamiką atspindintys – kranto linijos ir sąnašų kiekio krante pokytis (Jarmalavičius, 2012).

Dažniausiai visų nagrinėjamų rodiklių statistinės eilės yra standartizuojamos (Čekanavičius, Murauskas, 2000). Tai yra daroma patogumo dėlei, dėl labai skirtingų rodiklių reikšmių lyginimo bei dėl atsirandančių išskirčių ir anomalių ruožų identifikavimo (Jarmalavičiaus, 2014). Statistinio pobūdžio tyrimuose neretai naudojamos standartinės išskirčių ribos – duomuo, kurio *z* reikšmė patenka į intervalą tarp 2 ir 3, laikomas *sąlygine išskirtimi*, reikšmė didesnė už 3 – laikoma *išskirtimi*, kuri dažnais atvejais analizei nenaudojama (Čekanavičius, Murauskas, 2000).

Be koreliacijos koeficientų skaičiavimo yra atliekamos klasterinė (taikant vienetinės jungties ir Vordo metodą) ir faktorinė analizės. Remiantis klasterine analize, galima išskirti kranto ruožus su panašius bruožus turinčių rodiklių kompleksu, atlikus pirminę analizę neretai pastebima, kad daugelis rodiklių dubliuojasi vieni su kitais. Tačiau kalbant apie faktorinę analizę, didžiausia problema išskiriant faktorius yra ta, kad negalima tiksliai nusakyti kokie veiksniai juos suformuoja (Jarmalavičius, 2012).

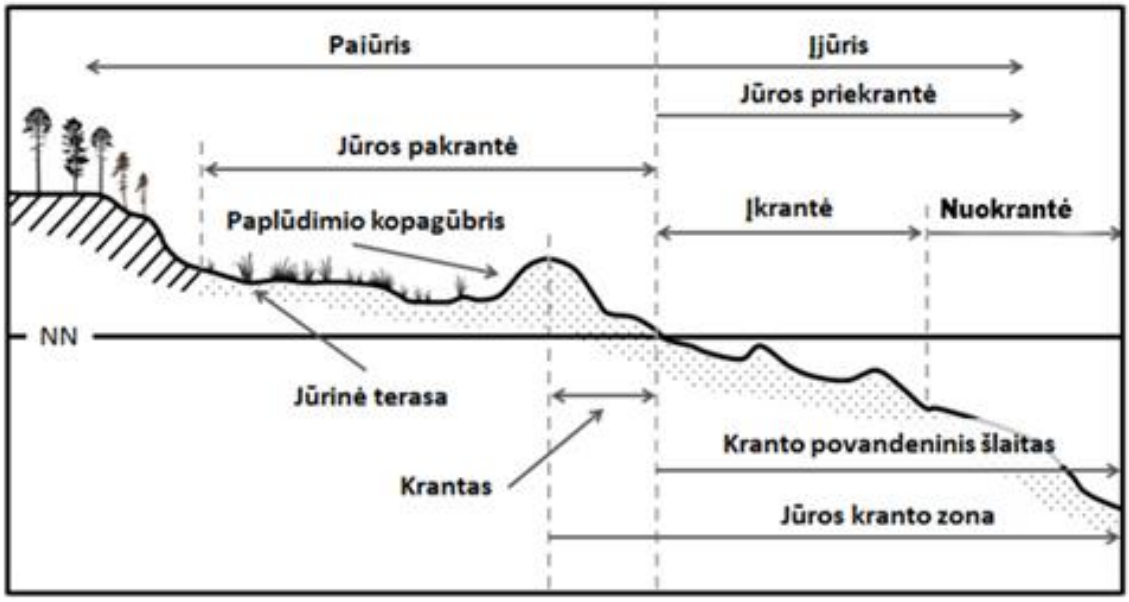
Nagrinėjant morfologinių, morfolitologinių rodiklių tarpusavio priklausomybes nustatyta, kad platesni paplūdimiai, didesnės smulkiagrūdžio smėlio atsargos, aukštesnės prieškopės (disipatyvūs krantai) atspindi akumuliacinę aplinką, o siauri paplūdimiai, formuojami stambiagrūdžio smėlio su žemomis priešokėmis (reflektyvūs krantai), atspindi vyraujančius ardos procesus krante (Saye ir kt. 2005).

Šių priklausomybių nagrinėjimas taip pat leidžia ne tik nustatyti rodiklių kaitą dinaminių procesų atžvilgiu, bet ir prognozuoti ilgalaikius pokyčius kranto zonoje, modeliuojant įvairius scenarijus (Dean, 2002).

1.3 Kranto zonos geomorfologija

Pagrindiniai veiksniai formuojantys jūros kranto kraštovaizdį yra paveldėti geomorfologiniai ypatumai (Riggs ir kt. 1995; Honeycutt ir kt., 2003), priekrantės hidrodinaminis rėžimas (Short, Hesp,

1982; Short, 1988; Guillén ir kt., 1999; Cooper, Navas, 2004) ir smėlio sudėtis bei kiekis (Carter ir kt., 1987; Healy, 1996; Storms ir kt., 2002; Thom, 1984). Priklausomai nuo šių veiksnių formuojasi būdingi atskiro kranto tipo morfologiniai elementai (1 pav.).



1 pav. Lietuvos pajūrio ir įjūrio morfografinė schema (Gudelis, 1993)

Pajūris apibrėžiamas kaip didesnio ar mažesnio pločio sausumos ruožas palei jūrą. Nors daugumai autorių pajūris suprantamas kaip sausumos ir net jūros dugno ruožas, kuriame aptinkama ankščiau buvusių tos ar kitos jūros stadijų nuosėdų ir reljefo formų (terasų), esančių šiuo metu virš dabartinio jūros lygio. Tuo tarpu įjūris – tai jūros ruožas ir šį ruožą atitinkantis dugnas iki 40 m gylio izobatos, kurį sudaro jūros priekrantė (Gudelis, 1993; 1998).

Kalbant apie jūros kranto zoną - tai dinamiškiausia zona, jungianti pajūrį su priekrante (įjūriu), kuri susideda iš dalies pajūrio (kranto) bei įjūrio (kranto povandeninio šlaito) (Gudelis, 1998). Ši zona yra pokyčiams jautri aplinka, kurios gamtinė raida daro didelę ekonominę ir socialinę įtaką tų krantų populiacijai (Bagdanavičiūtė, Kelpšaitė, Daunys, 2012).

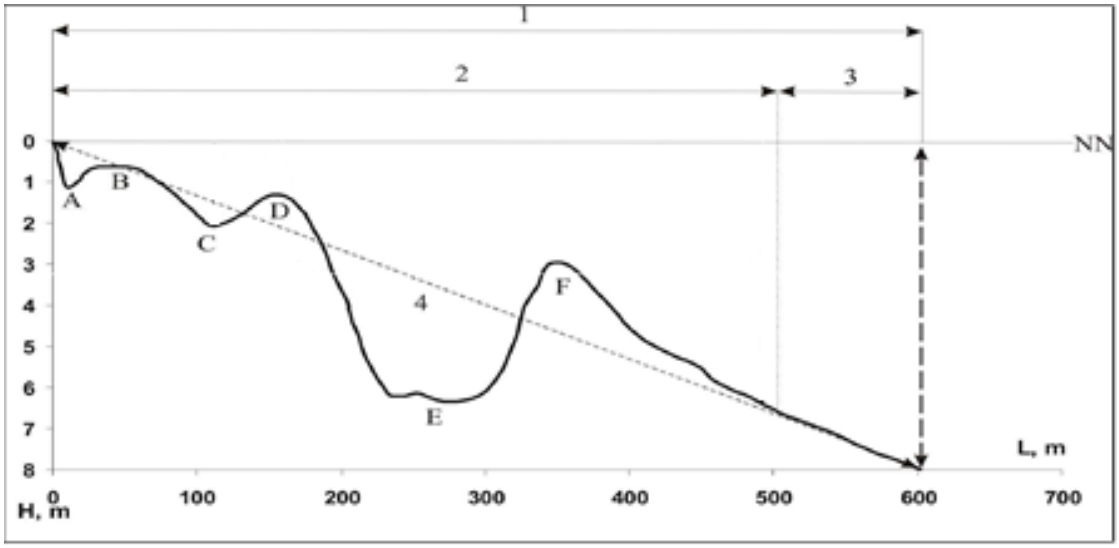
Jūros kranto, kartu ir kranto zonos riba sausumoje dažniausiai laikoma vieta, kurią pasiekia didžiausios krantą užliejančios bangos (Žaromskis, Gulbinskas, 2018). Taigi krantas yra pakrantės dalis, kuri apima sausumos ruožą tarp dinamiškos kranto linijos ir paplūdimio kopų papėdės arba kranto skardžio apačios, tad jį ir sudaro paplūdimys ir paplūdimio arba kranto kopos, o kitur – kranto skardžiai, pakopos (Gudelis, 1998).

Kopa dažniausiai apibūdinama kaip supustyta smėlio kalva arba kauburys (Gudelis, 1993). Tokių kopų visuma išilgai jūros paplūdimio, sudaro apsauginį paplūdimio kopagūbrį (APK) (Gudelis, 1998). Šiame kopagūbryje susikaupęs smėlis labai reikalingas tam, kad atsistatytų paplūdimiai, netenkantys didelio sąnašų kiekio per stiprias audras. Tad apsauginis paplūdimio kopagūbris iš esmės atlieka krantosauginę funkciją (Jarmalavičius ir kt., 2003).

Kranto linija apibrėžiama kaip fizinė riba tarp sausumos ir vandens. Jos padėtis yra vienas svarbiausių indikatorių, žyminčių krantų aplinkos kaitą, taip pat ir paplūdimių persitvarkymo ypatumus istoriniame laike (Bagdanavičiūtė, Kelpšaitė, Daunys, 2012).

Skersiniame paplūdimio profilyje atsiranda dar vienas morfologinis elementas - berma. Jos išreikštos kaip horizontalios paplūdimio profilio dalys su stačiais šlaitais, esančios tarp apsauginio kopagūbrio bei kranto linijos. Bermos susiformuoja esant ekstremaliam vandens lygio pakilimui, daugiausia didelių štormų metu (Dean, 2002).

Kranto zonos jūrinei daliai apibrėžti vartojami terminai – priekrantė, kuri dar skirstoma į įkrantę (sėklių zoną) bei nuokrantę, ir kranto povandeninis šlaitas (2 pav.) (Žaromskis, Gulbinskas, 2018). Priekrantė savo ruožtu vadinama jūros akvatorija ir jos dugno dalis nuo kranto iki tos gilumos, kurioje bangos bei priedugninės vandens srovės dar aktyviai veikia jūros dugną, čia iki 20-25 m izobatos intensyviai juda jūros nešmenys, kurie sudaro būdingas dugno reljefo formas (Gudelis, 1998). Kranto povandeninis šlaitas apibrėžiamas kaip įjūriau kranto linijos esanti dugno dalis, kurios paviršių nuolat ir intensyviai veikia bangos bei jų sukeltos srovės (Žaromskis, Gulbinskas, 2018).

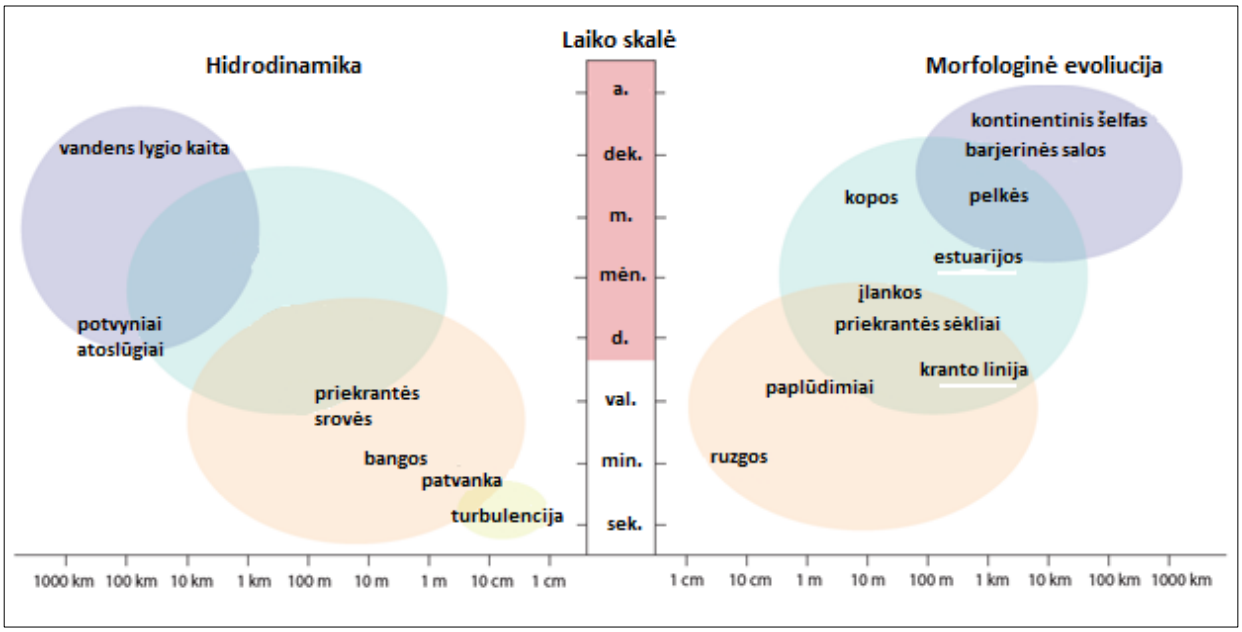


2 pav. Kranto povandeninio šlaito schema. 1 – kranto povandeninis šlaitas (priekrantė), 2 – įkrantė (sėklių zona), 3 – nuokrantė, 4 –priekrantės nuolydis. A,C,E – tarpsėkliai, B,D,F – sėkliai (B – priekrantinis, F – įjūrinis) (Žilinskas, Jarmalavičius, 2007)

Įkrantėje susidarę sėkliai vaidina didelį vaidmenį krantodaros procesuose. Tai išilgai kranto ištįsusių povandeninių smėlio gūbrių struktūros, formuojamos bangų bei priekrantės srovių ir atsirandančios atvirų ar pusiau uždarų jūrų, vandenynų ar didelių ežerų krantuose, kur yra pakankamai smėlio atsargų ir dominuoja bangų veikla (Brander, 2004; Bird, 2008; Pape, Ruessink, 2008; Ruessink ir kt., 2013; Price ir kt., 2014). Audrų metu sėkliai silpnina hidrodinaminių procesų plūsmo zonoje intensyvumą, kas lemia mažesnę paplūdimio ir kopų ardą, taip pat mažina ekonominius nuostolius kranto zonoje (Price ir kt., 2014; Fernandez-Mora ir kt., 2015; Dubarbier ir kt., 2015).

Vis šie elementai keičiasi laike ir erdvėje, priklausomai nuo hidrometeorologinių, hidrodinaminių sąlygų bei žmogaus ūkinės veiklos (Elko, Feddersen, Foster ir kt., 2014). Paplūdimio plotis, paplūdimio nuolydis, kopagūbrio santykinis aukštis bei esančio smėlio kiekis, geriausiai apibūdina šiuos geomorfologinius ypatumus skirtinguose kranto ruožuose (Žilinskas ir kt., 2001, Jarmalavičius ir kt. 2014). Šie rodikliai yra tarpusavyje glaudžiai susiję ir sudaro vieningą sistemą, todėl pakitus bent vienam iš jų (paplūdimio plotis, aukštis) kinta ir likusieji (apsauginio paplūdimio kopagūbrio (APK) aukštis ir plotis) (Žilinskas ir kt., 2001). Pavyzdžiui, paplūdimio plotis yra glaudžiai susijęs su paplūdimio nuolydžiu, todėl pastarojo kaitoje išilgai kranto pastebimos panašios tendencijos (Jarmalavičius ir kt. 2014). Išanalizavus šių rodiklių kaitą, galima stebėti, spręsti ir prognozuoti kranto būklę, sudarant prielaidas apie hidrodinaminius, litodinaminius ir eolinius procesus (Jarmalavičius ir kt., 2003).

Natūralūs ilgalaikiai (10–1000 metų) kranto zonos pokyčiai atsiranda dėl nuolatinių trumpalaikių procesų, įskaitant audrų sukeliamas paviršiaus bangas ir vandens lygį, dėl kurių nuolatinio poveikio krantai vis labiau tampa ardomi (3 pav.) (Stive ir kt., 1990). Taip pat ilgalaikius kranto zonos pokyčius apsprendžia ir nešmenų kiekis bei geologinė kranto sandara (Stive ir kt. 2002). Štai dinaminė kranto linija gali kisti kas keliasdešimt sekundžių, o apsauginio paplūdimio kopagūbrio (AP) regeneracijos (atsistatymo) procesai labai lėti – trunka nuo kelių iki keliolikos metų (nors jo ardymas gali įvykti per vieną ar kelias paras), todėl vizualiai dažniausiai nepastebimi (Jarmalavičius ir kt., 2003).



3 pav. Kranto zonos elementų kaita laike ir erdvėje priklausomai nuo hidrodinaminių sąlygų (Stive ir kt. 2002)

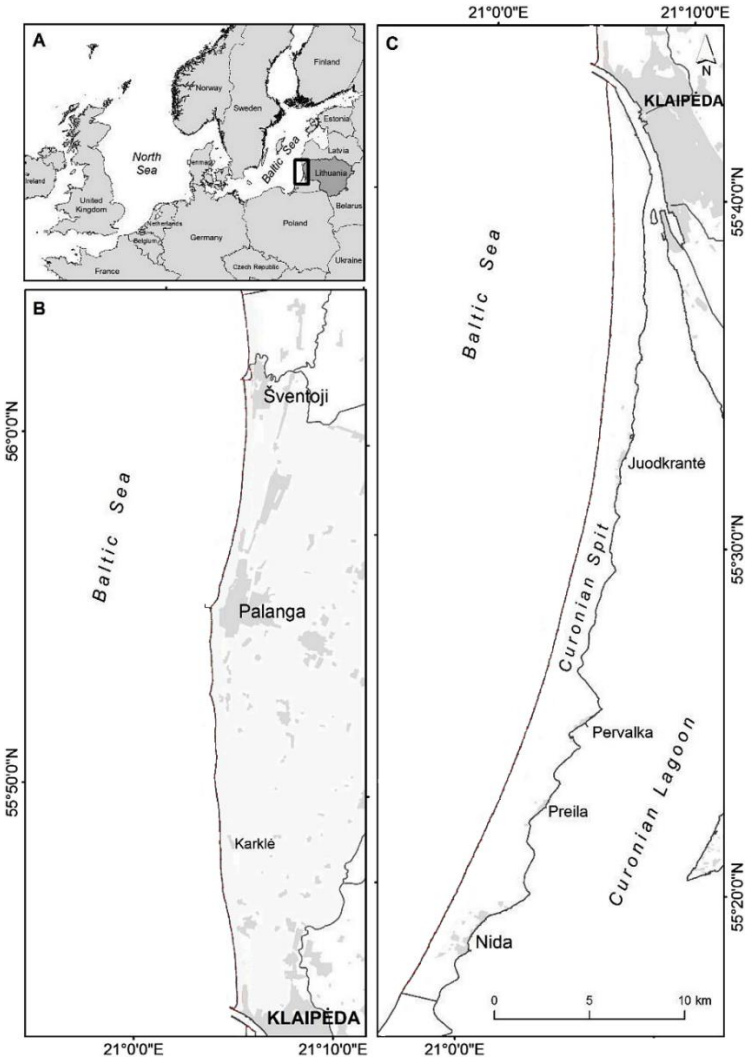
Taigi, apie dinaminę kranto būklę tam tikru mastu galima spręsti iš kranto morfometrinių rodiklių: platūs paplūdimiai, aukštos prieškopės, besivystančios embrioninės kopos gali būti

akumuliacinio kranto požymiai. O siauri paplūdimiai su žemomis, menkai išsivysčiusiomis prieškopėmis gali būti regresinio arba stabilaus kranto požymiai (Jarmalavičius, 2012).

Egzistuojantys koreliaciniai ryšiai tarp priekrantės ir sausuminės kranto dalies sudėtingi, priklauso nuo vėjo krypties, bangavimo stiprumo, kranto linijos konfigūracijos, užsėklinio šlaito ilgio ir statumo bei sėklių zonos pločio (Leeder, 1999). Pagrindinis indikatorius, lemiantis krantų dinaminę būklę, – tai daugelį metų vykdomas sąnašų kiekio pokyčių Qm3/m krante skaičiavimas (J. Dubra, 2008; Žilinskas, 2008).

1.4 Tyrimų objektas

Darbe analizuojamas Baltijos jūros Lietuvos kranto ruožas, nuo Lietuvos-Rusijos pasienio iki Latvijos sienos (4 pav.). Lietuvos jūros krantus daugelis autorių, taip pat ir V. Gudelis, skiria į dvi genetiškai skirtingas atkarpas: akumuliacinę Kuršių nerijos ir žemyninio kranto (Гуделис, Януконис, 1977; Žaromskis, 2008). Nors V. Gudelis žemyninę Lietuvos kranto atkarpą priskiria abrazinei išlygintajai atkarpai, tačiau čia kaitaliojasi gana skirtingos genezės ir skirtingų morfologinių tipų kranto ruožai (Žaromskis, Gulbinskas, 2018).



4 pav. Tyrimų vieta

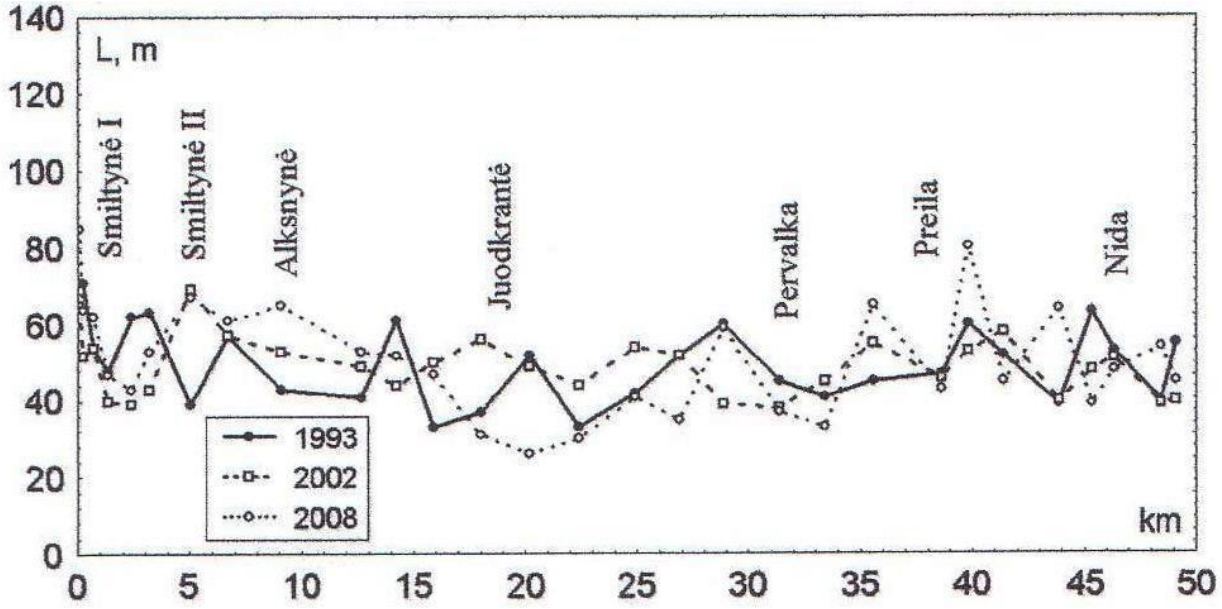
Kranto zona – pakrantė ir priekrantė – yra Baltijos duburio geosistemos dalis (Gelumbauskaitė, 2014). Čia Lietuvos krantai driekiasi 90,6 km, iš jų Kuršių nerijai tenka apie 51 km, žemyniniam krantui apie 39 km, o atstumas tarp Klaipėdos sąsiaurio krantų sudaro 1,14 km (Žilinskas, 1997). Kuršių nerijos kranto zona formavosi kartu su barjeriniu pusiasaliu kaip siaura, laipsniškai į šiaurę priauganti akumuliacinė forma, skirianti Kuršių marių estuariją nuo atviros jūros (Gelumbauskaitė, 2014). Čia daugeles autorių skiria dvi dideles litodinamines atkarpas: dinaminės pusiausvyros (prasidėjusi Rusijoje, baigiasi kiek šiauriau Juodkrantės) (Кирлис, 1974; Кирлис, Мочекене, Януконис, 1981; Janukonis, 1994) bei nešmenų akumuliacijos, kuri užima visą likusį krantą, išskyrus 200-300 m atkarpą, esančią prie pat Klaipėdos uosto molo, kur šiuo metu vyksta aktyvūs abraziniai procesai (Žaromskis, Gulbinskas, 2018). Šioje litodinaminių atkarpų sandūroje Juodkrantės-Alksnynės kranto ruožas daugelio mokslininkų požiūriu, yra pereinamoji grandis tarp tranzitinio ir akumuliacinio kranto atkarpų (Гуделис, Кирлис, Мочекене, 1977; Žaromskis, 1999).

Per visą Kuršių neriją driekiasi 30–150 m pločio apsauginis paplūdimio kopagūbris (APK), kurio santykinis aukštis 4–12 m, ir gerai išreikštas vidutiniškai 50 m pločio paplūdimys (Gelumbauskaitė, 2014; Žaromskis, Gulbinskas, 2018). Ties Nida APK viršūnė būna iškilusi 5–7 m virš paplūdimio ir apie 10 m virš jūros lygio, be to, čia vakarinis, periodiškai ardomas kopagūbrio šlaitas gana stačiai leidžiasi paplūdimio link (Žilinskas, Jarmalavičius, Minkevičius, 2001). Einant šiaurės kryptimi link Preilos, kopagūbris tampa masyvesnis, nors ir kiek žemesnis negu Nidoje (viršūnė virš jūros lygio 7–9 m). Dar toliau į šiaurę, ties Preila, APK viršūnė tampa dvigūbriška, o paplūdimys susiaurėja iki 30–40 m ir ima vėl platėti tik šiauriau Pervalkos (Žaromskis, Gulbinskas, 2018). Ties Juodkrante pastebimas stačiašlaitis paplūdimys ir 4–7 m santykinio aukščio kopagūbris, vietomis suskaidytas eolinėmis daubomis, kurio aukštis ties rekreacine zona siekia 11 m (Žaromskis, 2007), o einant toliau į šiurę jis tampa masyvesnis ir kupoliškesnis (Žilinskas, Jarmalavičius, Minkevičius 2001). Čia paplūdimio plotis kinta nuo 20 m pietiniuose kranto ruožuose ir iki 40–50 m šiauriniuose (Žaromskis, Gulbinskas, 2018). Sudėtingiausias Kuršių nerijos ruožas skaitomas nuo Smiltynės iki Kopgalio. Dėl ilgametės uosto plėtros, molų pastatymo ir jų rekonstrukcijos iš esmės pakito visi paplūdimio parametrai, naujoje vietoje buvos suformuotas apsauginis paplūdimio kopagūbris (Žilinskas, 1998). Tačiau pagal atsistatymo greitį ir morfologinius ypatumus, šis kranto ruožas priskiriamas nešmenų akumuliacijos atkarpai (Žilinskas, 1998; Bagdonavičiūtė ir kt., 2012), ką patvirtina platus 50–60 m paplūdimys ir 10–12 m aukščio dviejų gūbrių kopagūbris (Žilinskas ir kt., 2001). Kiek kitokia situacija ties Kopgaliu, čia prie pat molo smarkių audrų ardomame paplūdimyje ties kopagūbrio papėde atsidengia XX a. pirmoje pusėje sudėti akmenys, kranto linija traukiasi į rytus, intensyviai ardomas ir kopagūbris (Žilinskas ir kt., 2000; Žilinskas ir kt., 2005).

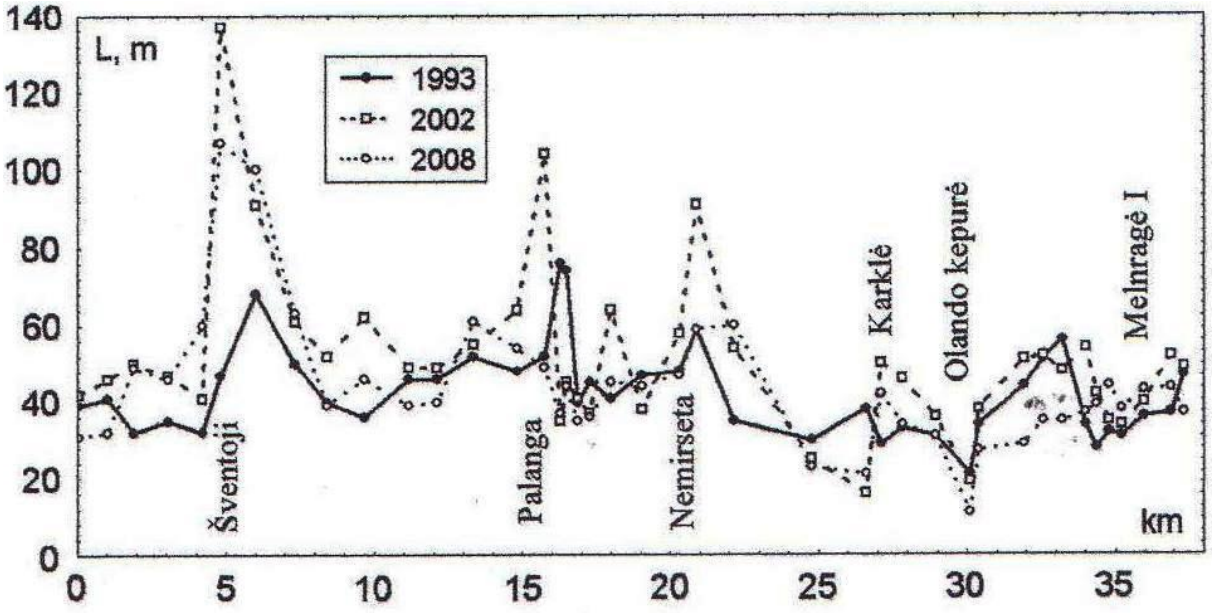
Skirtingai nuo genetiškai ir morfologiškai monotoniško Kuršių nerijos kranto, žemyninis Lietuvos krantas daug įvairesnis savo geologine sandara, litodinaminėmis ypatybėmis,

antropogeninio poveikio mastu bei krantotvarkos procesais (Bitinas ir kt., 2005). Didžiausią uosto poveikį patiria šalia jo esantis I Melnragės krantas, o tolstant į Šiaurę, II Melnragės ir Girulių kranto ruože, uosto poveikis laipsniškai mažėja (Žaromskis, 1994; Gulbinskas, 1999; Žilinskas ir kt., 2003; Tonisson ir kt. 2013; Žaromskis, Gulbinskas, 2018). Po tai, kai buvo pastatytas Klaipėdos uosto šiaurinis molas, šioje atkarpoje nustatyta, kad krantas į jūros pusę pasitraukė apie 530 m (Žaromskis, 2008), tačiau dar statant šiaurinį molą (1867 m), į šiaurę nuo jo pradėjo formuotis išplovimo įlanka, kur pastebimi intensyvesni ardos procesai (Žaromskis, 1994). Visgi, I-oje Melnragėje paplūdimiai išliko aukšti, o paplūdimio plotis gali kisti labai plačiuose ribose iki 30-50 m, o einant šiaurės kryptimi, link Girulių, paplūdimio plotis laipsniškai didėja (Žaromskis, Gulbinskas, 2018). Sudėtinga geologine sandara išsiskiria Olando Kepurės – Karklės kranto zonos dalis (Bitinis, 1997; Gelumbauskaitė, Šečkus, 2005). Ties Olando kepure 15–20 m pločio paplūdimys remiasi į moreninį, vietomis daugiau kaip 20 m virš jūros lygio iškylantį klifą. Einant toliau į šiaurę, paplūdimys platėja, kranto klifas žemėja laipsniškai pereidamas į apsauginį paplūdimio kopagūbrį, kur ties Karkle paplūdimio plotis kinta nuo 20 iki 30 m, vėliau paplatėdamas iki 35–45 m (Žaromskis, Gulbinskas, 2018). Šiauriau, paplūdimio kopagūbrį vėl keičia 2–8 m aukščio moreninis klifas (Žilinskas, Jarmalavičius, 2003). Į šiaurę link Nemirsetos, paplūdimiai santykinai žemi, bet platūs, daugiau kaip 40 m, o kopagūbrio aukštis siekia 4–7 m (Žilinskas ir kt., 2001). Kalbant apie Palangos paplūdimio ruožą nuo Nemirsetos kyšulio iki Ošupio upelio, dėl poilsiautojų skaičiaus bei taikomų krantotvarkos priemonių, promenadinio tilto ir pirso, čia pastebima didžiulė kranto apkrova. Šis ruožas išsiskiria žemais paplūdimiais, kur pagrindinės smėlio atsargos yra susikaupusios kopagūbryje ir tik labai maža dalis povandeniniame šlaite, todėl esamoms stiprioms audroms ypač nuardoma kranto dalis esanti šiauriau Palangos tilto (Кирлис ir kt., 1974; Gulbinskas ir kt. 2009). Artėjant link Šventosios, krantas įgyja visus akumuliacinio tipo bruožus, čia paplūdimio plotis siekia 60 m, o prie pat Šventosios uosto molo fiksuojamas iki 90 m plotis. Kopagūbris išsiskiria savo masyvia forma ir iškyla virš paplūdimio 4–6 m (Žaromskis, Gulbinskas, 2018).

Remiantis morfometrinių indikatorių matavimais, atliktais 1993–2008 m., galima būtų teigti, kad paplūdimio plotis Kuršių nerijoje yra stabilesnis negu žemyniniame krante (Jarmalavičius et al., 2011). Čia jis kinta tarp 40–60 m (4 pav.), kai tuo tarpu svyravimo amplitudė ties Palanga siekia nuo 40 iki 110 m, o paplūdimio plotis ties Šventąja svyruoja nuo 40 iki 140 m (6 pav.) (Gelumbauskaitė, 2014).



5 pav. Lietuvos Baltijos jūros kranto (paplūdimio) pločio dinamika 1993–2008 m. Kuršių nerijoje Smiltynės–Nidos atkarpoje (abscisės „0“ žyma – Klaipėdos uosto vartai) (Jarmalavičius et al., 2011)



6 pav. Lietuvos Baltijos jūros kranto (paplūdimio) pločio dinamika 1993–2008 m. žemyniniame krante Šventosios–Melnragės atkarpoje (abscisės „0“ žyma – valstybinė siena su Latvija) (Jarmalavičius et al., 2011)

1.5 Lietuvos kranto zonos monitoringo programa

1997 m. lapkričio 20 d. Lietuvoje priimtas Aplinkos monitoringo įstatymas, kuris nustato monitoringo organizacinę struktūrą, vykdymo tvarką ir su tuo susijusią atsakomybę. Jis taikomas aplinkos monitoringui, kuris yra apibrėžtas Aplinkos apsaugos ir Žemės gelmių įstatymuose. Pagal šį teisės dokumentą rengiamos valstybinio aplinkos monitoringo programos, pagal kurias kiekvienais

metais numatomi monitoringo planai atskirai sričiai (Lietuvos Respublikos Seimas. 1997 lapkričio 20d., Lietuvos Respublikos aplinkos monitoringo įstatymas. Nr. VIII-529.,Vilnius).

Nors kasmetinis krantų monitoringas Lietuvoje vykdomas nuo 1992 metų, per pastaruosius metus įvyko nemažai pokyčių tiek pačiose programose, tiek krantų pokyčių monitoringo planuose. 2006-2007 metais krantų pokyčių monitoringo planas lyginant su šių metų, buvo labai paprastas ir primityvus. Tačiau 2008 metais po 2005 m. vasario 7 d. nutarimo Nr. 130 „Dėl Valstybinės aplinkos monitoringo 2005-2010 metų programos patvirtinimo“ pakeitimo, stebėjimų vietos išskiriamos rekreacinėmis zonomis arba saugomomis teritorijomis, atsiranda tikslios pakrantės ir priekrantės zonos profilių koordinatės, aiškiai apibrėžtas stebėjimo vietų skaičius, stebėjimų dažnumas/ periodiškumas atskiriems stebėjimų parametrams ir grupėms. 2015 metais į krantų pokyčių monitoringo planą įtraukiami papildomi 3 profiliai Palangos rekreacinės zonos priekrantėje ir iki 2019 metų profilių skaičius ir vieta nepakito.

Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2018 m. spalio 5 d. nutarimu Nr. 996 patvirtinta Valstybinės aplinkos monitoringo 2018-2023 metų programa. Lyginant su prieš tai buvusia programa, krantų pokyčių monitoringas tapo labiau koncentruotas į stebėjimų parametrų ir grupių (kriterijų) dažnumą/ periodiškumą. Pagal programos nuostatus, vandens lygis ir bangavimas žemyno jūrinėje pakrantėje stebimas ne mažiau kaip 2-se stebėjimo vietose (Klaipėdos sąsiauris – uosto vartai, Palangos tiltas), bangavimo elementai – ne mažiau kaip 2-se stebėjimo vietose (ties Klaipėda ir ties Palanga), Kuršių marių vakarinė ir rytinė pakrantė: ne mažiau kaip 2-se stebėjimo vietose (Nida, Ventė) – ryto ir vakaro vandens lygio ir bangos parametrai (nustatomi pagal hidrometeorologinių postų stebėjimų ir matavimų planą) yra analizuojami dvi dienas prieš atliekant krantų matavimus. Vėjo kryptis, greitis, oro temperatūra žemyno jūrinėje pakrantėje stebimi ties Klaipėda – ryto ir vakaro meteorologiniai parametrai (nustatomi pagal hidrometeorologinių postų stebėjimų ir matavimų planą) yra analizuojami dvi dienas prieš atliekant krantų matavimus. Grunto granuliometrinės sudėties tyrimai atliekami intensyviausiai lankomuose paplūdimiuose ir intensyviai ardomose kranto zonose, 1 kartą per 3 metus krantų matavimo profiliuose, paplūdimio viduryje ir apsauginio paplūdimio kopagūbrio papėdėje, taip pat paplūdimio maitinimo smėliu vietose (prieš maitinimą ir po maitinimo) ir po stiprių audrų ar uraganų. Paplūdimių ir krantų ardos ar sąnašavimo pokyčiai įvertinami išilgai jūros ir marių krantų pokyčių monitoringo plane nustatytuose profiliuose (viso 196 profiliai) 1 kartą per metus pavasarį (balandžio–gegužės mėn.) ir rudenį (po rekreacinio sezono pabaigos) prie vandens lygio ne didesnio nei ±10 cm Baltijos aukščių sistemoje ir bangos aukščio ne didesnio nei 1 m ir pakartotinai po stiprių audrų ar uraganų. Batimetriniai matavimai taip pat atliekami planuose nustatytuose profiliuose (viso 15 profilių) kartą per metus (ir po uraganų), iki 20 m gylio izobatos, paplūdimio maitinimo smėliu vietose atliekami matavimai prieš maitinimą ir po jo. 2019 metų monitoringo programos plane detaliau apibrėžti stebimi parametrai ir matavimo

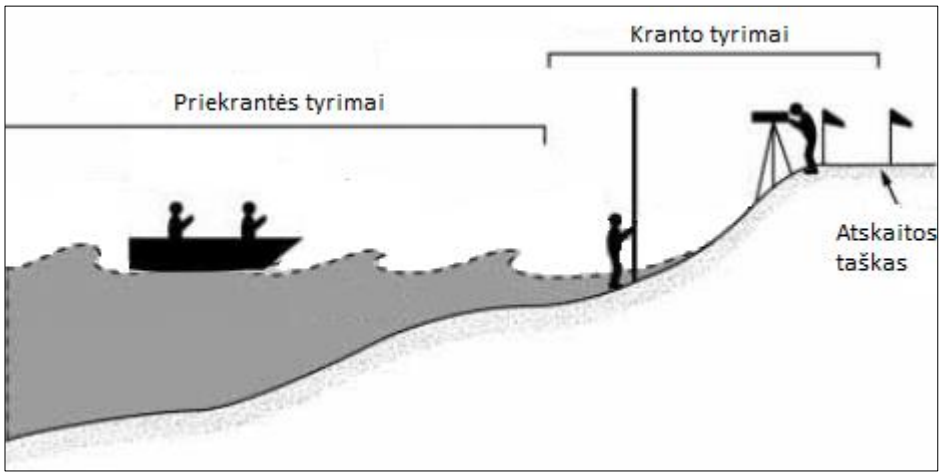
vienetai. Hidrometeorologinių parametrų stebėjimai ir matavimai naudojami remiantis Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos (LHMT) meteorologijos stotyse ir pakrantės postuose atliekamais hidrometeorologiniais stebėjimais/matavimais. Atliekami grunto granuliometrinės sudėties tyrimai (procentais) intensyviausiai lankomuose paplūdimiuose ir intensyviai ardomuose kranto zonose atliekant vizualinį grunto sudėties vertinimą pagal 15 skirtingų gruntų sąrašą. Paplūdimio papėdės pakilimas virš jūros vidutinio lygio (m), paplūdimio plotis (m), šlaito ilgis (m), šlaito aukštis nuo papėdės (m), kopagūbrio ar kranto nuardymas ar priauginimas matuojamas statmenai jūros kranto linijai iki 20 m gylio izobatos. Apsauginio paplūdimio kopagūbrio apaugimas (procentais) vertinamas pagal augalų rūšių sąrašą.

2003 ir 2007 metais įgyvendintos krantotvarkos programos, siekiant užtikrinti rekreacinių zonų, ypač Palangos kurorto rekreacinės zonos, poreikius. 2014 m. balandžio 16 d. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymu Nr. D1-360 patvirtinta pajūrio juostos tvarkymo programa 2014–2020 m. Šioje krantotvarkos programoje žemyno krante išskirti trys prioritetiniai krantotvarkos ruožai: Palangos rekreacinė zona (nuo Kunigiškių iki Birutės kalno), Klaipėdos rekreacinė zona (nuo Girulių iki Klaipėdos uosto šiaurinio molo) ir Šventosios uosto – sienos su Latvija kranto ruožas. Kuršių nerijos krante prioritetiniams krantotvarkos ruožams priskiriamos visos rekreacinės zonos, išskyrus Alksnynę.

Lietuvoje taip pat 2009–2011 metais, buvo vykdomas Lietuvos Baltijos jūros krantų pažeidžiamumo vertinimas (projektas KRABAS, 2011). Šio vertinimo metu, nustatyti labiausiai pažeisti Lietuvos krantai. 2014 metais atlikta ir Baltijos jūros krantų erozijos problemų analizė bei įvertinti sprendimo būdai.

2. TYRIMO METODAI IR MEDŽIAGA

Įprastai kranto zonos tyrimai susideda iš dviejų atskirų ruožų – priekrantės ir pakrantės t.y., kranto ruožų tyrimų (7 pav.) (Inman, Rusnak, 1956). Vienas pagrindinių ir plačiausiai naudojamų metodų norint įvertinti kranto zonos kaitą yra skersinė kranto niveliacija. Profiliai neretai tęsiasi nuo paplūdimio kopos iki priekrantės povandeninio šlaito vietos, kur dugnas iš esmės nesikeičia laiko atžvilgiu (Dean, 2002).



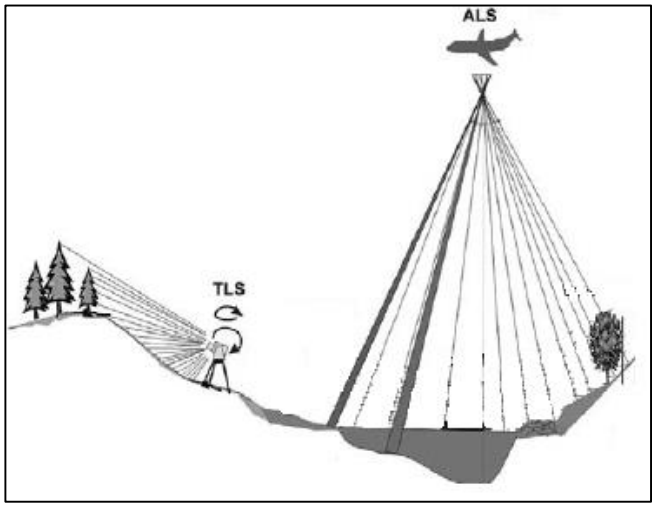
7 pav. Kranto zonos tyrimai (pagal Nordstrom, Inman 1975)

Lietuvos geologijos ir geografijos institutas bei Vilniaus universiteto Gamtos mokslų fakultetas, vadovaujami prof. V. Gudelio, po Antrojo pasaulinio karo kranto zonos tyrimams pradėjo naudoti skersinės niveliacijos metodus. Tuomet, naudota elementariausia įranga: matuoklė, nivelyras, ruletė, chronometras, padėjo atskleisti kranto zonos ypatumus bei suprasti vykstančius geomorfologinius, geolitologinius ir geodinaminius procesus bei pokyčius ir jų sąveiką tarpusavyje (Janukonis, 1999).

Tokie Lietuvos mokslininkai kaip Z. Janukonis, D. Jarmalavičius, D. Pupienis, G. Žilinskas, R. Žaromskis, S. Gulbinskas, L. Kelpšaitė – Rimkienė, I. Bagdanavičiūtė ir kt., savo darbuose ir tyrimuose naudojo duomenis, surinktus būtent skersinės kranto niveliacijos metodu. Šiuo metodu nustatoma kranto linijos padėtis, paplūdimio plotis bei nuolydis ir jame esančio smėlio kiekis (skersiniame profilyje imant smėlio mėginius), kopagūbrio santykinis ir absoliutus aukščiai, vakarinio šlaito nuolydis bei kopagūbrio smėlio kiekis. Taip pat labai patogu, įvertinti šių rodiklių pokyčius laiko atžvilgiu (Jarmalavičius, 2014). Tačiau, smėlio tūrio pokytis vertinamas tik atskiruose profiliuose, nes dėl sąlyginai didelio atstumo tarp jų, gali susidaryti nemažos paklaidos išilgai profilių (Dean, 2002).

Tad išteklių valdymui ir planavimui vis dažniau yra naudojama kiekybinė aukštos skiriamosios gebos informacija apie pakrančių reljefą. Tikslūs pakrančių topografiniai duomenys padeda žemėtvarkininkams ir inžinieriams įvertinti tiriamų ruožų geomorfologines savybes,

planuojant inžinerinius statinius, paplūdimio atstatymo darbus po audrų, hidrotechninių įrenginių eksploataciją ir kt. (Liu, Sherman, Gu, 2007). Tokiems darbams atlikti dažnai naudojamos nuotoliniais tyrimų metodais pagrįstos 3D lazerinės skenavimo (zondavimo) sistemos, geriau žinomos kaip LiDAR (*light detection and ranging*), kurios gali būti mobilios (*Aerial*) – lazerinės sistemos montuojamos ant automobilių, laivų ar orlaivių, bei stacionarios (*terrestrial (ground-based)*) – tai antžeminiai lazeriniai 3D skeneriai (8 pav.) (Brock, Purkis, 2009). Mobilios LiDAR sistemos yra labai brangios, lyginant su stacionariomis. Be to, joms reikalingi papildomi GPS/GNNS imtuvai, judesio sensoriai, altimetrai ir kt. Skenuojant lazeriu gaunama netolygi labai tanki taškinė trijų dimensijų (x, y, z) Žemės paviršiaus geometrinė ir radiometrinė informacija – taškų debesis (*point cloud*) (Медведев, 2006).



8 pav. Stacionarios (TLS) ir mobilios (ALS) LiDAR sistemos

Vis dažniau kranto zonos tyrimams yra naudojami ir fotogrametriniai metodai (Sesil, 2010). Naudojant didelės skiriamosios gebos palydovinius vaizdus, galima gauti informaciją apie kranto linijos, paplūdimio pločio, stiprių audrų, antropogeninės apkrovos ir kt. ilgalaikius ar trumpalaikius kranto ruožo pokyčius (Weng, 2002; Chen, 2002; Shaghude ir kt., 2003; Alesheikh ir kt., 2004; Siddiqui ir Maajid, 2004; Ayad, 2005; Kuleli, 2005; Muttitanon ir Tripathi, 2005; Vanderstraete ir kt., 2006; Ekercinas, 2007; Wu, 2007; Zhang ir kt., 2007; Bayram ir kt., 2008; Ghanavati ir kt., 2008; Sesli ir kt., 2009; Kuleli., 2009; Sener ir kt., 2009).

2.1 Darbe naudota medžiaga

2019 metais viso Baltijos jūros Lietuvos kranto ruožo, nuo Lietuvos-Rusijos pasienio iki Lietuvos – Latvijos sienos, topografiniai duomenys buvo renkami kartu su Klaipėdos Universiteto Jūros tyrimų instituto darbuotojais. Matavimai buvo atliekami atsižvelgiant į 2018-2023 Valstybinio monitoringo programos Krantų pokyčių monitoringo 2019 metų planą bei 2009-2011 metų Lietuvos Baltijos jūros krantų pažeidžiamumo vertinimo duomenis. Atlikta viso Lietuvos kranto ruožo skersinė

niveliacija ir 4-ių probleminių ruožų (apytiksliai po 3 km) skenavimas antžeminiu lazeriniu 3D skeneriu (1 lent.). Klaipėdos Universiteto Jūros tyrimų institutas planuoja parengti metinę ataskaitą apie Lietuvos krantų būklę, todėl papildomai buvo matuota kranto linija bei skersiniuose profiliuose buvos imama po 3 smėlio mėginius.

Darbe taip pat naudota dalis duomenų, surinktų Vitalijaus Kondrat 2019 08 15 ties Smiltyne bei 2011 metų viso kranto ruožo skersinės niveliacijos duomenys, surinkti atliekant Lietuvos Baltijos jūros krantų pažeidžiamumo vertinimą, kurie buvo surinkti *Leica 900* GPS imtuvu (kinematinio matavimo paklaidos H (horizontalė): 10 mm + 0.5 ppm / V (vertikalė): 20 mm + 0.5 ppm).

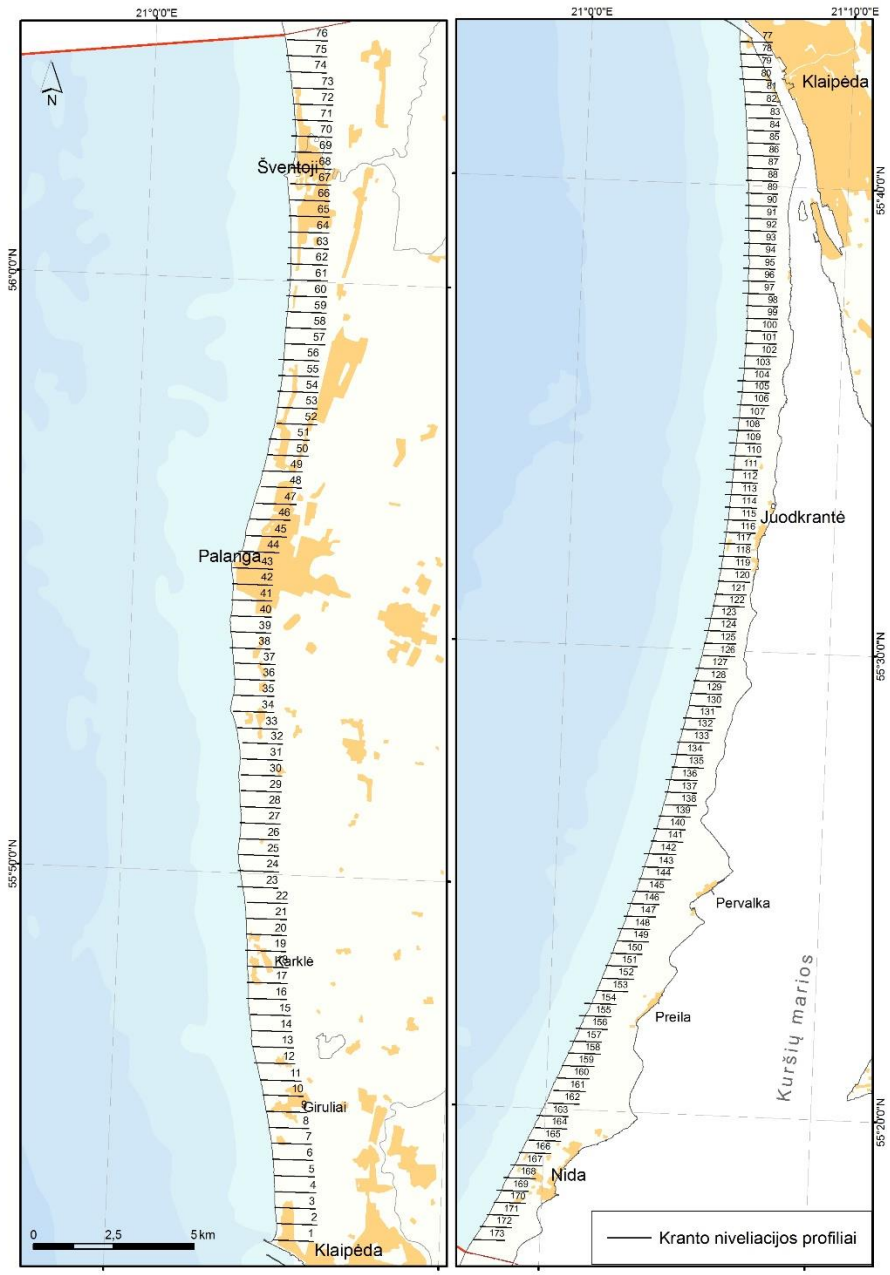
1 lentelė. 2019 metais atlikti matavimai

Trumpas metodo aprašymas	Prietaisas	Papildomas prietaisas	Matavimo vieta	Matavimo data
Skersinė viso Lietuvos kranto niveliacija GPS/GNSS imtuvu	Trimble R10 GNSS imtuvas su Trimble® TSC3 duomenų kaupikliu	-	Žemyninis paplūdimio ruožas Kuršių nerijos paplūdimio ruožas	2019 07 11-12; 18 2019 08 26-28
Probleminiu kranto ruožų skenavimas antžeminiu lazeriniu 3D skeneriu	Trimble® TX8 lazerinis 3D skeneris	Trimble R10 GNSS imtuvas su Trimble® TSC3 duomenų kaupikliu	Melnragės ruožas Karkalės ruožas Palangos ruožas Šventosios ruožas	2019 04 29 2019 11 08 2019 04 18 2019 09 27 2019 05 30 2019 11 19 2019 04 16 2019 11 21

2.2 Skersinė kranto niveliacija

Skersinė kranto niveliacija taikyta visam Baltijos jūros Lietuvos paplūdimio ruožui. Panaudota pirminė medžiaga – 173 skersiniai profiliai (Kuršių nerijos krante – 97, žemyniniame – 76) su žinomomis koordinatėms, kurie buvo naudoti Lietuvos Baltijos jūros krantų pažeidžiamumo vertinime 2009-2011 metais (9 pav.) tam, kad būtų galima 2019 metų surinktus topografinius duomenis palyginti tarpusavyje. Matavimai atlikti profiliuose kas 500 m nuo kopos viršūnės (atskaitos taškas pagal 2011 metų duomenis) iki dinaminės kranto linijos. Žemyniniame Lietuvos paplūdimio ruože matavimai atlikti liepos 11-12; 18 dienomis, Kuršių nerijos paplūdimio matavimai atlikti rugpjūčio 26-28 dienomis.

Išviso duomenys buvo renkami 6 dienas, dirbant dviem žmonėms po ~8 valandas, kasdien vidutiniškai pamatuojant ~16 km kranto ruožo. Papildomai Jūros turimų instituto metinės ataskaitos tikslams, matuota kranto linija, imami 3 smėlio mėginiai profiliuose kas 1 km (dinaminė kranto linija, paplūdimio vidurys, prieškopė).



9 pav. Skersinės kranto niveliacijos profiliai (KRABAS, 2011)

2.2.1 Techninių sąlygų įvertinimas atliekant skersinę kranto niveliaciją

Šiems matavimas atlikti buvo panaudotas Trimble R10 GNSS imtuvas su Trimble® TSC3 duomenų kaupikliu (10 pav.). Prietaisas yra apsaugotas nuo bet kokio dulkių poveikio bei trumpalaikio panardinimo į vandenį iki 1m gylio, todėl matavimus galima atlikti esant ir silpnam lietui. Imtuvas naudoja globalinę padėties sistemą (*GNSS –Global Navigation Satellite System*) ir mobilius globalaus pozicionavimo duomenis. Šio prietaiso tikslumas priklauso nuo stebimų satelitų skaičiaus, jų išsidėstymo (DOP), kliūčių (pastatų, medžių ir pan.), duomenų kaupimo laiko, atspindžių, atmosferos aktyvumo, atstumo iki bazinės stoties, naudojamos matavimo metodikos ir kt. Sistema naudoja *SurePoint* technologiją, kuri leidžia įvertinti pozicijos tikslumą ir fiksavimo greitį su įmontuotu elektroniniu sferiniu gulsčiuku, bei *xFill* ir *360* technologiją, o tai reiškia jog imtuvas

priima diferencialines korekcijas iš geostacionarių palydovų 670-tyje kanalų. Realios padėties nustatymo pataisos *(RTK – Real Time Corrections) (VRS – virtualių referencinių stočių tinkle)* siekia iki H: 8 mm + 0,5 ppm RMS (*root mean square*) ir V:15 mm + 0,5 ppm RMS, RTK startas: nuo 2 iki 8 sek. Tad atliekant precizinį statinį matavimą, x; y; z koordinatės gaunamos iki H: 3 mm + 0,1 ppm RMS V: 3,5 mm + 0,4 ppm RMS tikslumu, bendrai paklaidai neviršijant 4 mm + 0,4 ppm.

10 pav. Trimble R10 GNSS imtuvas su Trimble® TSC3 duomenų kaupikliu

2.2.2 Priminis duomenų apdorojimas

Skaitoma, kad atliekant skersinę kranto niveliaciją, profilis buvo atliktas 1 linijiniam metrui ploto. Matavimų metu kiekvieno profilio taškų koordinatės gautos LKS94 koordinačių sistemoje bei aukštis virš jūros lygio gautas Baltijos jūros aukščių sistemoje (BAS77). Kiekvieno profilio pradžios atskaitos taškas buvo pasirinktas pagal 2011 metais Lietuvos Baltijos jūros krantų pažeidžiamumo vertinimo metu surinktus nustatytų profilių duomenis.

Matavimų metu gauti duomenys buvo apdorojami *Microsoft Excel* programine įranga. Atlikta profilių aukščių ir ilgių analizė, skaičiuojant atstumą (L) tarp profilio taškų koordinačių pagal formulę:

$$L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \qquad (1).$$

Atliekant ilgalaikių pokyčių analizę, reikšminga įvertinti natūralų paplūdimio pločio svyravimą, dėl stiprių audrų, bangavimo, vėjo bei jo krypties. Siekiant įvertinti hidrometeorologinių reiškinių įtaką šiems pokyčiams, nustatoma neapibrėžtumo sritis, skaičiuojant paplūdimio padėties bei nustatymo paklaidą (Uf):

$$Uf = \pm\sqrt{Es^2 + Ec^2} \qquad (2),$$

Kai:

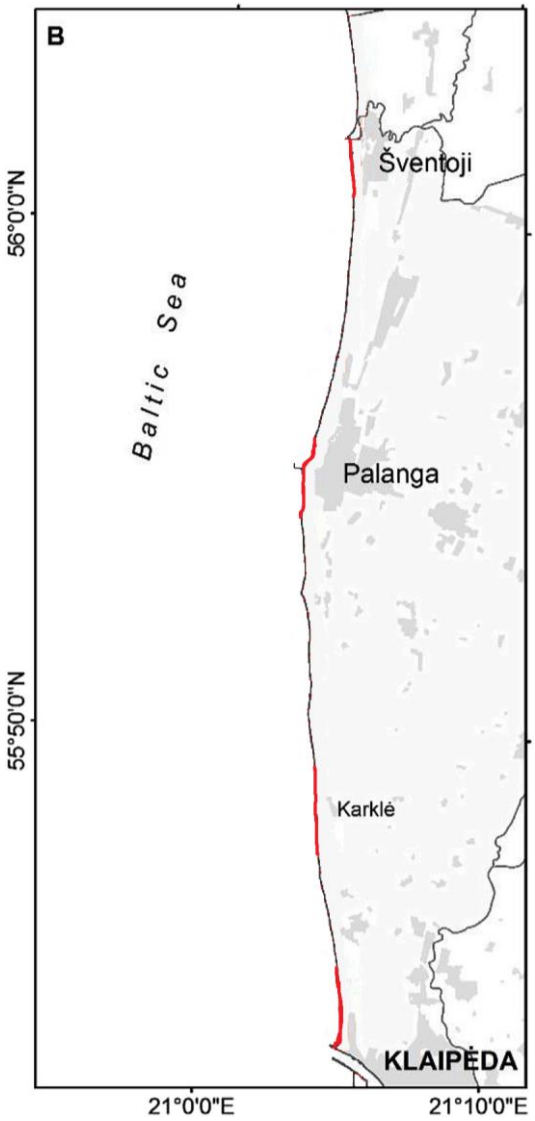
Es – jūros vandens lygio svyravimo paklaida;

Ec – padėties nustatymo paklaida.

Apsauginio paplūdimio kopagūbriui neapibrėžtumo sritis neviršija 1 cm, nes padėties nustatymo paklaida, yra labai maža, todėl darbe nevertinama.

2.3 Antžeminis lazerinis 3D kranto ruožų skenavimas

Remiantis literatūriniais šaltiniais bei atsižvelgiant į Valstybinės aplinkos monitoringo 2018-2023 metų programos 2019 metų krantų pokyčių monitoringo planą ir 2014–2020 Pajūrio juostos tvarkymo programą, buvo išmatuoti 4 probleminiai ruožai, apytikriai kiekvienas po 3 km (11 pav.), į kuriuos patenka 7, 2009-2011 metų Lietuvos Baltijos jūros krantų pažeidžiamumo vertinimo nustatyti skersiniai kranto niveliacijos profiliai (1 priedas). 3D matavimai atlikti kartą per pavasario ir rudens sezoną (1 lent.), papildomai, Jūros turimų instituto metinės ataskaitos tikslams apie kranto būklę, buvo matuota kranto linija, imami 3 smėlio mėginiai profiliuose kas 300 m (dinaminė kranto linija, paplūdimio vidurys, prieškopė). Vieno matavimo trukmė siekė iki 5 val., dirbant 3-4 asmenims.



11 pav. Žemyninio Lietuvos kranto probleminiai ruožai

2.3.1 Techninės prietaiso galimybės

Duomenys buvo renkami antžeminiu Trimble® TX8 lazeriniu 3D skeneriu, kartu naudojant Trimble R10 GNSS imtuvą su Trimble® TSC3 duomenų kaupikliu kontroliniams taškams nuimti, vėliau reikalingiems duomenų apdorojimui (12 pav.). Technologija leidžia atlikti matavimus itin greitai ir efektyviai, pasiekiant didelius atstumus bei gauti aukštos kokybės rezultatus. 3D skenavimo principas – tai vertikaliai besisukantis veidrodinis lazeris ant horizontaliai besisukančio pagrindo, skenerio matomumo laukas 360º x 317º, o kampinis tikslumas 80 µrad. Prietaisas naudoja Ultra didelio greičio "*time of flight" (Trimble) Lightning* technologiją, kuri leidžia atlikti matavimą 120 – 340 m atstumu iki ~ 1 mln. taškų per sekundę greičiu. Spindulio nuotolis, priklauso nuo aplink esančių objektų bei oro sąlygų: apšvietimas neturi įtakos skanavimui, tačiau esant stipriam rūkui – galimas nemažas duomenų kiekio praradimas, dėl iškreipto lazerio spindulio kritimo kampo. Vidutinė vieno skenavimo trukmė iki 3min., skenuojant kas 11,3 mm / 30 m spinduliu, iš viso ~138 mln. taškų (daugumai užduočių). Prietaise taip pat įmontuotas išorinis fizinis gulsčiukas (geodezinio tikslumo) bei integruotas elektroninis dviašis kompensatorius.

12 pav. Trimble® TX8 lazerinis 3D skeneris (kairėje), kartu su Trimble R10 GNSS imtuvu bei Trimble® TSC3 duomenų kaupikliu

2.3.2 Duomenų surinkimas

Vidutiniškas matavimų skaičius vienam 3 km ruožui siekė apie 24-34 stotis, priklausomai nuo paplūdimio pločio, morfologinių rodiklių bei paplūdimyje esančių stacionarių objektų (pastatų, gelbėjimo stočių, persirengimo kabinų ir kt.). Taip pat, priklausomai nuo šių parametrų, pasirinktas

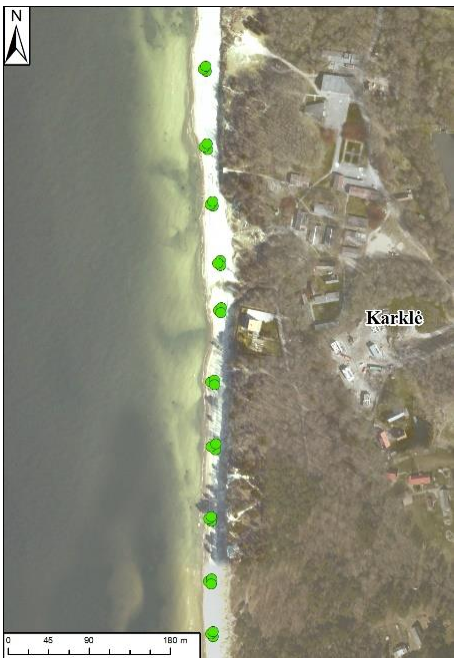
atstumas tarp stočių svyravo nuo 75 iki 150 m. Atliktuose matavimuose buvo išbandyta skirtinga stočių išdėstymo metodika, siekiant optimizuoti matavimų trukmę bei gauti kuo daugiau duomenų. Stotys buvo išdėstytos dviem būdais: zigzagais (kai stotys išdėstomos palei kranto liniją ir ant kopos viršūnės) ir viena paskui kitą (13 pav.).

a.

b.

13 pav. Stočių išdėstymo schemos: zigzagais (a) ir viena paskui kitą (b)

Skirtingos išdėstymo schemos buvo naudotos visuose keturiuose probleminiuose ruožuose. Kiekvienas paplūdimys skiriasi savo morfologinėmis savybėmis, todėl gauti rezultatai (duomenų kiekis/ padengimas) taikant abi sistemas iš esmės skyrėsi tarpusavyje. Štai Karklės kranto ruožui, sunku buvo išdėstyti stotis zigzagais, kadangi čia paplūdimo plotis siekia tik iki 30 m, o kopos aukštis – 8-10 m, su Olando kepurės skardžiu iki 24 m. Todėl stotys pagrinde buvo išdėstytos tankiau, atstumu iki 75 m, viena paskui kitą (14a. pav.). Melnragės paplūdimyje dėstant stotis vien tik viena paskui kitą, pastebėtas galimas didelis duomenų netekimas (14b. pav.). Šis kranto ruožas geomorfologiškai nevienalytis; nuo šiaurinio Klaipėdos molo iki Klaipėdos Antrojo Pasaulinio Karo gynybinių įtvirtinimų esančių paplūdimyje, matavimų metu krantas, išreikštas stačiais šlaitais ir keliomis bermomis per paplūdimio profilį, o už gynybinių įtvirtinimų iki II Melnragės – paplūdimys labiau nuožulnesnis, be stačių šlaitų, su viena kita berma.

a. 

b.

14 pav. Skenavimo stotys išdėstytos Karklės (a) ir Melnragės (b) kranto ruože

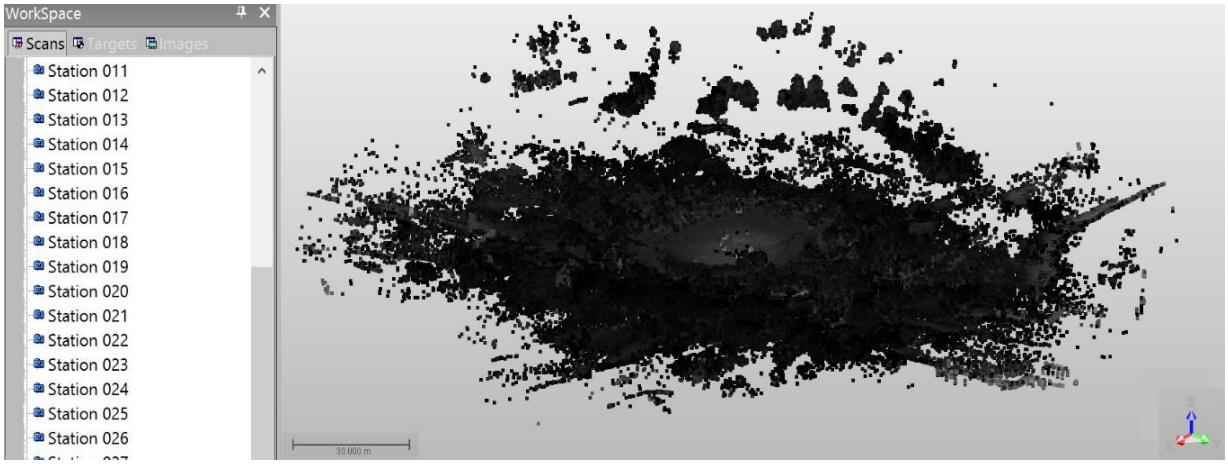
Atliekant matavimą, kiekvienoje stotyje išdėstomi 3 kontroliniai taškai (geltona lentelė, su juodai baltu lipduku viduryje), kurių koordinatės nuimamos Trimble R10 GNSS imtuvu (juodai balto lipduko viduryje). Taškai dėstomi į Š, P ir R/V, iki 2-3 m atstumu nuo stoties (15 pav.). Šis kontrolinių tašų išdėstymas labai palengviną darbą, apdorojant pirminius duomenis, kadangi šie taškai reikalingi gauti bendrą skenuojamo ruožo vaizdą, surišant kiekvieną stotį tarpusavyje.

15 pav. Kontroliniai taškai išdėstomi prieš darant skenavimą, matavimo stotyje.

2.3.3 Pirminis duomenų apdorojimas

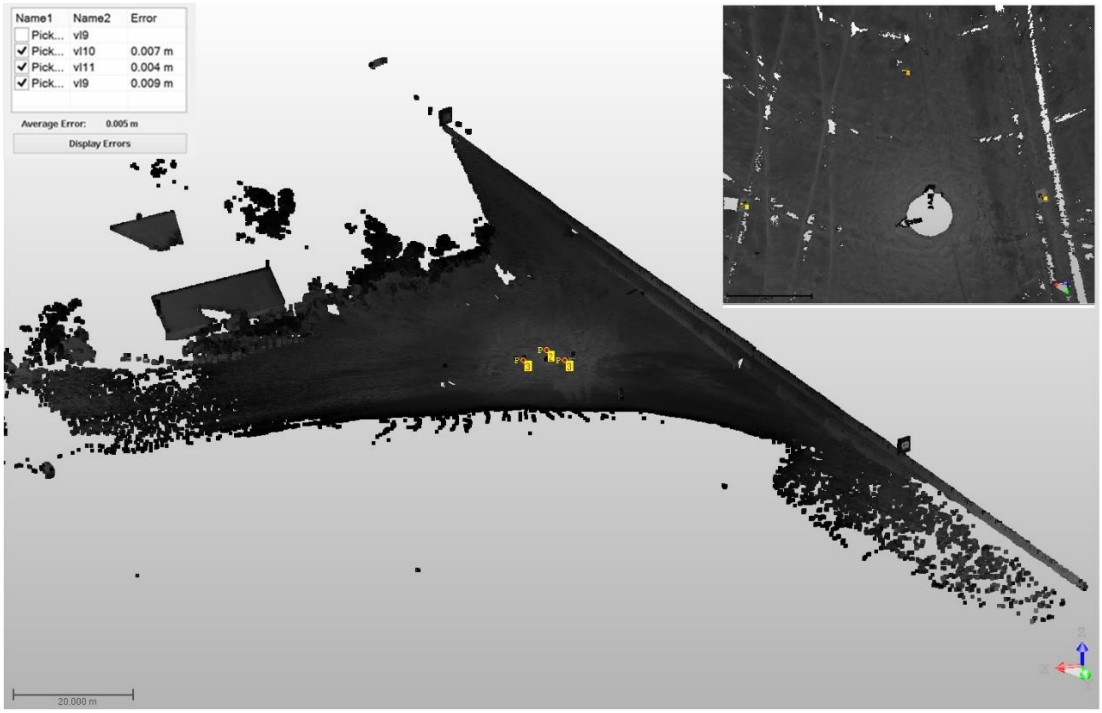
Priminiai lazerinio 3D skenavimo duomenys apdorojami *Trimble RealWorks* programine įranga. Ši programinė įranga leidžia lengvai apdoroti pirminius geodezinius duomenis (taškų debesis), atlikti registraciją (koordinačių sistemos suteikimą), duomenų apjungimą tam, kad būtų gaunamas sugeneruotas galutinis produktas, su kuriuo būtų galima toliau dirbti.

Pirminiai duomenys – tai atskirų stočių netolygi labai tanki taškinė informacija– taškų debesys (*point cloud*), kurie neturi registracijos koordinačių sistemoje (16 pav.). Vienos stoties duomenų masyvas turi apie 30-100 mln. taškų, priklausomai nuo tiriamojo ruožo, jame esančių objektų, augalijos ir kt. Čia pateikiamas Melnragės ruožo 2019 11 08 dienos matavimas.



16 pav. Visų stočių taškų debesys be registracijos koordinačių sistemoje

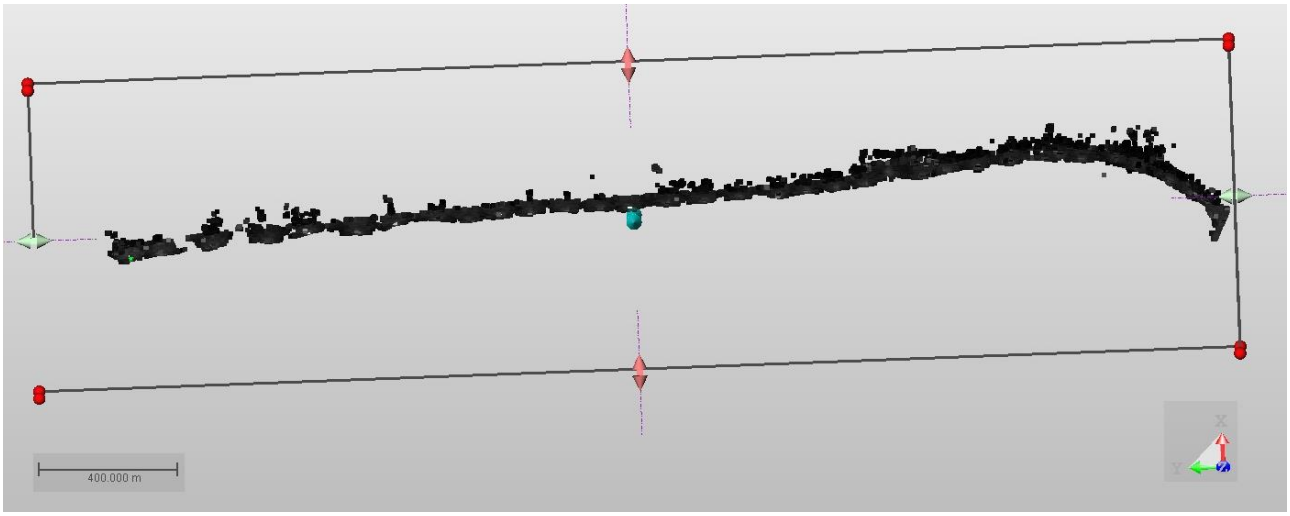
Kiekvienos stoties duomenų masyvui atskirai, yra suteikiama koordinačių sistema pagal prieš tai minėtus 3 kontrolinius tašus (*target point*), kurių pozicijos buvo nuimtos matavimo metu (17 pav.), bendrai paklaidai neviršijant 1 cm. Kadangi koordinatės suteikiamos rankiniu būdu, parinkus vieną tašką kontrolinės lentelės zonoje, įvertinant mažiausią bendrą paklaidą tarp pasirinktų taškų, pastebėta, kad didesnis kontrolinių taškų kiekis bendrai paklaidai reikėmės neturi.



17 pav. Vienos stoties duomenų masyvo registarcija koordinačių sistemoje pagal kontrolinius taškus

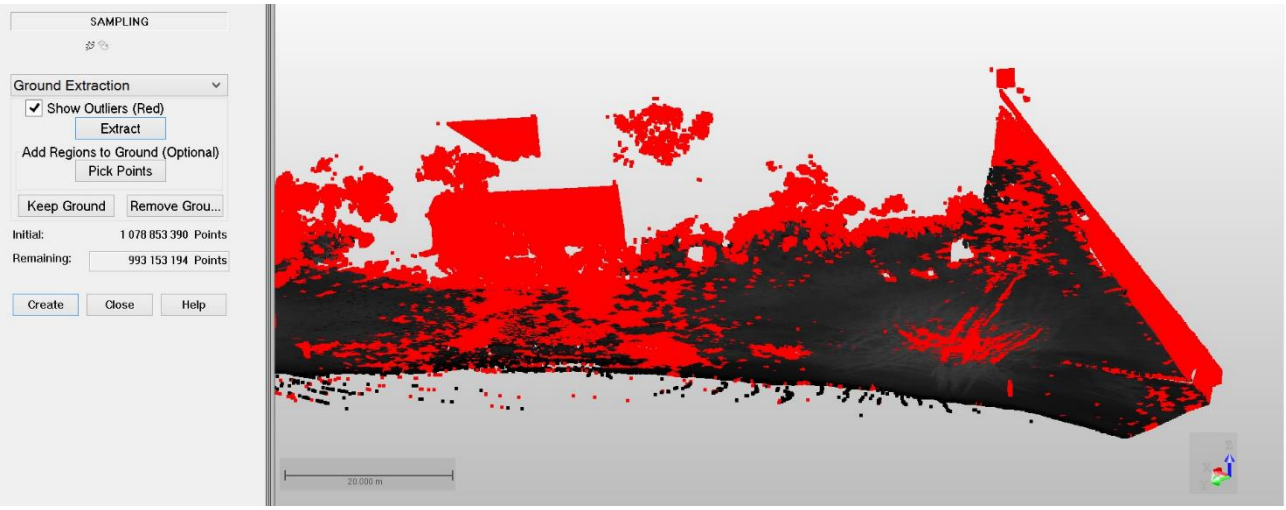
18 pav. Koordinačių sistema suteikta dviems matavimo stotims

Suteikus koordinačių sistemą kiekvienos stoties duomenų masyvui (18 pav.), toliau vyksta pirminių duomenų valymas, naudojant *Clipping Box Extraction* įrankį. Šiuo įrankiu yra pašalinami taškai, kurie išeina iš bendro konteksto, tai pakibusios smėlio dalelės ore, užfiksuoti paukščiai ir kt. Tuo pačiu yra sukuriamas vientisas objektas, kurio taškų kiekis debesyje gali siekti iki 1 mlrd. (19 pav.).



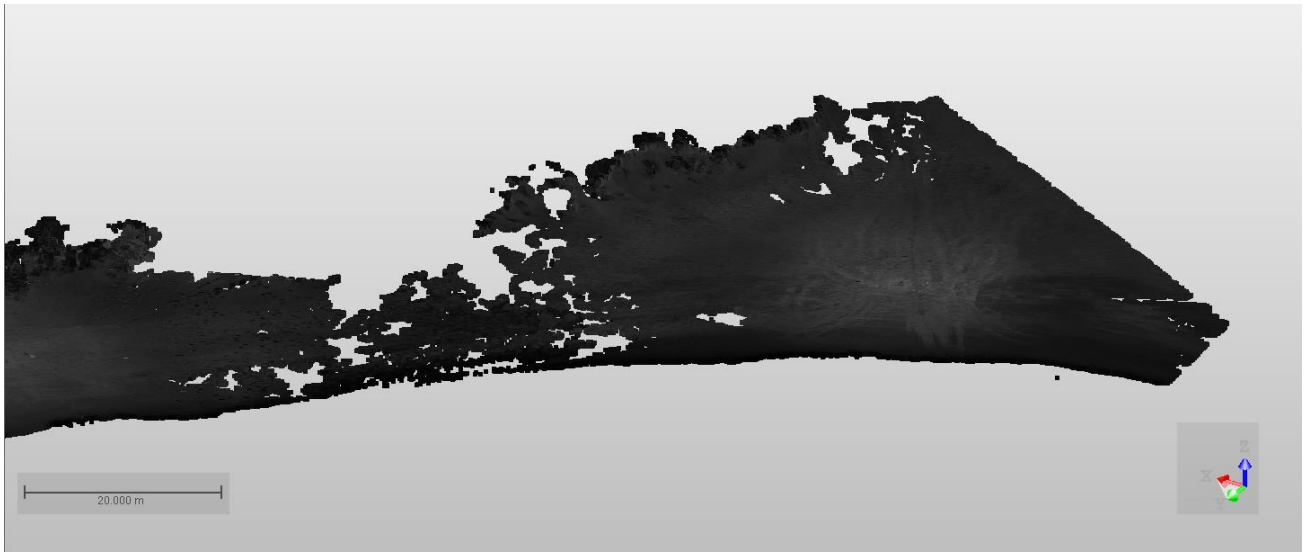
19 pav. Pirminis duomenų valymas *Clipping Box Extraction* įrankiu

Tolimesniam duomenų valymui naudojamas duomenų atrankos *Ground Extraction* įrankis. Naudojant šį įrankį, tam tikras algoritmas atskiria paviršiaus (*ground*) taškus nuo virš jo esančių. Išvalomi nereikalingi duomenys, taip vadinamos šiukšlės (pastatai, augalai, žmonės ir kt.), kurie nėra žemės paviršius (20 pav.).



20 pav. Naudojamas *Ground Extraction* įrankis, raudona spalva – taškai, kurie bus iškerpami

Naudojant šį įrankį, praktikoje susidurta, kad neretai yra pašalinama nemaža dalis gerų duomenų. Taip yra todėl, kad virš paviršiaus pakibę duomenys (paplūdimyje gali būti pažemę nešamos smėlio dalelės) yra trakuojami, kaip šiukšlės ir yra pašalinamas didesnis plotas po jais. Gamintojo siūlymu ir praktinio pritaikymo metu, dažnai, prieš tai yra naudojamas *Segmentation* įrankis, kuris leidžia pašalinti nereikalingus duomenis rankiniu būdu, ir tik tada yra naudojamas prieš tai minėtas įrankis. Atlikus šiuos veiksmus, taškų kiekis bendrame debesyje sumažėja vidutiniškai nuo 1 mlrd. iki 800-900 mln., priklausomai nuo matavimo ruožo (210 pav.).



21 pav. Galutinai sutvarkytų duomenų fragmentas

Paruošus gautus rezultatus, duomenys yra filtruojami pagal gardelės dydį (atstumą tarp taškų pasirinktinai), siekiant sumažinti taškų skaičių bendrame produkte bei galutinio failo dydį. Lentelėje pateiktas sugeneruoto galutinio produkto dydžio palyginimas (2 lent.).

2 lentelė. Duomenų tinklelio palyginimas

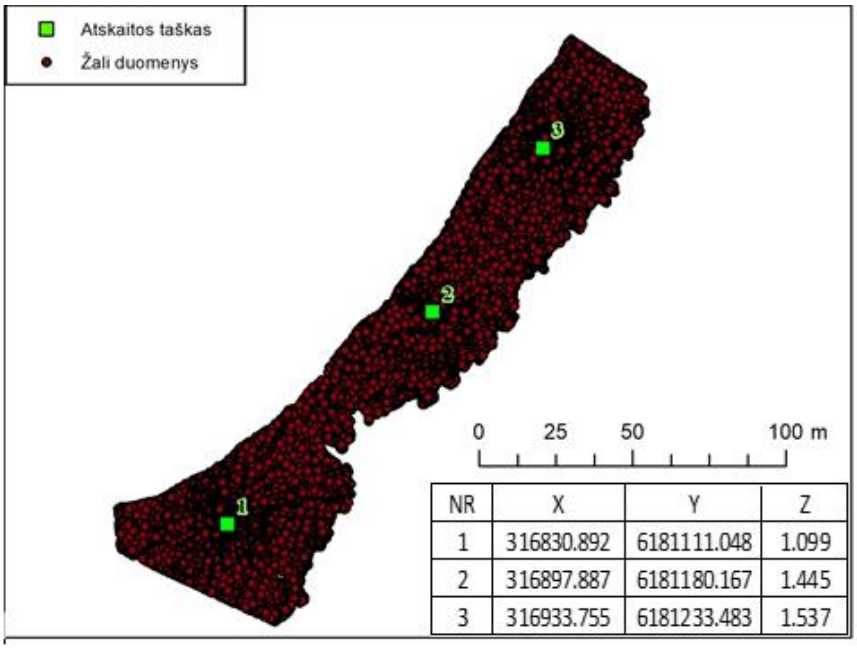
Atstumas tarp taškų, m	Vidutinis taškų skaičius	Vidutinis failo dydis, KB (MG)
0,05	2,5 -3,2 mln.	133740 (~130 MG)
0,1	1,2-1,7 mln.	66950 (~65 MG)
0,25	0,4-0,56 tūkst.	20410 (~20 MG)

2.3.4 Antrinis duomenų apdorojimas: duomenų interpoliacija

Tolimesniam gautų duomenų atvaizdavimui bei tiksliems skaičiavimams atlikti, buvo naudota erdvinė duomenų interpoliacija. Atliktas statistinis tyrimas lyginant tris skirtingus interpoliacijos metodus: *IDW, Kriging* ir *Triangulation (Grid TIN of Points).*

IDW metodas remiasi matematine (deterministine) funkcija, darant prielaidą, kad artimiausios reikšmės yra labiau susijusios nei kitos reikšmės su savo funkcija. *Kriging* metodas remiasi sukurtu apskaičiuotu paviršiumi iš išskaidyto taškų skaičiaus su z reikšmėmis, čia daroma prielaida, kad atstumas arba kryptis tarp taškų atspindi erdvinę koreliaciją, kuri gali būti naudojama paaiškinant paviršiaus pokyčius. *Triangulation (Grid TIN of Points)* metodas naudoja trikampį netaisyklingą tinklą, jungiantį žinomas aukščio reikšmes.

Siekiant pagreitinti skaičiavimus, dėl didelio duomenų masyvo, vietoj 3 km Melnragės ruože surinktų duomenų, buvo pasirinkta ~250 m atkarpa, atstumui tarp taškų esant 0,01 m (viso 311342 taškų). Metodo tikslumo įvertinimui, buvo pasirinkti trys atskaitos taškai, kurių koordinatės (įskaitant z reikšmę) buvo nustatytos Trimble R10 GNSS imtuvu, tuo pat metu atliekant matavimą (22 pav.).



22 pav. Pasirinkti trys atskaitos taškai

Taškų z reikšmė lyginama su to paties taško z reikšme, gauta taikant atitinkamą metodą. Skaičiuojamas skirtumas (paklaida) tarp realios atskaitos taško z reikšmės ir to paties taško z reikšmės, gautos taikant interpoliacijos metodą bei vidutinis visų trijų taškų skirtumas (vidutinė paklaida). Duomenys surašomi į lentelę (3 lent.).

3 lentelė. Gautų rezultatai reikšmės su paskaičiuotomis paklaidomis

Nr.	Metodas	Metodo parametrai		1 taškas		2 aškas		3 taškas		Vidutinė paklaida
		Metodas	Modelis	Z	Paklaida	Z	Paklaida	Z	Paklaida	
1.	IDW	Power	1	1,0987	-0,0003	1,3896	-0,0554	1,5165	-0,0205	0,02540
2.	IDW	Power	2	1,1002	0,0012	1,3867	-0,0583	1,5163	-0,0207	0,02674
3.	IDW	Power	5	1,1037	0,0047	1,3850	-0,0600	1,5161	-0,0209	0,02853
4.	IDW	Power	6	1,1042	0,0052	1,3850	-0,0600	1,5161	-0,0209	0,02870
5.	IDW	Power	8	1,1045	0,0055	1,3850	-0,0600	1,5160	-0,0210	0,02883
6.	Kriging	Ordinary	Spherical	1,0981	-0,0009	1,3914	-0,0536	1,5170	-0,0200	0,02483
7.	Kriging	Ordinary	Circular	1,0980	-0,0010	1,3916	-0,0534	1,5170	-0,0200	0,02481
8.	Kriging	Ordinary	Exponential	1,1038	0,0048	1,3844	-0,0606	1,5159	-0,0211	0,02883
9.	Kriging	Ordinary	Gaussian	-	-	-	-	-	-	-
10.	Kriging	Ordinary	Linear	1,0975	-0,0015	1,3928	-0,0522	1,5166	-0,0204	0,02469
11.	Kriging	Universal	Linear with Linear drift	1,0964	-0,0026	1,3918	-0,0532	1,5187	-0,0183	0,02471
12.	Kriging	Universal	Linear with Quadratic drift	1,1071	0,0081	1,3851	-0,0599	1,5119	-0,0251	0,03105
13.	Triangulation (Grid TIN of Points)	-	-	1,0980	-0,0010	1,4460	0,0010	1,5340	-0,0030	0,00167

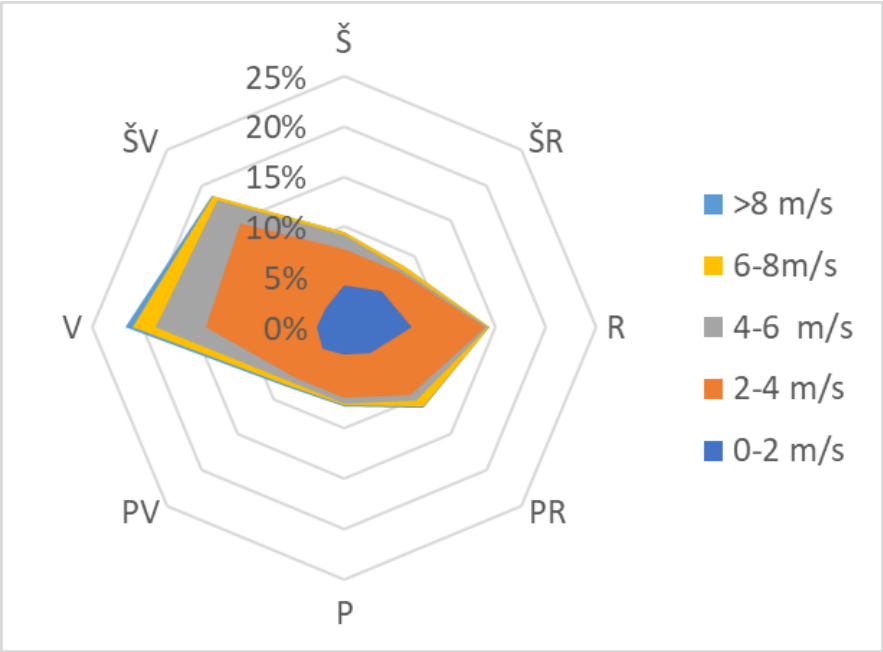
Statistinei metodų analizei atlikti, buvo panaudota įvairių metodų parinkčių. *IDW* metodui keičiant *power* (galios) reikšmę, kuri leidžia kontroliuoti žinomų taškų reikšmę interpoliuotose vertėse atsižvelgiant į jų atstumą nuo išvesties taško, pastebėta, kad kuo ji mažesnė, tuo tolygiai mažėja ir vidutinė paklaida. Kitą vertus, taikant Kriging Ordinary ar Universal metodus ir jų skirtingus modelius, gautos vidutinės paklaidos varijuoja nuo 0,02469 iki 0,03105 metro. Taikant Gaussian metodą, duomenys buvo smarkiai iškraipyti – atitinkamų atskaitos taškų vietose duomenų nebuvo. Naudojant *Triangulation (Grid TIN of Points)* metodą gauta mažiausia paklaida – 0,00167 m. Todėl atliekant tolimesnius veiksmus, nuspręsta naudoti būtent šį interpoliacijos metodą.

2.4 Hidrometeorologinės sąlygos

Matavimų datos buvo parinktos atsižvelgiant į hidrometeorologines sąlygas, kurios buvo vertinamos pagal Valstybinio aplinkos monitoringo programos krantų monitoringo plano reikalavimus. Analizuojama hidrometeorologinė informacija, kuri buvo stebima visą tiriamąjį laikotarpį (nuo šių metų balandžio 1 iki lapkričio 30 d.), įvertinta vėjo kryptis bei greitis, bangavimas ir vandens lygis.

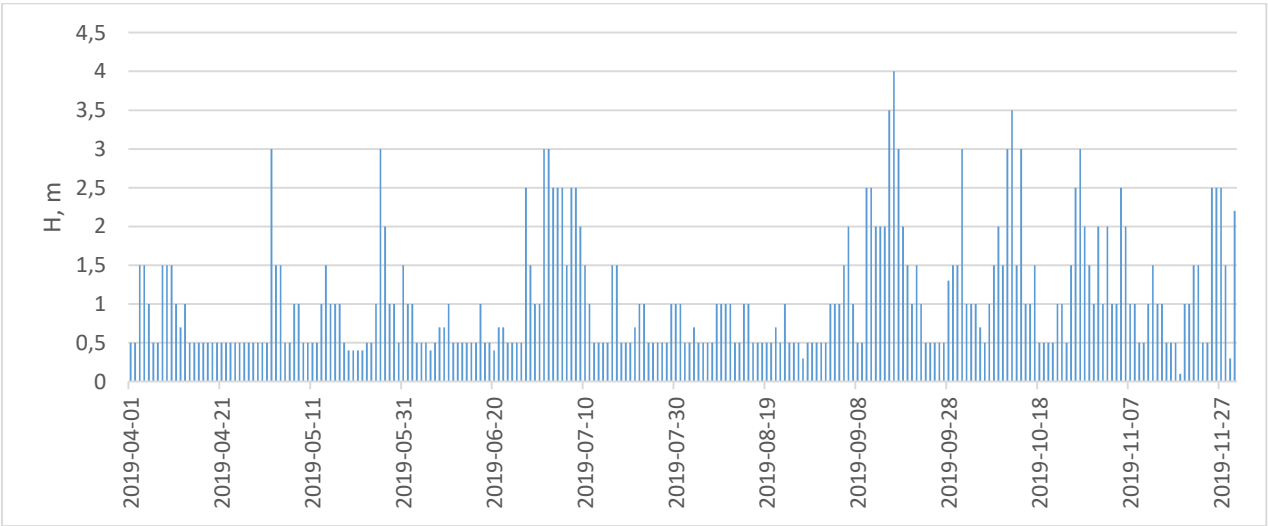
Naudojantis sudaryta vėjų rože (23 pav.) matoma, kad vyravo vakarų – šiaurės vakarų vėjai. Dažniausiai pasikartojantis vėjo greitis siekė 2-4 m/s su žymesniu sustiprėjimu iki 4-6 m/s. Tad

laikotarpis traktuojamas, kaip pakankamai ramus, su keletu audringesnių laikotarpių, kai vėjo greitis siekė > 8 m/s.



23 pav. Vėjų rožė 2019 04 01 – 11 30 laikotarpiu

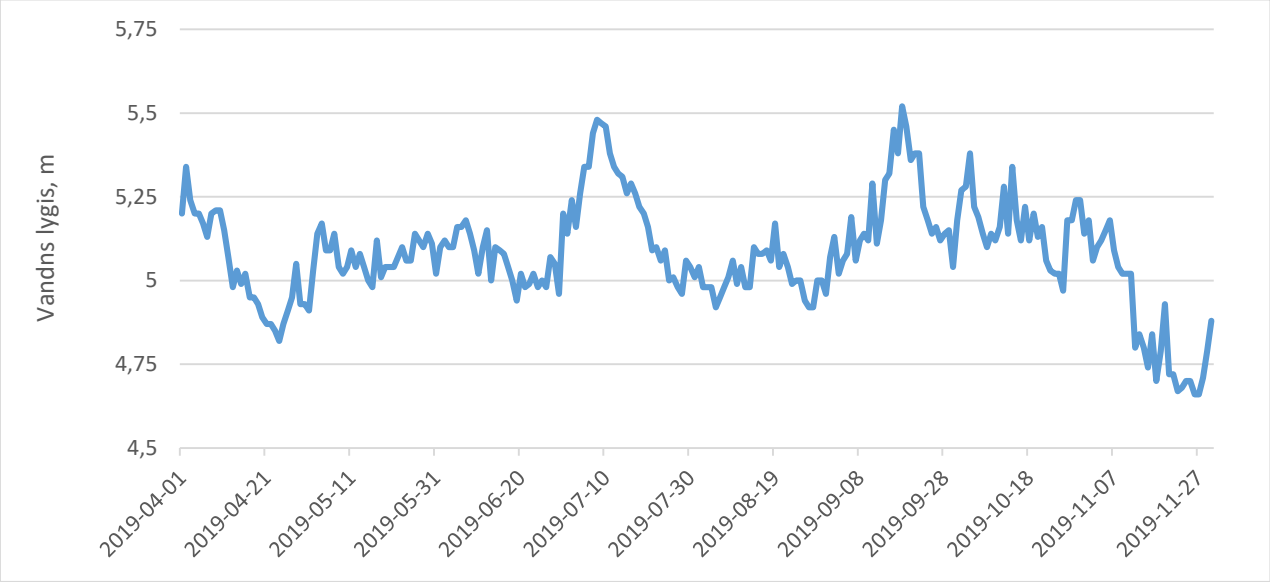
Tiriamuoju laikotarpiu vidutinis bangos aukštis siekė 1,5 metro (24 pav.). Gegužės mėnesį stebimos kelios dienos, kada bangos aukštis siekė 3 metrus. Liepos 1-7 dienomis, bangos aukštis išsilaikė vidutiniškai 2,5 m, šiuo metu taip pat stebimas vakarų krypties vėjo sustiprėjimas iki 6-8 m/s. Prasidėjus rudens sezonui, pastebimi net 4 atvejai, kada bangos aukštis siekė 2-4 metrus, tuo metu pūtė vakarų, šiaurės vakarų vėjai, vietomis daugiau nei 8 m/s.



24 pav. Bangos aukštis 2019 04 01 – 11 30 laikotarpiu

Vidutinis vandens lygis tiriamuoju laikotarpiu buvo 5,08 m (25 pav.). Kaip ir bangos aukščio, didžiausi svyravimai stebimi liepos 1-7 dienomis, kada vyravo vakarų krypties vėjai iki 6-8 m/s, čia

vandens lygis siekia iki 5,48 m. Taip pat prasidėjus rudens sezonui rugsėjo 18 d. (5,52 m), spalio 4 d (5,38 m), 14 d (5,34 m), 30 d. (5,24 m).



25 pav. Vandens lygis 2019 04 01 – 11 30 laikotarpiu

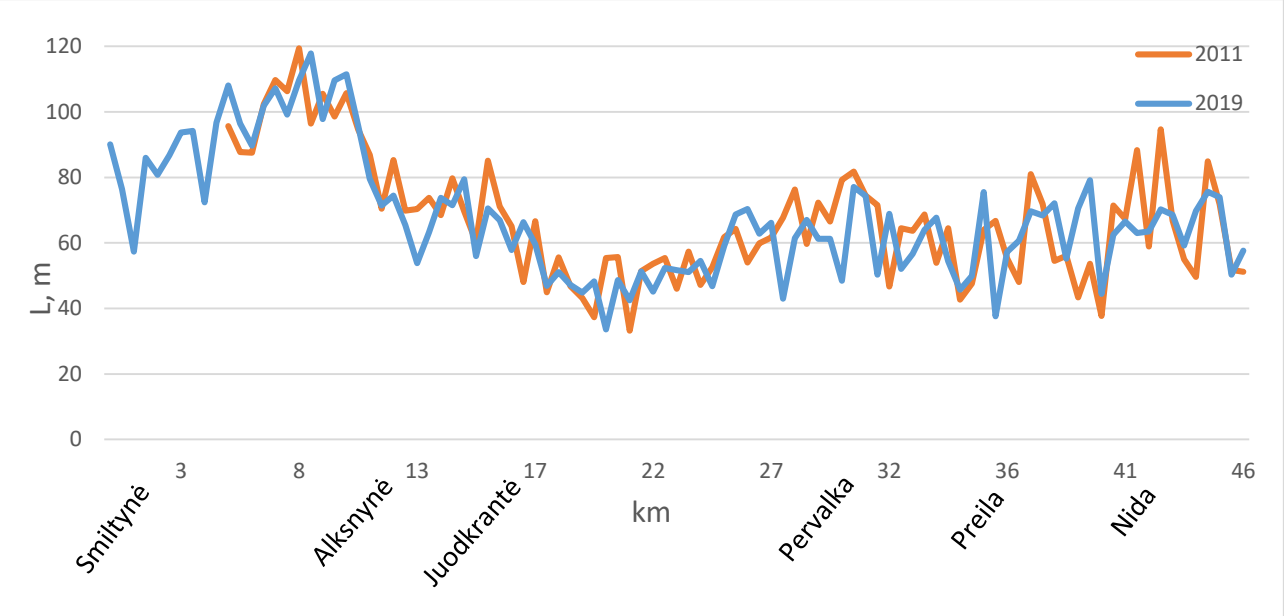
Visų matavimų metu bei dvi dienos prieš matavimą, ryto ir vakaro vėjo greitis siekė 2-4 m/s, vyraujanti kryptis R, V, ŠV. Bangos aukštis vidutiniškai siekė 0,5 m ir nei vieno matavimo metu neviršijo 1 m. Vidutinis vandens lygio svyravimų amplitudė matavimų metų ir 2 d. prieš siekė ±0,07 m, o bendras vidutinis vandens lygis siekė 4,97 m.

3. REZULTATAI

3.1 Ilgalaikė Lietuvos kranto ruožo morfologinių parametrų kaita

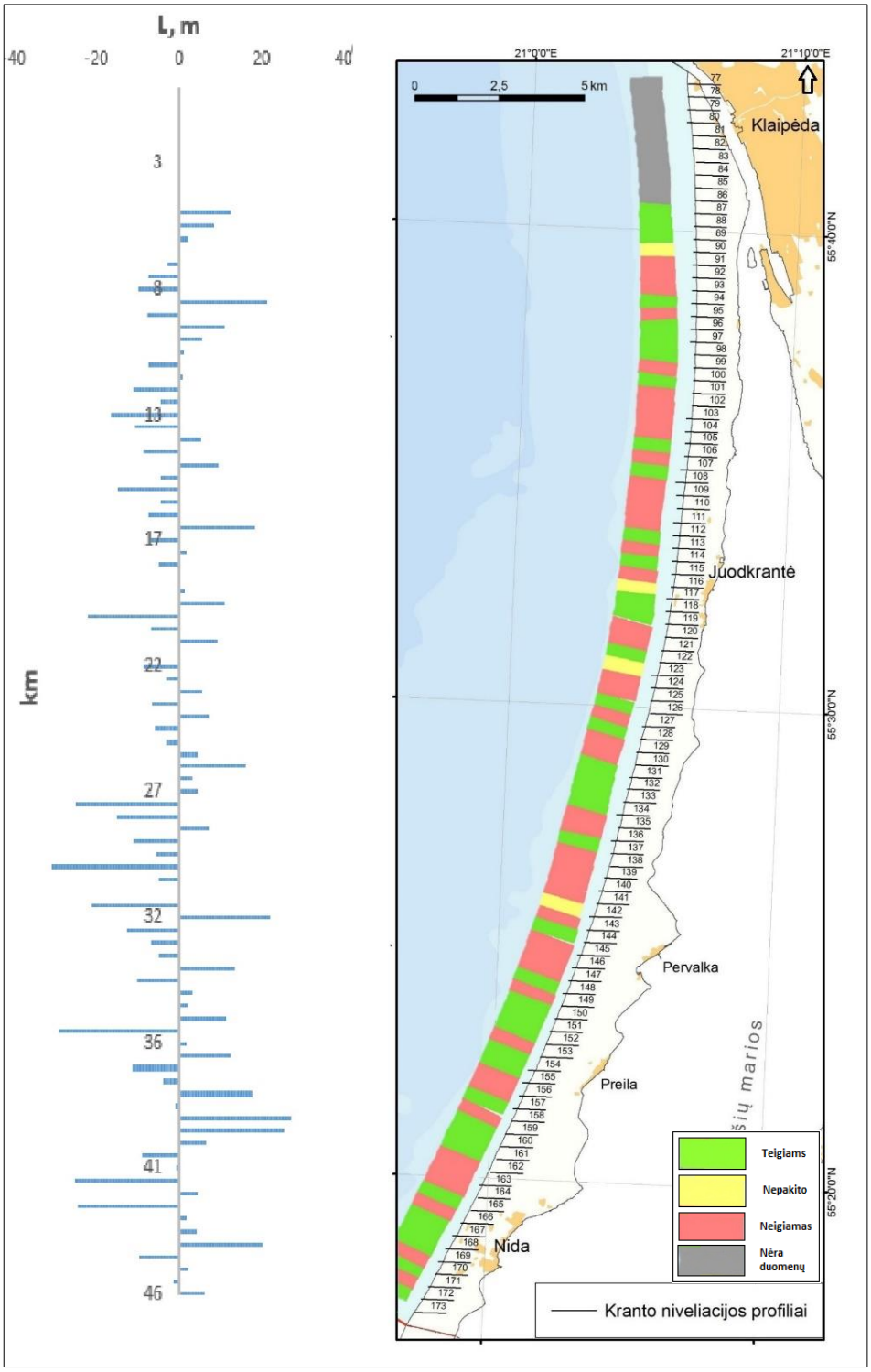
Įvertintas paplūdimio pločio bei apsauginio kopagūbrio aukščio pokytis per 2011-2019 metų laikotarpį, paplūdimio pločio svyravimas esant ±0,6 m (neapibrėžtumo sritis).

2011 metų Kuršių nerijos kranto ruože ties Kopgaliu – Smiltyne (10 profilių), duomenų nepavyko rasti. Tačiau, bendra paplūdimio pločio tendencija beveik nepakito per pastaruosius 8-rius metus (26 pav.). 2011 metų paplūdimio pločio svyravimai siekė nuo 32,2 (tarp Juodkrantės ir Pervalkos) iki 119,3 metro (ties Alksnyne). Dabartiniame Kuršių nerijos ruože, plačiausias paplūdimys išliko ties Alksnyne (117,34 m), o siauriausias – tarp Juodkrantės ir Pervalkos (33,6 m). Vidutinis paplūdimio plotis per šį laikotarpį beveik nepakito: 2011 metais 67,4 m ir 2019 metais 67,9 m.



26 pav. Kuršių nerijos paplūdimio pločio dinamika 2011-2019 m (abscisės „0“ žyma – Klaipėdos uosto vartai)

Per 2011-2019 metų laikotarpį, vidutinė paplūdimio pločio svyravimo amplitudė siekia 8,8 ±0,6 m. Pločio padidėjimas fiksuojamas 38-uose profiliuose, didžiausias jis tarp Preilos ir Nidos, siekia iki 27,2 ±0,6 m. Tačiau 45 profiliuose nustatytas paplūdimio atsitraukimas, vidutiniškai 9 ±0,6 m, didžiausias jis ties Pervalka – 33,8 ±0,6 m. Apskritai Pervalkos rekreacinėje zonoje stebimas ilgiausio paplūdimo ruožo pločio sumažėjimas: 11-oje profilių, vidutiniškai 16 m. Panašus paplūdimio pločio sumažėjimas stebimas ruože ties pietine Alksnyne ir Juodkrante 9 profiliuose, vidutiniškai apie 12 metrų (27 pav.). Keturiuose pavieniuose ruožuose skaitoma, kad krantas nepakitęs, kadangi neviršija nustatytos neapibrėžtumo srities (paplūdimio pločio pokytis <0,6 m). Apskritai paplūdimio pločio kaita visame ruože labai dinamiška.

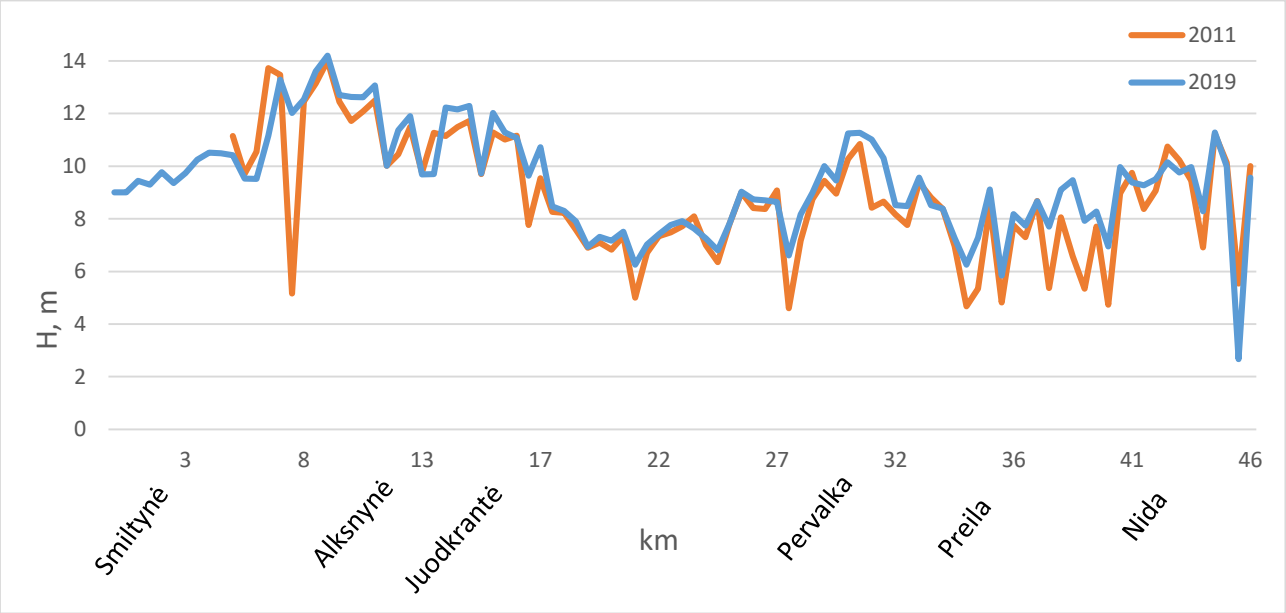


28 pav. Kuršių nerijos paplūdimio pločio amplitudės svyravimai 2011-2019 m (abscisės „0“ žyma – Klaipėdos uosto vartai)

Klabant apie Kuršių nerijos apsauginio paplūdimio kopagūbrio dinamiką (29 pav.), pastebimas kopagūbrio prieaugis visame paplūdimio ruože, čia svyravimų amplitudė siekia nuo 4,6 (Pervalka) iki 14,0 (ties Alksnyne) m 2011 metais ir nuo 2,7 m pasienyje su Rusija iki 14,2 m Alksnynėje 2019 metais. Vidutinis apsauginio kopagūbrio aukštis 2011 metais siekia 8,9 m, o 2019 – 9,4 m. Ties Nida APK padidėja 1,5 m, o prieš pat Preilos rekreacinę zoną 3 km ruože kaip ir paplūdimio plotis, čia pastebimas kopagūbrio padidėjimas 2-3 metrus. Žymesni padidėjimai ties

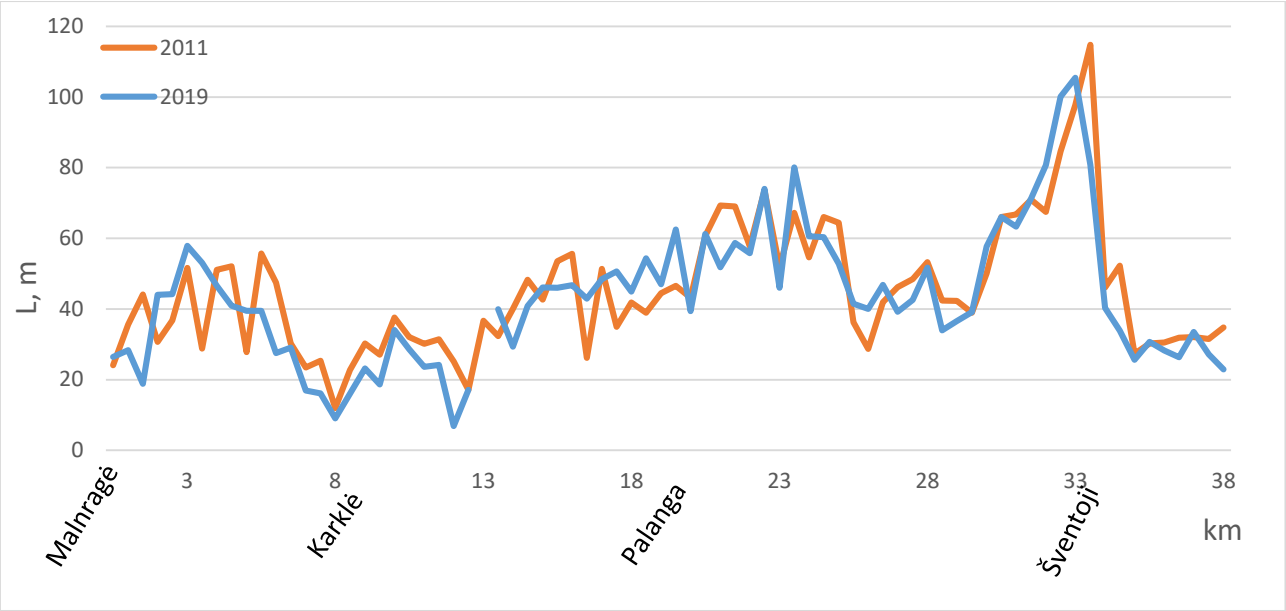
Pervalka 2-3 m, Juodkrante vidutiniškai 2 m. Tačiau, didžiausias apsauginio kopagūbrio padidėjimas stebimas maždaug 2 km ruože į šiaurę nuo Alksnynės – čia APK padidėja vidutiniškai 5 metrus. Iškart už šio sąlyginai žymaus kopagūbrio aukščio padidėjimo į šiaurę, pastebima kopagūbrio aukščio mažėjimo tendencija nuo 2,5 iki 0,5 m, tačiau jo absoliutinis aukštis išlieka vidutiniškai 11,2 m.

Kopagūbrio sumažėjimas Kuršių nerijoje stebimas pavieniuose 11-oje profilių, vidutiniškai siekia 0,7 m, o didžiausias (2,9 m) sumažėjimas stebimas ties siena su Rusija.



29 pav. Kuršių nerijos paplūdimio kopagūbrio aukščio dinamika 2011-2019 m (abscisės „0“ žyma – Klaipėdos uosto vartai)

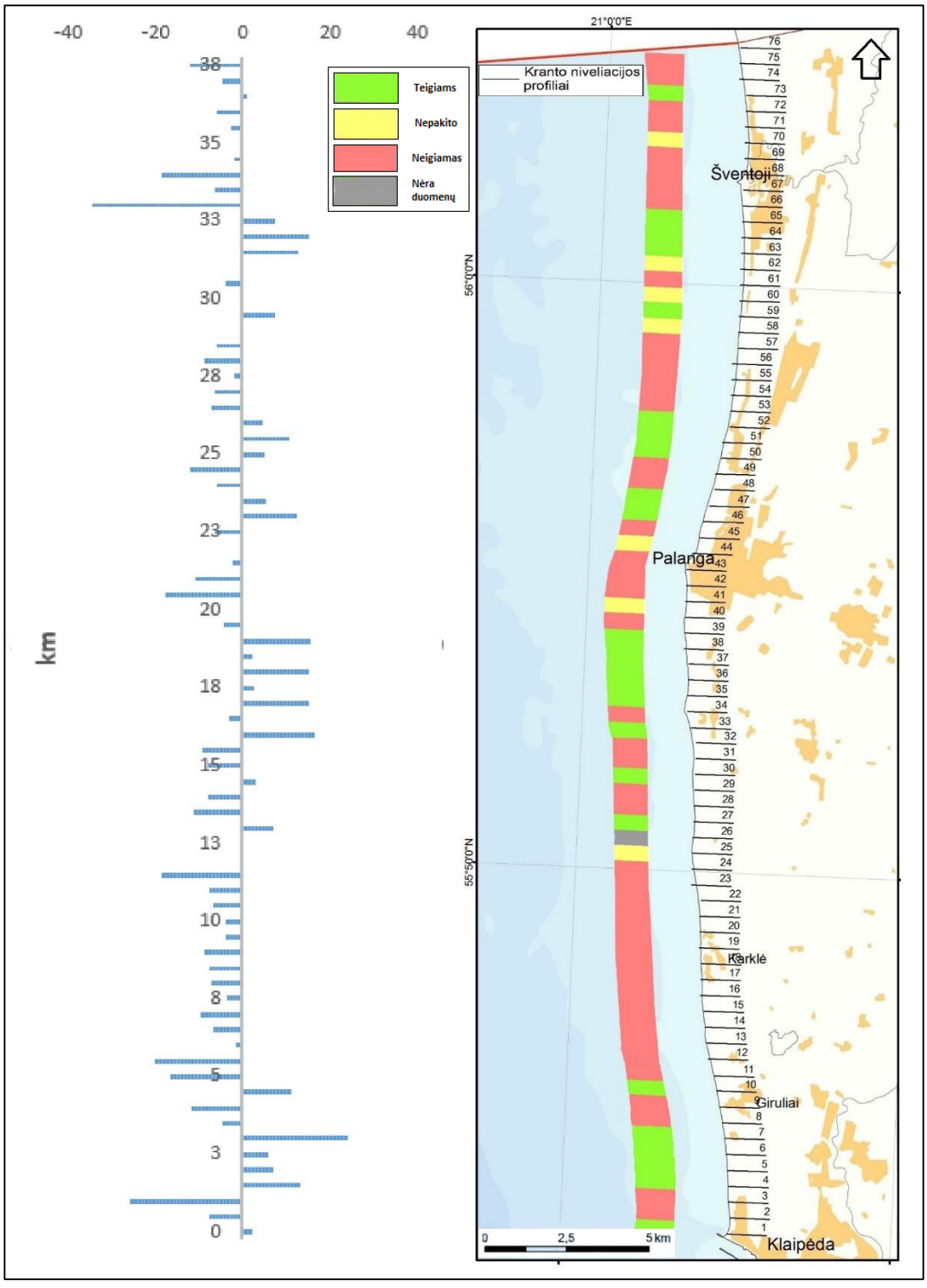
Visai kitokią situacija turime žemyniniame Lietuvos kranto ruože (30 pav.). Čia aiškiai išsiskiria ruožai, kuriuose vyrauja ryški paplūdimio pločio kaita. Tačiau, lyginant su Kuršių nerija, paplūdimio pločio svyravimai siekia nuo 12,0 m (ties Karkle) iki 114,8 m (ties Šventąja) 2011 metais ir 6,9 m(ties Šaipiais) – 105,4 metro (ties Šventąja) 2019 metais. Vidutiniškas paplūdimio plotis apie 20 m mažesnis negu Kuršių nerijoje ir per 2011-2019 metų laikotarpį sumažėjo nuo 45,0 iki 43,0 metrų.



30 pav. Žemyninio Lietuvos paplūdimio pločio dinamika 2011-2019 m (abscisės „0“ žyma – Klaipėdos uosto vartai)

Apskritai, šį laikotarpį stebimas aiškus paplūdimio pločio sumažėjimas išilgai viso kranto ruožo (31 pav.). Daugiau nei pusėję (44-se) profiliuose pastebimas paplūdimio pločio sumažėjimas vidutiniškai 7,9 ±0,6 m, didžiausias jis ties šiauriniu Šventosios uosto molu (34,0 ±0,6 m). Žemyniniame krante, aiškiai išsiskiria probleminiai kranto ruošai, kuriuose stebimas žymus paplūdimio pločio sumažėjimas. Ties Palanga, šiauriau promenadinio tilo, paplūdimys atsitraukė vidutiniškai apie 8,2 ±0,6 metro. Visame Karklės – Olando kepurės ruože (apie 7 km), paplūdimys vidutiniškai atsitraukė apie 8,9 ±0,6 metro. Taip pat ties I Melnrage stebimas 25,3 ±0,6 m paplūdimio pokytis, čia 2011 metais jis buvo 44,1 metro, o 2019 – siekė 18,8 m.

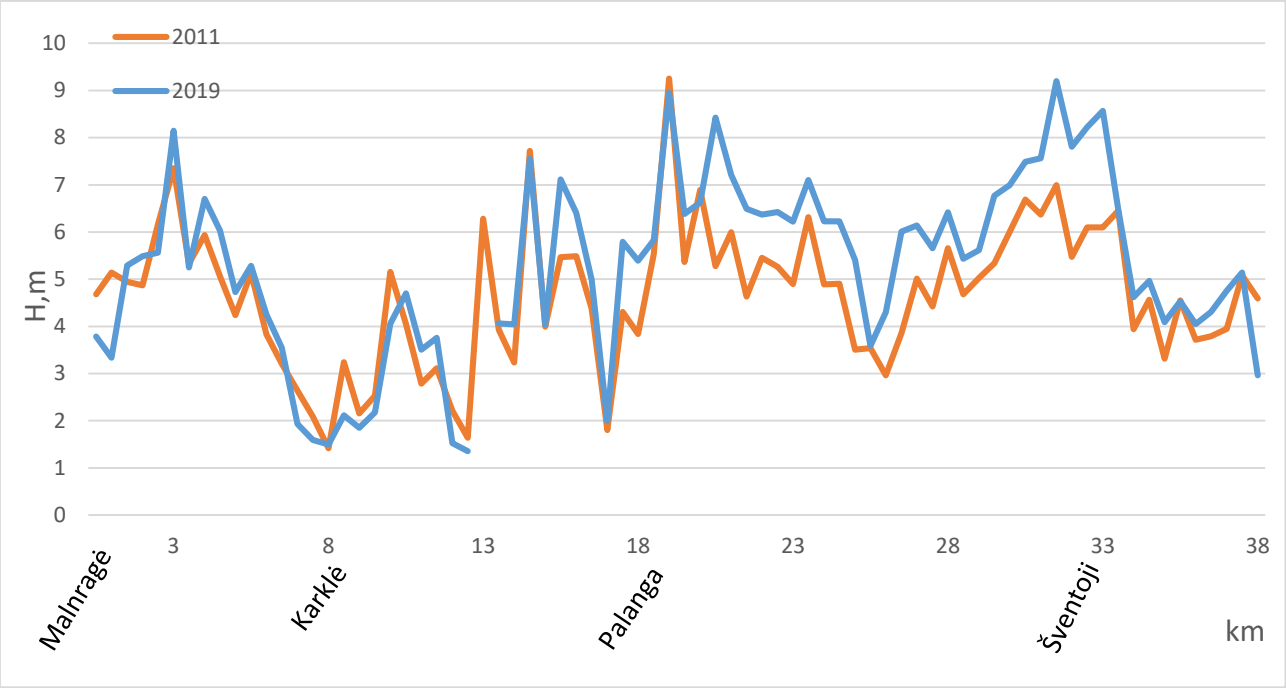
Tačiau, 23 profiliuose stebimas paplūdimio ploto padidėjimas vidutiniškai 8,4 ±0,6 m. Didžiausias jis ties Giruliais ir siekia 24,3 ±0,6 m. Ties šiauriniu Klaipėdos molu, taip pat ties II Melnrage – Giruliais vidutiniškai apie 10,7 ±0,6 metro padidėjo paplūdimio plotis. Ties Palanga į pietus nuo promenadinio tilto paplūdimys paplatėjo vidutiniškai apie 10,6 ±0,6 m ir vietomis pokytis siekia iki 15 m. Einant į šiaurę, prieš pat Šventosios uostą, ir taip platus paplūdimys, per 2011-2019 metų laikotarpį papildomai dar padidėjo 12,1 ±0,6 m.



31 pav. Lietuvos žemyninio paplūdimio pločio amplitudės svyravimai 2011-2019 m (abscisės „0“ žyma – Klaipėdos uosto vartai)

Tuo tarpu apsauginio paplūdimio kopagūbrio dinamika beveik visame žemyninio kranto rože išliko teigiama (32 pav.), išskyrus keletą profilių ties I Melnrage, Karkle bei pavienių – ties Palanga ir Būtinge. Kopagūbrio aukščio dinamikos tendencija per 2011-2019 metų laikotarpį iš esmės beveik nepakito, 2011 metais siekė 1,14 -9,25 m, o 2019 metais – 1,35-9,2 metro. Lyginant su 2011 metais, vidutinis jo aukštis pakito tik 1 m, nuo 4,65 iki 5,25 m. Didžiausias apsauginio paplūdimio kopagūbrio prieaugis stebimas Palangos – Šventosios ruože ir apskritai iki pat sienos su Latvija, čia kopagūbris

vidutiniškai paaukštėjo apie 1,6 metro. Žemyniniame Lietuvos krante, stebimi keturi didžiausių kopų ruožai: ties Šventosios uosto pietinė dalimi – 9,2 m, ties Palanga 8,5-9,0 m, Nemirseta 7-7,5 m bei Giruliais – iki 8,1 m.

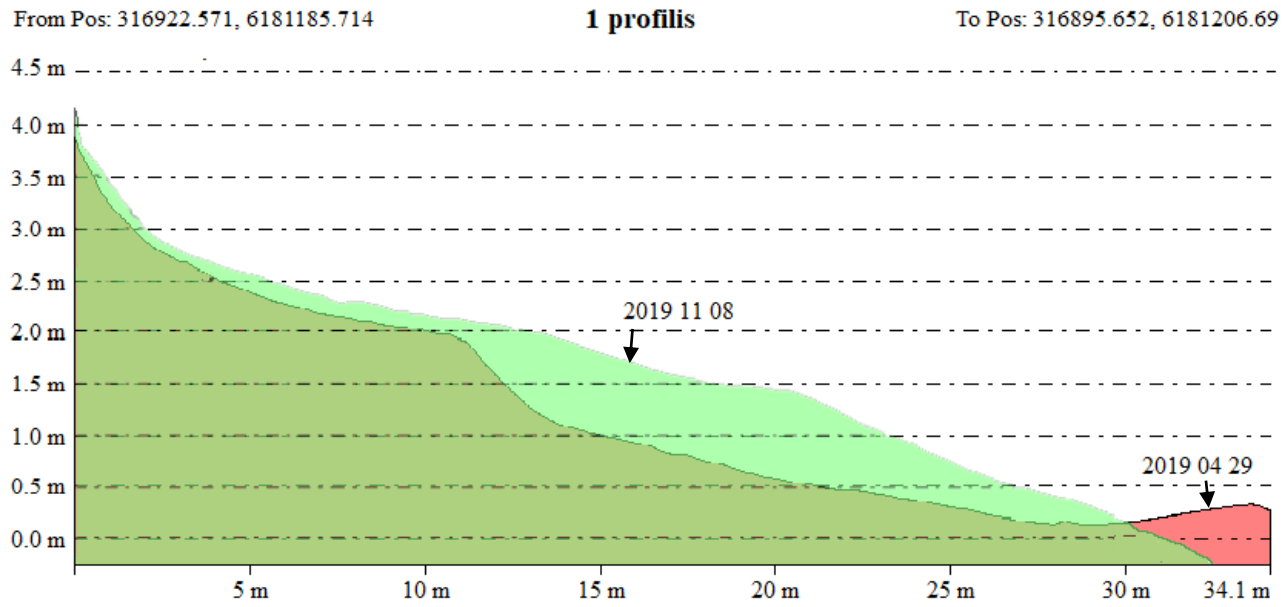


32 pav. Žemyninio Lietuvos paplūdimio kopagūbrio aukščio dinamika 2011-2019 m (abscisės „0“ žyma – Klaipėdos uosto vartai)

3.2 Trumpalaikė probleminio paplūdimo zonos ruožo morfologinių parametrų kaita

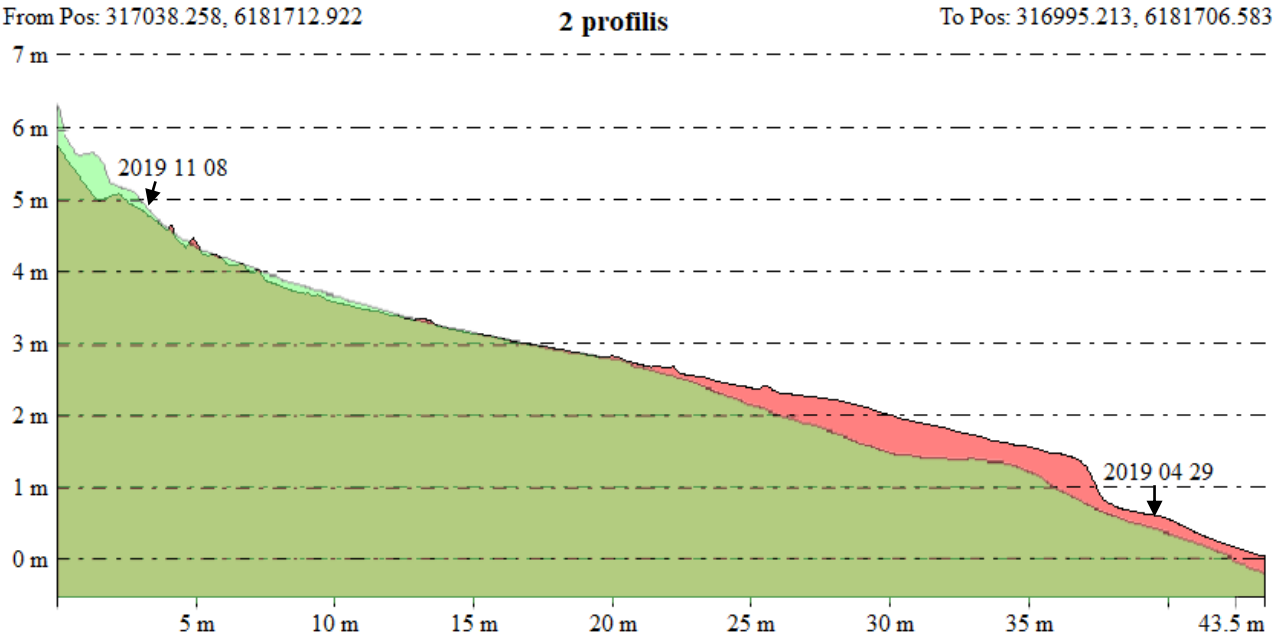
Trumpalaikių morfologinių parametrų pokyčiams įvertinti buvo pasirinkta apytiksliai 3 km atkarpa probleminio paplūdimio ruožo nuo Klaipėdos šiaurinio molo link II Melnragės. Atlikus du matavimus šių metų pavasario ir rudens sezonais antžeminiu lazeriniu 3D skeneriu, gauti duomenys buvo suinterpoliuoti ir palyginti tarpusavyje (1 priedas).

Lyginant pavasario ir rudens matavimų duomenis, 1 profilyje (33 pav.), paplūdimio plotis sumažėjo per 5,1 m, o kopagūbrio aukštis padidėjo 0,24 m. Nors iš pažiūros atrodo, kad didesnė dalis smėlio susikaupė ties paplūdimio viduriu, iš tiesų smėlio tūris sumažėjo 129,86 m^3. Be to, bendras maksimalus paplūdimio nuolydis padidėjo; balandžio mėnesį, jis buvo 42,3°, lapkričio mėnesį siekė 60,5°. Atliktame balandžio mėnesio 29 d. matavime, pastebima berma, ties 11-u metru siekianti iki 2 m aukščio.



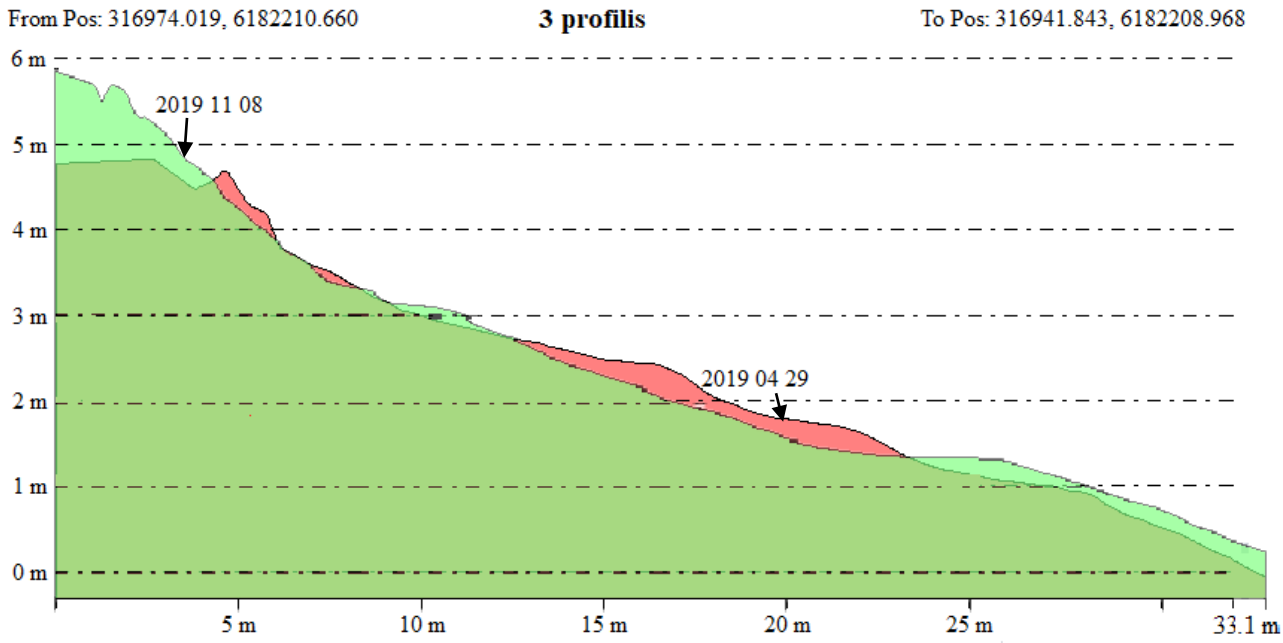
33 pav. 1 profilio palyginimas 2019 04 29 – 2019 11 08 laikotarpiu

Antrajame profilyje (34 pav.), paplūdimio plotis sumažėjo apie 0,5 m, o kopos aukščio skirtumas siekė nuo 5,7m iki 6,4 m. Paplūdimio nuolydis čia taip pat padidėjo nuo 48,9° iki 55,9°, tačiau smėlio tūris padidėjo 118,09 m³. Abejose matavimuose matyti po vieną bermą ties tuometine vandens linija.



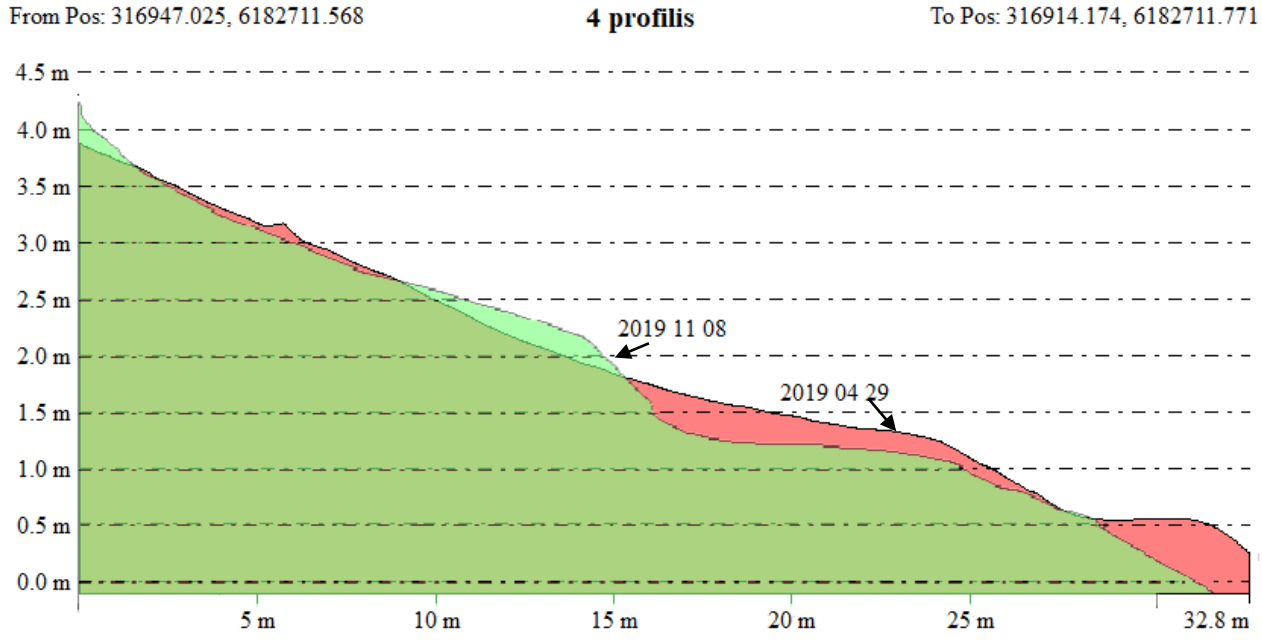
34 pav. 2 profilio palyginimas 2019 04 29 – 2019 11 08 laikotarpiu

Trečiajame profilyje (35 pav.) paplūdimio plotis sąlyginai nepakito, tačiau ženkliai pakito apsauginio kopagūbrio aukštis; balandžio mėnesį jis siekė 4,8 m, o lapkričio – 5,9 m. Tuo pačiu padidėjo ir smėlio tūris – pavasarį siekė 402,23 m³, o rudenį – 605,28 m³.



35 pav. 3 profilio palyginimas 2019 04 29 – 2019 11 08 laikotarpiu

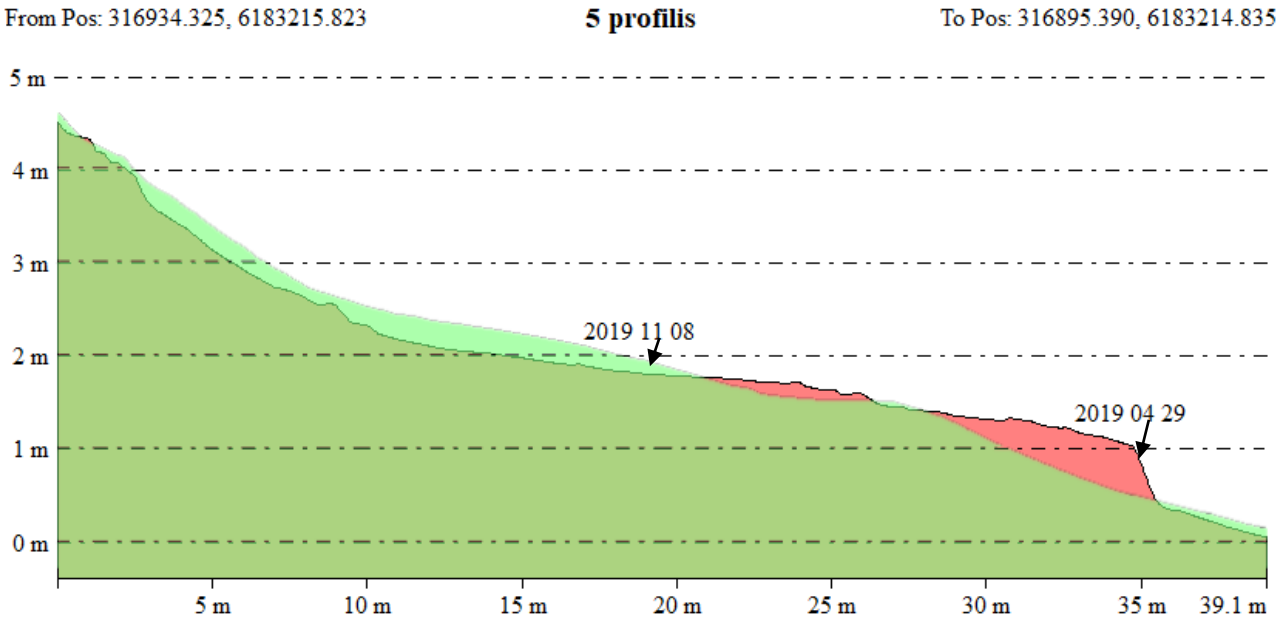
Ketvirtajame profilyje (36 pav.) geomorfologiniai parametrai pakito labai nedaug, paplūdimio plotis sumažėjo 1,5 metro, kopos aukštis padidėjo tik 40 cm. Paplūdimio nuolydis išliko praktiškai toks pat 50,1-56,1°, smėlio tūris padidėjo tik 14,7 m³. Nors šiame profilyje tiek balandžio tik lapkričio mėnesiais fiksuojamos kelios bermos iki 1 m aukščio.



36 pav. 4 profilio palyginimas 2019 04 29 – 2019 11 08 laikotarpiu

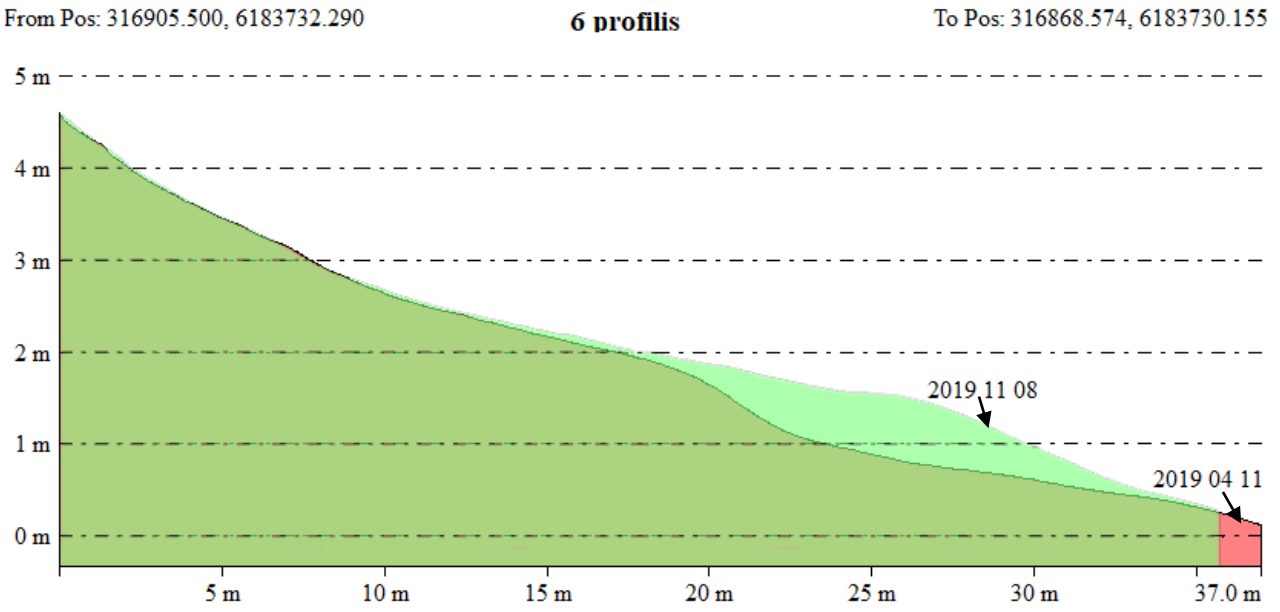
Taip pat labai nedaug pakito ir penktasis profilis (37 pav.), čia paplūdimio pločio pokytis siekia vos 0,1 m, o kopagūbrio aukštis, per šį laikotarpį, padidėjo tik 0,2 m. Smėlio tūris balandžio

mėnesį fiksuojamas 490,58 m³, o lapkričio mėn. – 544,61 m³. Tačiau skirtingai nei kiti parametrai, maksimalus paplūdimio nuolydis sumažėjo nuo 55,8° iki 35,6°, to pasėkoje balandžio mėnesį fiksuota berma, ties vandens linija, persiklostė kažkur šiauriau kranto.



37 pav. 5 profilio palyginimas 2019 04 29 – 2019 11 08 laikotarpiu

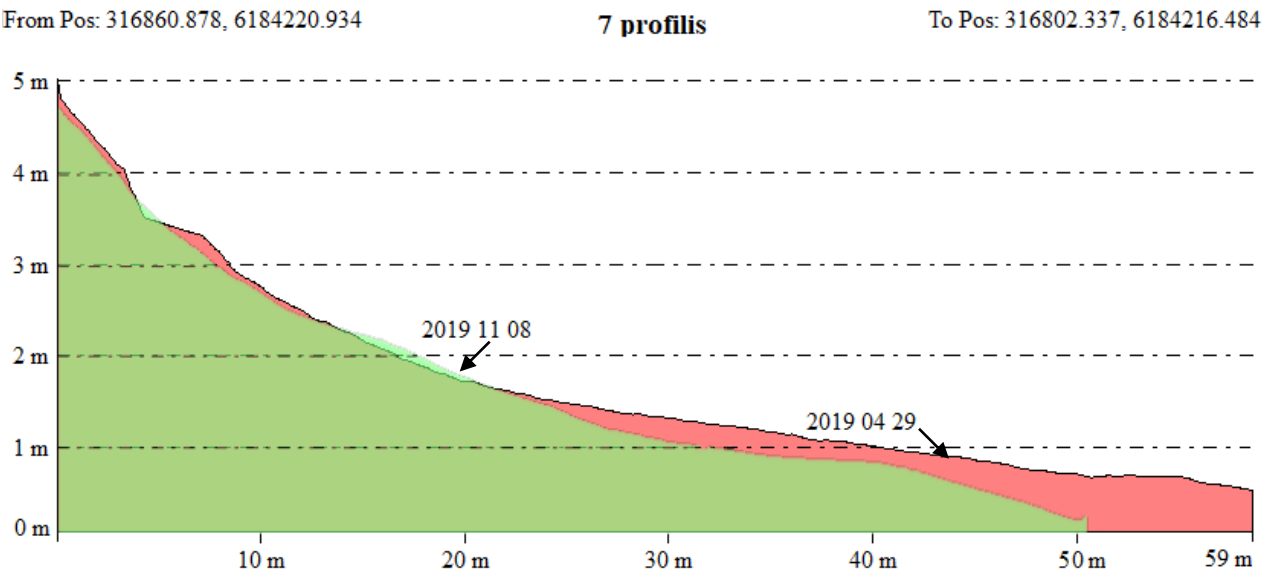
Šeštojo profilio pokytis (38 pav.), tiriamojuoju laikotarpiu nelabai skiriasi nuo prieš tai buvusiojo. Paplūdimio plotis bei aukštis beveik nepakito, smėlio tūrio pokytis siekia 61 m³ sumažėjimą. Tačiau stebimas paplūdimio nuolydžio sumažėjimas nuo 38,4° iki 21,1°.



38 pav. 6 profilio palyginimas 2019 04 29 – 2019 11 08 laikotarpiu

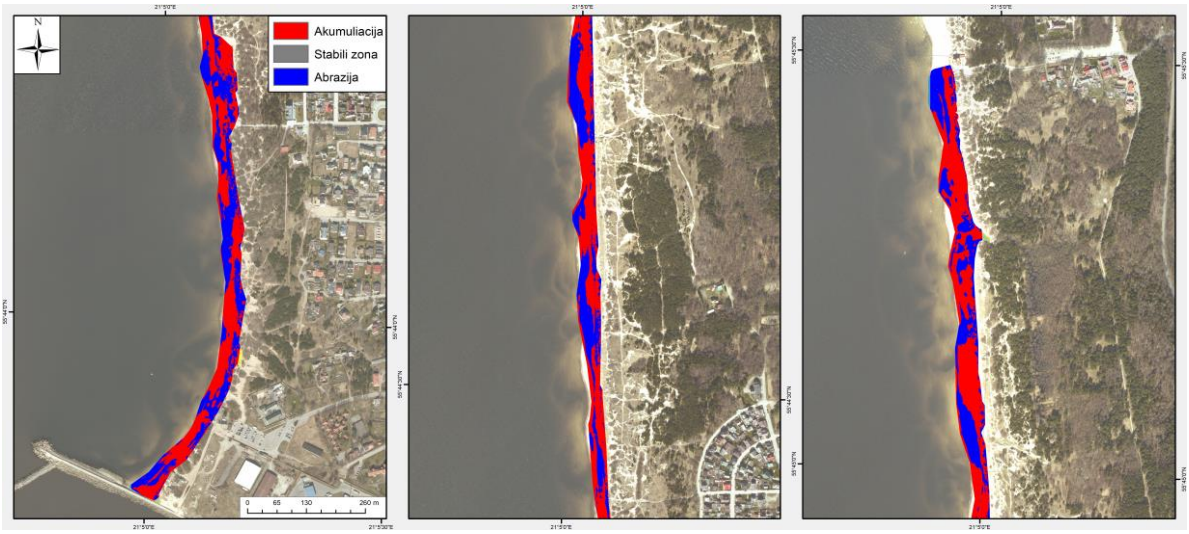
Paskutiniajame šio ruožo profilyje (39 pav.), stebima didžiausia kaita, esant mažėjimo tendencijai. Paplūdimio plotis sumažėjo kone 10 m, balandžio mėnesį fiksuotas 59,9 mero, o lapkričio

– 50,1 m. Čia taip pat 0,8 metro sumažėjo ir kopos aukštis, bei paplūdimio nuolydis ir smėlio tūris – 360 m³



39 pav. 6 profilio palyginimas 2019 04 29 – 2019 11 08 laikotarpiu

Atlikus viso kranto ruožo smėlio tūrio skaičiavimus, aiškiai matoma, kuriuose vietose vyko abrazija, o kuriuose smėlis buvo akumuliuojamas (40 pav.).



40 pav. Smėlio tūrio pokytis Melnragės paplūdimio ruože 2019 08-11 mėn.

Žemėlapyje matyti, kad smėlio netekimo tendencijos pagrinde pasiskirsto ties dinamine kranto linija ir vietomis apsauginiu kopagūbriu. Smėlis daugiausia akumuliuojamas viduryje paplūdimio ar prieškopėje bei kopoje, tam tikromis vietomis ir ties kranto linija. Šioje 17783 m² teritorijoje generuojama apie 39887,96 m³ smėlio, iš jų daugiau nei pusėje teritorijos 55,4% (9751,08 m²) fiksuojama paplūdimio zonos arda iki 2,5 m³/ m² (bendras kiekis 24236,92 m³ visoje teritorijoje).

Tuo tarpu 43% teritorijos (7780,22 m²) fiksuojama 2 m³/ m² akumuliacija (bendras kiekis 15651,04 m³ visoje teritorijoje). Likusioje 284,5 m² (1,6%) teritorijoje, smėlio atsargos nepakito.

3.3 Darbe naudotų metodų efektyvumo vertinimas

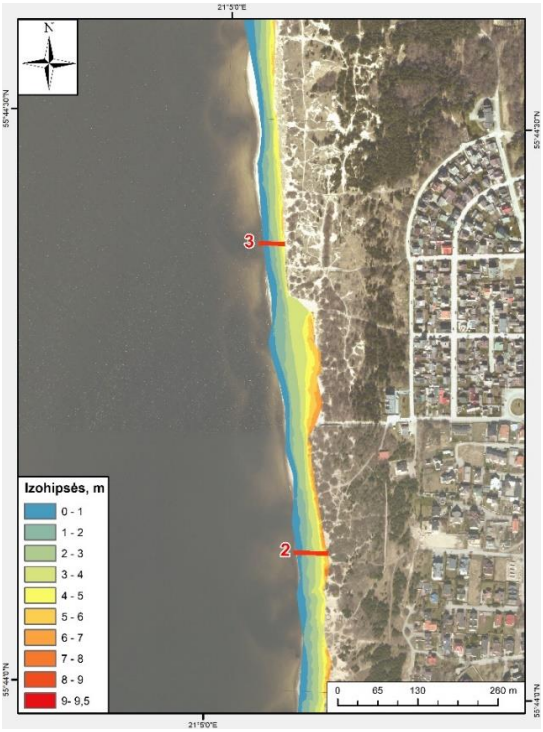
Paplūdimio ruožo tyrimams naudoti metodai buvo palyginti tarpusavyje pasirinkus maždaug 3 km ruožą nuo šiaurinio Klaipėdos molo iki II Melnragės. Šiame ruože buvo atlikta tiek skersinė kranto niveliacija, tiek paplūdimio ruožo skenavimas antžeminiu lazeriniu 3D skeneriu. Siekiant įvertinti darbe naudotų metodų efektyvumą bei duomenų kokybę, pasirinkti kriterijai, kurie geriausiai atspindi darbo ir duomenų specifiką. Kriterijai prieš tai buvo aptarti metodų, rezultatų skiltyje ir surašyti į lentelę (4 lent.).

4 lentelė. Pasirinktų kriterijų palyginimas

Metodas	Ruožas padengimas	Laiko sąnaudos	Žmonių kiekis	Hidrometeorologinių sąlygų vertinimas	XYZ duomenų tikslumas	Duomenų masyvas	Padengimas	Rezoliucija
Skersinė paplūdimio niveliacja	7 profiliai	2 val	2	Silpnas lietus matavimas įtakos neturi	Bendra H ir V paklaida neviršija 1 cm	2 MG	5% (kai 1 profilis padengia 1 linijinį metrą)	5x60 m
Anžeminė lazerinė 3D skenavimo sistema	32 stotys	4 val.	4	Silpnas lietus/ rūkas turi įtakos lazerio spindulio kritimo kampui	Bendra H ir V paklaida neviršija 1 cm + galima 1 cm pklaida atliekant pirminį duomenų apdorojimą	20-130 MG, priklausomai nuo rezoliucijos	95 %, priklausomai nuo stočių skaičiaus	Galima 0,05x0,05m; 0,1x01m; 0,25x0,25m

Vertinant metodų efektyvumą buvo atsižvelgta ne tik į duomenų kokybę ir kiekybę, bet ir į laiko sąnaudas bei žmonių kiekį reikalingą duomenims surinkti. Nors skersinė kranto niveliacija tame pačiame kranto ruože reikalauja mažiau laiko sąnaudų bei darbą atlikti užtenka 1-2 žmonių, priklausomai nuo to ar yra atliekamos papildomos užduotys, tačiau vienas profilis gali padengti tik vieną linijinį metrą. Kitaip tariant duomenų gardelė ženkliai padidėja, lyginant su antžeminiu lazeriniu 3D skenavimu. Kadangi duomenų surinkimas ilgai neužtrunka, bendram įvertinimui labai patogu jį naudoti, be to pirminiai duomenų masyvai lyginant su kitu metodu, nėra dideli. Kalbant apie antžeminę lazerinę 3D skenavimo sistemą, gaunami duomenys yra labai detalūs, aukštos rezoliucijos bei gali padengti iki 95% tiriamojo ruožo, priklausomai nuo jo geomorfologinių ypatybių bei stacionarių objektų esančių tiriamajame ruože. Tačiau taikant šį metodą, reikalingas didesnis žmonių skaičius bei galimos laiko sąnaudos padidėja iki 4 valandų, kai prieš tai minėtas metodas reikalauja 2 valandų darbo.

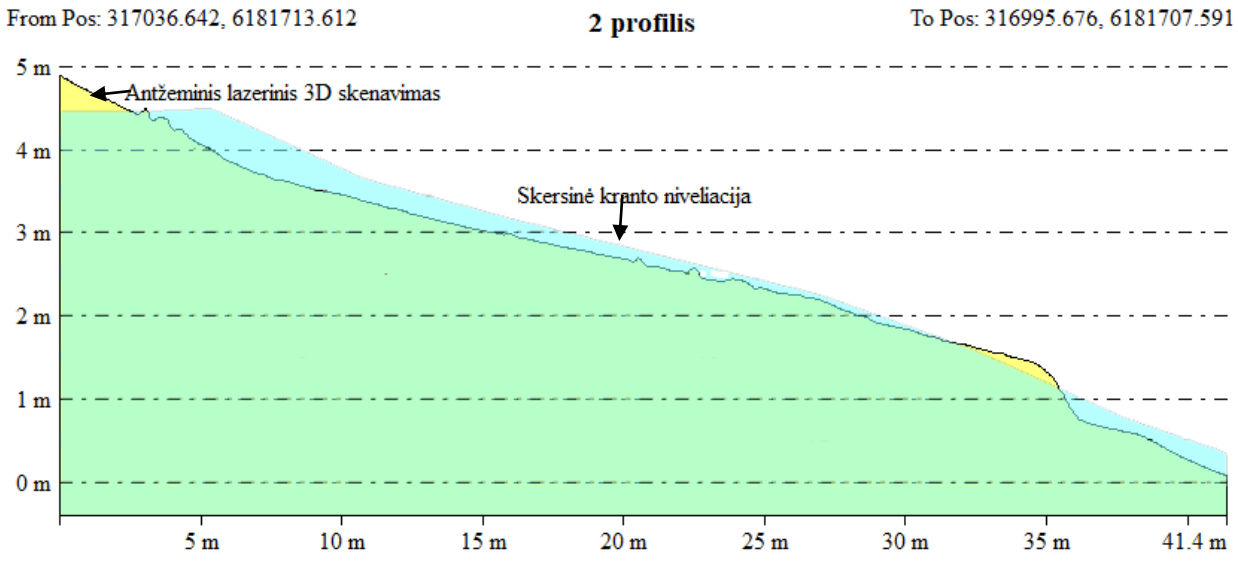
Kalbant apie galutinių duomenų analizę, buvo pasirinkta palyginti 2 skersinių profilių duomenis surinktus šiame ruože abiem metodais (41 pav.).



41 pav. Lyginamų profilių vieta

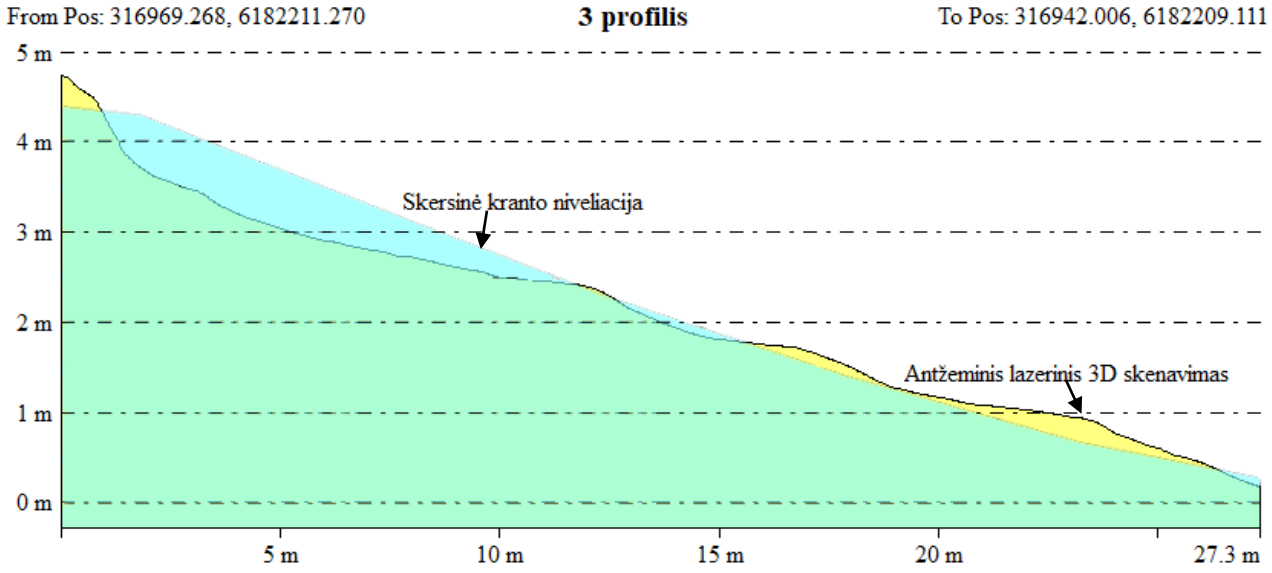
Palyginti šiaurinio Klaipėdos molo ir II Melnragės ruože esantys 2 ir 3 profiliai. Surinktų duomenų apdorojimui taikytas *Triangulation (Grid TIN of Points)* interpoliavimo metodas.

Antrajame profilyje (42 pav.) geriau išreikšta paplūdimio geomorfologija, bei paplūdimio nuolydis, čia jo skirtumas siekia net 33,3°, skersinės kranto niveliacijos profilyje jis atitinka 8,9°, o antžeminės lazerinės 3D skenavimo sistemos – 42,2°.Dėl didelių tarpų tarp duomenų, trūksta dalies kopos duomenų skersiniame kranto niveliacijos profilyje. Smėlio tūris skiriasi per 70,1 m³ abejuose profiliuose.



42 pav. 2 profilio palyginimas, taikant skersinės kranto niveliacijos metodą ir antžeminę lazerinę 3D skenavimo sistemą

Trečiajame profilyje (43 pav.) situacija labai panaši. Skersinės kranto niveliacijos profilyje paplūdimio nuolydis siekia 10,8 °, o antžeminės lazerinės 3D skenavimo sistemos – 51,28°. Taipogi čia daug geriau išreikšta kranto geomorfologija, su 3 bermomis, o skersiniame kranto niveliacijos profilyje taip pat trūksta dalies kopos viršūnės, čia skirtumas siekia 0,5 m. Smėlio tūrio pokytis čia skiriasi 52,1 m³.



43 pav. 3 profilio palyginimas, taikant skersinės kranto niveliacijos metodą ir antžeminę lazerinę 3D skenavimo sistemą

Palyginus tuos pačius profilius pastebėta, kad prasčiausiai profiliai išreiškiami naudojant skersinės kranto niveliaciją metodą. Sunku išskirti atskiras geomorfologines sistemas, tokias kaip bermas. Paplūdimio profilis vaizduojamas labai nuožulnus, lyginant su antžeminio lazerinio 3D skenavimo metu gautais duomenimis. Čia kranto skersinis profilis išreiškiamas daug aiškiau, išsiskiria bermos, aiškus kopagūbrio aukštis.

TYRIMŲ REZULTATŲ APTARIMAS

Darbe analizuoti du skirtingi kranto ruožo tyrimų metodai, siekiant įvertinti trumpalaikius ir ilgalaikius Lietuvos kranto geomorfologinius pokyčius.

Visam Lietuvos kranto ruožui, nuo Kaliningrado iki Latvijos pasienio, buvo atlikta skersinė kranto niveliacija. Gauti duomenys buvo palyginti su 2011 metų Lietuvos krantų pažeidžiamumo vertinimo metu surinktais duomenimis. Išanalizavus Lietuvai priklausančio Baltijos jūros kranto 2011-2019 metų kaitą, nustatyti pokyčiai tiek Kuršių nerijos jūriniame krante, tiek žemyniniame kranto ruože. Bendrąja prasme Kuršių Nerijos paplūdimio pločio tendencijos beveik nepakito per tiriamąjį laikotarpį: plačiausi paplūdimiai išliko ties Alksnynės rekreacine zona, o siauriausi – tarp Juodkrantės ir Pervalkos, o vidutinis paplūdimio plotis pakito tik 0,5 m, šiuo metu siekia apie 68 metrus. Sudėtingiausias Kuršių nerijos ruožas skaitomas nuo Smiltynės iki Kopgalio. Dėl ilgametės uosto plėtros, molų pastatymo ir jų rekonstrukcijos iš esmės pakito visi paplūdimio parametrai, naujoje vietoje buvos suformuotas apsauginis paplūdimio kopagūbris (Žilinskas, 1998). Tačiau pagal atsistatymo greitį ir morfologinius ypatumus, šis kranto ruožas priskiriamas nešmenų akumuliacijos atkarpai (Žilinskas, 1998; Bagdonavičiūtė ir kt., 2012), ką patvirtina platus 50–60 m paplūdimys ir 10–12 m aukščio dviejų gūbrių kopagūbris (Žilinskas ir kt., 2001), o 2019 metais ši tendencija išliko; paplūdimio plotis šioje vietoje siekia 60-80 m su 11-12 m aukščio kopagūbriu. Tačiau, lyginant 2011-2019 laikotarpio duomenis pastebimas, paplūdimio atsitraukimas daugelyje Kuršių nerijos kranto ruožų, kuris vietomis siekia iki 30 m. Taip galėjo nutikti dėl to, kad Rusija savo ruožtu vykdanti krantotvarkos veiksmus, sutvirtino Sembos pusiasalį, ko pasėkoje sutriko išilginė nešmenų pernaša ir Kuršių nerijos krantas yra mažiau pamaitinamas smėliu. Nepaisant didesnio kranto atsitraukimo, apsauginis paplūdimio kopagūbris per tiriamąjį laikotarpį beveik visame kranto ruože padidėjo vidutiniškai apie 1 m. Skirtingai nuo genetiškai ir morfologiškai monotoniško Kuršių nerijos kranto, žemyninis Lietuvos krantas daug įvairesnis savo geologine sandara, litodinaminėmis ypatybėmis, antropogeninio poveikio mastu bei krantotvarkos procesais (Bitinas ir kt., 2005). Kalbant apie žemyninio kranto ruožo kaitą per tiriamąjį laikotarpį, stebimas bendras paplūdimio pločio sumažėjimas išilgai viso kranto ruožo. Vis dar didžiulę apkrovą patiria šalia uosto esantis Melnragės krantas, nors čia ir vyksta periodinis paplūdimio papildymas smėliu, tačiau 1867 m., statant šiaurinį Klaipėdos molą, pradėjusi formuotis išplovimo įlanka išliko. Įgyvendinus naująją uosto plėtros programą, su nauju išoriniu uostu, ši įlanka gali virsti užutekiu su rimta ekologine problema. Žemyniniame kranto ruože išsiskiria ir kitos probleminės atkarpos (Karklė, Palanga, Šventoji), kurių paplūdimio pločio būklė iš esmės nepagerėjo. Tuo tarpu apsauginio paplūdimio kopagūbrio didėjimo tendencijos labai aiškios ruože nuo Palangos promenadinio tilto iki Šventosios uosto ir už jo. Ties Palanga vykdomi kasmetiniai paplūdimio papildymo smėliu bei, po didesnių audrų, kopagūbrio atstatymo darbai. Nors 2011-2019 metų laikotarpį šiauriau Palangos tilto, paplūdimio plotis

sumažėjo, tačiau kopos aukštis ženkliai padidėjo, mat čia pagrindinės smėlio atsargos kaupiasi kopagūbryje ir tik labai maža dalis povandeniniame šlaite, todėl esamoms stiprioms audroms nuardoma kranto dalis (Кирлис ir kt., 1974; Gulbinskas ir kt. 2009). Vis dar didelė problema išlieka Šventosios ruožas ties pietiniu molu, kadangi čia stebima padidėjusi akumuliacija, ko pasėkoje Šventosios uostas yra nuolat užnešamas smėliu. Kalbant bendrai apie visą Lietuvos krantą, galima teigti kad jis pakankamai stabilus, nes vidutinės kranto atsitraukimo ir priaugimo tendencijos labai mažai skiriasi tarpusavyje. Per tiriamąjį laikotarpį visame kranto ruože paplūdimio plotis vidutiniškai sumažėjo 8,67 metro, o padidėjo – vidutiniškai 8,66 metro, bendras vidutinis pokytis siekia -1,5 m.

Darbe įvertintas trumpalaikis probleminio kranto ruožo ties Klaipėdos šiauriniu molu link II Melnragės pokytis, analizuojant duomenis gautus stacionare antžemine lazerine 3D skenavimo sistema. Matavimai atlikti šių metų balandžio 29 ir lapkričio 8 dienomis, atsižvelgiant į hidrometeorologinių sąlygų vertinimą, nurodytą 2019 m. kranto monitoringo programos plane. Maždaug 3 km ruože išanalizuoti 7 profiliai, pritaikius *Triangulation (Grid TIN of Points)* interpoliacijos metodą. Apskritai visuose profiliuose stebimas paplūdimio pločio sumažėjimas ir kopagūbrio aukščio padidėjimas. Ties šiauriniu Klaipėdos molu šie pokyčiai daug didesni, lyginant su šiauriau esančiais profiliais, išskyrus paskutinįjį – ties II Melnrage. Čia stebimas didžiausias paplūdimio bei kopagūbrio sumažėjimas, taip pat labai ryškus smėlio tūrio pokytis iki 300 m^3, kai vidutinis sumažėjimas profilyje siekė 70-110 m^3. Atlikus viso tiriamojo kranto ruožo tūrio pokyčio analizę, nustatyta, kad labiausiai ardoma palei kranto liniją, vietomis ties apsauginiu kopagūbriu. Akumuliacija labiausiai pastebima išilgai paplūdimio vidurio, ties kopa ir vietomis ties kranto linija. Tačiau bendra šio kranto ruožo kaitos tendencija yra neigiama. Tai rodo ne tik, kad daugiau nei pusėje tirto ruožo sumažėjo smėlio tūris, bet stebimos aiškiai išreikštos bermos visuose profiliuose ir beveik visame tiriamajame ruože.

Lyginant šių dviejų metodų efektyvumą, iš esmės negalime teigti, kad vienas metodas visapusiškai geresnis už kitą. Atliekant ilgalaikius stebėjimus dideliuose kranto ruožo atkarpose, patogu naudoti skersinės kranto niveliacijos metodą. Šis metodas jau nuo seno naudojamas ne tik Lietuvos kranto zonos tyrimas (Janukonis, Jarmalavičius ir kt., 2012), bet ir visame pasaulyje. Daugelis mokslininkų (Dean ir kt., 2002) šį metodą rekomenduoja, kaip pakankamai nesudėtingą ir nereikalaujantį papildomų išlaidų. Darbai atliekami greitai, be didesnių laiko sąnaudų, pirminis duomenų masyvas nedidelis. Tačiau smėlio tūrio pokytis gali būti vertinamas tik atskiruose profiliuose, nes dėl sąlyginai didelio atstumo tarp profilių, gali susidaryti nemažos paklaidos išilgai jų (Dean, 2002), kadangi 1 profilis padengia tik vieną linijinį metrą. Taip pat, svarbu nusistatyti mažiausiai kintantį ataskaitos tašką, nes kaip žinome kopos aukštis taip pat nuolat kinta, tačiau sąlyginai nedaug, arba naudoti jau prieš tai darytų matavimų duomenis. Siekiant prognozuoti išteklių valdymą bei planavimą, dažnai naudojama kiekybinė aukštos skiriamosios gebos informacija apie

pakrančių reljefą. Tokie duomenys padeda įvertinti tiriamojo kranto ruožo topografiją. Šiems darbams atlikti, geriausiai tinka antžeminiai lazeriniai 3 D skeneriai. Skenuojant, gaunama netolygi labai tanki taškinė trijų dimensijų (x, y, z) Žemės paviršiaus geometrinė ir radiometrinė informacija – taškų debesis (*point cloud*) (Медведев 2006), atstumu iki 120-340 m. Atliekant tokio tipo kranto ruožo matavimus, labai svarbu tinkamai įverti pačio kranto geomorfologiją. Siekiant užtikrinti darbų kokybę, nepatartina vadovautis tik viena išdėstymo metodika visiems kranto ruožams. Siauriems paplūdimiams su sąlyginai neaukšta kopa, užtenka stotis dėstyti viena paskui kitą kas 150 metrų, tačiau platesniuose paplūdimiuose vertėtų stotis išdėstyti tankiau, tik palei kranto liniją tiek palei kopą/ ant jos. Praktikoje pastebėta, kad neretai duomenys gauti nuo kopos viršaus, nėra labai reikšmingi, kadangi kopos šlaitą šiuo atveju sunkiau nuskenuoti. Esant siauriems paplūdimiams ir aukštoms kopos, būtina matavimų stotis sutankinti, bent iki 75 m. Esant dideliam paplūdimio nuolydžiui, su gerai išreikštomis bermomis, būtina stotis išdėstyti, taip kad kiekvienas bermos šlaitas būtų nuskenuotas. Taigi, situacija yra įvertinama kiekvieno matavimo metu, specialistui individualiai parinkus kaip bus išdėstytos matavimų stotys. Gauti galutiniai duomenys yra labai aukštos rezoliucijos, padengiantis iki 95% tiriamojo ploto, priklausomai nuo geomorfologijos bei jame esančių stacionarių objektų. Kitą vertus tokių duomenų masyvai, net gi labai nedidelio ruožo (iki 3 km), labai dideli ir dėl to, programoms neretai sunku juos apdoroti.

Kranto zonos tyrimams taip pat gali naudojami ir fotogrametrijos metodai (Sesil, 2010). Aukštosios skiriamosios gebos palydoviniai, orografiniai vaizdai puikiai tinka įvertinti ne tik dumblių žydėjimo mastą priekrantėse, bet taip pat galima gauti informaciją ir apie kranto linijos, paplūdimio pločio, pokyčius bei įvertinti kranto ruožo apaugimą augalija procentais. Tačiau kol kas sunku iš tokių vaizdų gauti tikslią aukščio reikšmės koordinatę, nors įvairios programinės įrangos pagalba, apdorojant duomenis, pozicionavimo paklaida siekia iki 1 cm.

Taip pat vertinat kranto būklę, labai svarbūs ir smėlio dalelių dydžio tyrimai, kranto linijos matavimai ir kt. geomorfologinių parametrų tyrimai, kurie leistų geriau spręsti apie veikiančius hidrodinaminius bei eolinius procesus.

IŠVADOS

1. 2011-2019 metų laikotarpiu, galima teigti, kad bendrai visame Lietuvos kranto ruože stebimi ardos procesai. Bendras vidutinis paplūdimio pločio pokytis siekia -1,5 ±0,6 m, nors vidutinės kranto atsitraukimo ir priaugimo tendencijos labai mažai skiriasi tarpusavyje; paplūdimio plotis vidutiniškai sumažėjo 8,67 ±0,6 m, tačiau padidėjo tik vidutiniškai 8,66 ±0,6 m.
2. 2019 metų, atkarpoje ties Klaipėdos šiauriniu molu iki II Melnragės, laikotarpiu nuo balandžio 29 iki lapkričio 8d., ir toliau vyksta abraziniai procesai, labiausiai jaučiami ties susiformavusia išplovimo įlanka. Per šį laikotarpį 55,4% teritorijos neteko 24236,92 m^3 smėlio, fiksuojama arda 2,5 m^3/ m^2. Tačiau paplūdimys pasipildė 15651,04 m^3 smėlio kiekiu, tik 1,6% visos teritorijos išliko nepakitusi.
3. Skersinės kranto niveliacijos privalumas tas, kad metodas yra greitas ir efektyvus bei nedidelis pirminis duomenų masyvas. Tačiau atliekant tikslius smėlio tūrio skaičiavimus, šis metodas netinka dėl galimų didelių paklaidų išilgai profilių, kadangi padengia labai nedidelę ploto dalį (5% 3 km ruožui).
4. Antžeminio lazerinio 3D skenavimo metu gaunamas pilnas ruožo padengimas (iki 95% 3 km ruože) duomenimis, priklausomai nuo techninės užduoties galima 5 cm rezoliucija. Tačiau gaunami duomenų masyvai labai dideli (3km ruože 5 cm rezoliucijos failo dydis siekia ~130 MG (2,5-3,2 mln. taškų). Be to, metodo taikymui ir duomenų apdorojimui reikalingos didesnės laiko sąnaudos bei didesnis kvalifikuotų specialistų skaičius.
5. Metodai ir jų galutiniai produktai per daug skirtingi, kad būtų galima nustatyti vieną vienintelį metodą, taikytiną kranto tyrimams. Darbams reikalaujantiems tikslumo rekomenduojama naudoti antžeminę lazerinę 3D skenavimo sistemą, o darbams, kurie apima didelius kranto ruožus ir vertinimas gali būti tik bendrinis – dėl laiko sąnaudų ir mažesnio duomenų masyvo, geriau taikyti skersinės kranto niveliacijos metodą. Būtina įtraukti ir papildomus tyrimus, kurie leistų geriau spręsti apie esamą kranto būklę bei prognozuoti pokyčius ateityje.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Ayad Y. M. 2005. Remote sensing and GIS in modeling visual landscape change: a case study of the northwestern arid coast of Egypt. Landsc. *Urban Plann*. 73, p. 307–325.

Alesheikh A. A., Ghorbanali A., Talebzadeh A. 2004. Generation the coastline change map for Urmia Lake by TM and ETM+ imagery. *Map Asia Conference*, Beijing, China.

Bagdanavičiūtė I., Kelpšaitė L., Daunys D. 2012. Assessment of shoreline changes along the Lithuanian Baltic Sea coast during the period 1947–2010. *Baltica* 25 (2), p. 171–184.

Bayram B., Acar U., Seker D., Ari A. 2008. A novel algorithm for coastline fitting through a case study over the Bosphorus. *J. Coastal Res*. 24(4), p. 983–991.

Bascom W. H. 1951. The relationship between sand size and beach face slope. *Transactions – American Geophysical Union 32*, p. 866–874.

Bird E. 2008. Bars and Throughs. Coastal Geomorphology: An Introduction. Chichester: *Wiley and Sons*, p. 242 –245.

Bitinas A. 1997. Quaternary deposits on the outerop Olando Kepurė. *The Filth Marine Geological Conference "The Baltic "*. Abstracts Quide, p. 109-110. Vilnius.

Bitinas A., Žaromskis R., Gulbinskas S., Damušytė A., Žilinskas G., Jarmalavičius D. 2005. The results of integrated investigations of the Lithuanian coast of the Baltic Sea: geology, geomorphology, dynamics and human impact. *Geological Quarterly* Vol. 49(4), p. 355–362. Warszawa.

Brander R. W. 2004. Coastal Bar. *Encyclopedia of Geomorphology* (Vol. 1), ed. A. S. Goudie. London: Routledge, p. 54–56.

Brock J. C., Purkis S. J. 2009. The Emerging Role of Lidar Remote Sensing in Coastal Research and Resource Management. *Journal of Coastal Research* SI (53), p. 1–5.

Carter R. W. G., Johnston T. W., McKenna J., Orford J. D. 1987. Sea level, sediment supply and coastal changes: examples from the coast of Ireland. *Progress in Oceanography* 18(1-4), p. 79–101.

Chen X. 2002.. Using remote sensing and GIS to analyze land cover change and its impacts on regional sustainable development. *Int. J. Remote Sens*. 23(1), p. 107–124.

Cooper J. A. G., Navas F. 2004. Natural bathymetric change as a control on century-scale shoreline behavior. *Geology* 32(6), p. 513–516.

Čekanavičius V., Murauskas G. 2000. Statistika ir jos taikymas I. Vilnius: *TEV*.

Červinskas E. 1978. Kartografinio vaizdo raida. Kuršių marios. p. 93-154. Vilnius: *Mokslas*.

Dailidienė I., Davulienė L., Stankevičius A., Myrberg K. 2006. Sea level variability at the Lithuanian coast of the Baltic Sea. *Boreal Environ* Res. 11 (2), p. 109–121.

Davies J. L. 1964. A morphogenetic approach to world shorelines. *Zeitschrift für Geomorphologie* 8, p. 127–142.

Dean R.G., Dalrymple R.A. 2002. Coastal Processes with Engineering Applications. *Cambridge University* Press, Cambridge.

Dubarbier B., Castelle B., Marieu V., Ruessink G. 2015. Process-Based Modeling of Cross-Shore Sandbar Behavior. *Coastal Engineering* 95, p. 35–50.

Dubois R. N. 1972. Inverse relation between foreshore slope and mean grain size as a function of the heavy mineral content. *Geological Society of America Bulletin* 83, p. 871–876.

Ekercin S. 2007. Coastline change assessment at the Aegean Sea coasts in Turkey using multitemporal Landsat imagery. *J. Coastal Res*. 23(3), p. 691–698.

Elko N., Feddersen F., Foster D., Hapke C., McNinch J., Mulligan R., Özkan-Haller H. T., Plant N., Raubenheimer B. 2014. The Future of Nearshore Processes Research. *The nearshore processes community*, p. 4–5.

Fernandez-Mora A., Calvete D., Falques A., De Swart H. E. 2015. Onshore Sand-Bar Migration in the Surf Zone: New Insights into the Wave-Induced Sediment Transport Mechanisms. *Geophysical Research Letters* 42, p. 2869–2877.

Gelumbauskaitė L. Ž. 2003. On the Morphogenesis and Morphodynamics of the Shallow Zone off the Kuršių Nerija (Curonian Spit). *Baltica* 16(1), p. 37–42.

Gelumbauskaitė L. Ž., Šečkus J. 2005. Late Quaternaty shore formations of the Baltic basins in the Lithuanian sector. *Geologija* Nr. 52, p. 34–45.

Gelumbauskaitė L. Ž. 2014. Baltijos jūros Krantų erozijos problemų analizė ir sprendimo būdai. *Studija*, p. 28–43. Klaipėda.

Ghanavati E., Firouzabadi P. Z., Jangi A. A., Khosravi S. 2008. Monitoring geomorphologic changes using Landsat TM and ETM+ data in the Hendijan River Delta, South west Iran. I*nt. J. Remote Sens*. 29(4), p. 945–959.

Gudelis V. 1993. Jūros krantotyros žodynas. Vilnius.

Gudelis V. 1998. Lietuvos įjūris ir pajūris. p. 103. Vilnius.

Guillén J., Stive M. J. F., Capobianco M. 1999. Shoreline evolution of the Holland coast on a decadal scale. *Earth Surface Processes and Landforms* 24, p. 517–536.

Gulbinskas S. 1999. Antropogeninė apkrova ir geologiniai procesai Baltijos jūroje. Lietuvos mokslas. *Geomokslai*, p. 338–335. Vilnius.

Gulbinskas S., Blažauskas N., Trimonis E. 2009. Smėlio išteklių Kuršių-Sambijos plynaukštėje (Juodkrantės-Preilos rajonas) panaudojimo krantų tvarkymui galimybės. Jūros ir krantų tyrimai – 2009. *Konferencijos medžiaga*, p. 83–83. Klaipėda.

Healy T. 1996. Sea level rise and impact on nearshore sedimentation: an overview. *Geologische Rundschau* 85(3), p. 546–553.

Hesp P. 1988. Surfzone, beach, and foredune interactions on the Australian south east coast. Journal of coastal research. *Spec. Issue* 3, p. 15–25.

Honeycutt M. R., Krantų D. 2003. Influence of the geologic framework on spatial variability in long-term shoreline change, CapeHenlopen to RehobothBeach, Delavare. *Journal of Coastal Research* SI 38, p. 147–167.

Inman D.L., G.A. Rusnak. 1956. Changes in Sand Level on the Beach and Shelf at La Jolla. *U.S. Army Corps of Engineers*, Beach Erosion Board, Tech. Memo. p. 82, 30. California.

Janukonis Z., 1994. Pietrytinė Baltijos jūros kranto zonos sandara, reljefas bei litomorfodinamika. *Geografijos metraštis* Nr. 28, p. 212–234.

Janukonis Z., 1999. Jūros krantotyra Lietuvoje. *Lietuvos mokslas*, Kn. 23. Geomokslai, p. 434–449.

Janušaitė R., Jukna L. 2017. Kuršių nerijos priekrantės zonos sėklių morfologija. *Geografijos metraštis* 50.

Jarmalavičius D. 2000. Paplūdimio ir kopagūbrio sąnašų granuliometrinės sudėties ypatumai jūros krante. *Geografija* 36 (1), p. 10–15.

Jarmalavičius D. 2012. Kompleksiškumas Kuršių nerijos Lietuvos dalies kranto sistemoje, *Geografijos metraštis* 45.

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

Jarmalavičius D., Pupienis D., Žilinskas G. 2014. Sea Level Fluctuation and Shoreline Evolution on Decadal Time Scale, Lithuanian Baltic Sea Coast. *Journal of Coastal Research*, SI 70, p. 164-169.

Jarmalavičius D., Satkūnas J., Žilinskas G., Pupienis D., 2011. Dynamics of Beaches of the Lithuanian Coast (The Baltic Sea) for the Period 1993–2008 Based on Morphometric Indicators. *Environmental Earth Scienc*e 65 (6), p. 1727–1736.

Jarmalavičius D., Žilinskas G. 1997. Ryšiai tarp jūros kranto morfolitologinių parametrų. *Geografijos metraštis* 30, p. 79–91.

Jarmalavičius D., Žilinskas G., Pupienis D., Fiodorovič J. 2014. Morfolitologinės anomalijos Kuršių nerijos jūriniame krante. *Gamtos tyrimų centras*.

Kelpšaitė L., Herrmann H., Soomere T., 2008. Wave regime differences along the eastern coast of the Baltic Proper. Proc. Est. Acad. Sci. 57 (4), p. 22–231.

Kelpšaitė L., Dailidienė I., Soomere T. 2011. Changes in wave dynamics at the south-eastern coast of the Baltic Proper during 1993e2008. *Boreal Environ. Res*. 16 (Suppl. A), p. 220–232.

Kriaučiūnienė J., Gailiušis B., Kovalenkovienė M. 2006. Peculiarities of sea wave propagation in the Klaipėda Strait, Lithuania. *Baltica* 19 (1), p. 20–29.

Kuleli T. 2005. Change detection and assessment using multitemporal satellite image for North-East Mediterranean Coast. *GIS Development Weekly*, 1 (5).

Kuleli T. 2009. Quantitative analysis of shoreline changes at the Mediterranean Coast in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, ISSN: 0167–6369 (Print) 1573–2959 (Online), Springer Link Date: Tuesday, June 30, DOI: 10.1007/s10661–009–1057–8.

Liu H.; Sherman D., Gu, S. 2007. Automated extraction of shorelines from airborne light detection and ranging data and accuracy assessment based on Monte Carlo simulation. *Journal of Coastal Research* 23(6), p. 1359–1369.

Masselink G., Short A. D. 1993. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. *Journal of coastal research* 9 (3), p. 785–800.

McLean R. F., Kirk R. M. 1969. Relationship between size, size sorting and foreshore slope on mixed sand-shingle beaches. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 12, p. 138–155.

Mėžinė J., Zemlys P., Gulbinskas S. 2013. A Coupled Model of Wave-Driven Erosion for the Palanga Beach, Lithuania. *Baltica* 26 (2), p. 169–176.

Muttitanon W., Tripathi N. K. 2005. Landuse/land cover changes in the coastal zone of Ban Don Bay, Thailand using Landsat 5 TM data. *Int. J. Remote Sens* 26(11), p. 2311–2323.

Nordstrom C.E. D.L. Inman. 1975. Sand Level Changes on Torrey Pines Beach, California. *U.S. Army Coastal Engineering Research Center* M.P, p. 11–75, 166.

Pape L., Ruessink B. G. 2008. Multivariate Analysis of Nonlinearity in Sandbar Behavior. *Nonlinear Processes Geophysics* 15, p. 145–158.

Pope J., Lockhart J. H. 2008. Coastal Engineering Manual, cp. 1. *US Army Corps of Engineers*. Washington.

Price T. D., Ruessink B. G., Castelle B. 2014. Morphological Coupling in Multiple Sandbar Systems – A Review. *Earth Surface Dynamics* 2, p. 306–321.

Post J. C., Lundin C. G., Editors. 1996. Guidelines for Integrated Coastal Zone Management. *The International Bank for Reconstruction and Development*/THE WORLD BANK. Washington.

Psuty N. P. 1988. Sediment budget and dune/beach interaction. Journal of coastal research. *Spec. Issue* 3, p. 1–4.

Riggs S. R., Cleary W. J., Snyder S. W. 1995. Influence of inherited geologic framework on barrier shore face morphology and dynamics. *Marine Geology* 126, p. 213–234.

Ruessink G. B., Price T., Castelle B. 2013. Finite-Amplitude Behavior of Alongshore Variability in Nearshore Sandbars: Observations and Modelling. *Coastal Dynamics Proceedings*, p. 1–14.

Saye S. E., van der Wal D., Pye K., Blott S. J. 2005. Beach-dune morphological relationships and erosion/accretion: An investigation at five sites in England and Wales using LIDAR data. *Geomorphology* 72, p. 128–155.

Sener E., Davraz A., Sener S. 2009. Investigation of Aksehir and Eber Lakes (SW Turkey) Coastline Change with Multitemporal Satellite Images. *Water Resources Management (SCI),* ISSN: 0920–4741 (Print) 1573–1650 (Online), Springer Link Date: Tuesday, June 09, DOI: 10.1007/s11269-009–9467–5.

Sesli F. A., Karslı F., Colkesen I., Akyol N. 2009. Monitoring the Changing Position of Coastlines using Aerial and Satellite Image Data: An Example from the Eastern Coast of Trabzon, Turkey. *Environ. Monit. Assess*. 153(1–4), p. 391–403.

Sesli F. A. 2010. Mapping and monitoring temporal changes for coastline and coastal area by using aerial data images and digital photogrammetry: A case study rom Samsun, Turkey. *International Journal of the Physical Science* Vol. 5(10), p. 1567–1575.

Siddiqui M. N., Maajid S. 2004. Monitoring of geomorphological changes for planning reclamation work in coastal area of Karachi, Pakistan. *Adv. Space Res*., 33, p. 1200–1205.

Shaghude Y. W., Wannas K. O., Lunden B. 2003. Assessment of shoreline changes in the western side of Zanzibar channel using satellite remote sensing. *Int. J. Remote Sens*. 24(23), p. 4953–4967.

Sherman D. J., Bauer B. O. 1993. Dynamics of beach-dune systems. *Progress in Physical Geography* 17 (4), p. 413–447.

Short A. D. Hesp, P. A. 1982. Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia. *Marine geology* 48, p. 259–284.

Short A. D. 1988. Wave, beach, foredune, and mobile dune interactions in southeast Australia. Journal of coastal research. *Spec. Issue* 3, p. 5–9.

Stive M.J.F., Roelvink D.J.A., de Vriend H.J. 1990. Large-scale Coastal Evolution Concept. *Proceedings of the 22nd International Conference on Coastal Engineering*, p. 1962–1974.

Stive M.J.F., Aaminkhof S.G.J., Hamm L., Hanson H., Larson M., Wijnberg K. M., Nicholls R.J., Capobianco M. 2002. Variability of shore and shoreline evolution. *Coastal Engineering* 47, p. 211–235.

Storms J. E. A., Weltje G. J., van Dijke J. J., Geel C. R., Kroonenberg S. B. 2002. Process-response modeling of wave-dominated coastal systems: simulating evolution and stratigraphy on geological time scales. *Journal of Sedimentary Research* 72(2), p. 226–239.

Swart D. H. 1991. Beach nourishment and particle size effects. *Coastal engineering* 16 (1), p. 61–81.

Šimoliūnas J. 1933. Šventosios uostas. Kaunas.

Šimoliūnas J. 1939. Klaipėdos uostas. Kaunas.

Thom B. G. 1984. Transgressive and regressive stratigraphies of coastal sand barriers in Southern Australia. *Marine Geology* 56, p. 137–158.

Tonisson H., Orviku K., Lapinskis J., Gulbinskas S., Žaromskis R. 2013. The Baltic States. Estonia, Latvia and Lithuania. In E. Pranzini, A. Williams (eds.). *Coastal Erosion and Protection in Europe*, p. 47–80. London and New York: Rautledge.

Vanderstraete T., Goossens R., Ghabour T. K. 2006. The use of multitemporal Landsat images for the change detection of the coastal zone near Hurghada, Egypt. *Int. J. Remote Sens*. 27(17), p. 3645–3655.

Zhang J., Wang Y., Wang Z. 2007. Change analysis of land surface temperature based on robust statistics in the estuarine area of Pearl River (China) from 1990 to 2000 by Landsat TM/ETM+ data. *Int. J. Remote Sens*. 28(10), p. 2383–2390.

Žaromskis R. 1994. Hidrotechninių įtvarų įtaka kranto zonos akvaliniam kompleksui. *Geografija* Nr. 30, p. 35–39.

Žaromskis R. 1999. Apykaitiniai procesai jūros kranto zonoje. *Lietuvos mokslas*, Kn. 23 Geomokslai, p. 416–433.

Žaromskis R. 2008. Baltijos jūros ir Kuršių marių Lietuvos krantų tyrimai bei krantodaros procesų rajonavimas. *Jūros ir krantų tyrimai – 2008*. Konferencijos medžiaga. Palanga, balandžio 9–11, p. 171–177. Klaipėda.

Žaromskis R., Gulbinskas S. 2010. Main patterns of coastal zone development of the Curonian Spit, Lithuania. *Baltica* 23 (2), p. 149–156.

Žaromskis R., Gulbinskas S. 2018. Krantodara ir krantotvarka. Klaipėdos universiteto leidykla. Klaipėda.

Žilinskas G. 1997. Baltijos jūros Lietuvos kranto ilgis bei jo nustatymo problemos. *Geografijos metraštis* Nr. 31, p. 99–109.

Žilinskas G. 1998. Kranto linijos dinamikos ypatumai Klaipėdos uosto poveikio zonoje. *Geografijos metraštis* Nr. 31, p. 99–109.

Žilinskas G., Jarmalavičius D. 2003. Lietuvos jūrinio kranto dinamikos tendencijos. *Geografijos metraštis* Nr. 36(1) 8, p. 0–87.

Žilinskas G., Jarmalavičius D., Kulvičienė G. 2000. Uragano „Anatolijus“ padariniai Lietuvos jūriniame krante. *Geografijos metraštis* Nr. 33, p. 191–206.

Žilinskas G., Jarmalavičius D., Pupienis D. 2003. Kranto linijos dinamikos ypatumai Klaipėdos uosto poveikio zonoje. *Geografijos metraštis* Nr. 31 p. 91–107.

Žilinskas G., Jarmalavičius D., Pupienis D. 2005. Uragano „Ervinas“ padariniai Lietuvos jūriniame krante. *Geografijos metraštis* Nr. 38(1), p. 49–65.

Žilinskas G., Jarmalavičius D., Minkevičius V. 2001. Eoliniai procesai jūros krante. p. 283. Vilnius.

Žilinskas G. 2005. Trends in Dynamic Processes along the Lithuanian Baltic Coast. *Acta Zoologica Lituanica* 15(2), p. 204–207.

Žilinskas G., Jarmalavičius D. 2007. Interrelation of morphometric parameters of the submarine shore slope of the Curonian spit, Lithuania. *Baltic* 20 (1–2), p. 46–52.

Weng Q. 2002. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS, and stochastic modeling. J. Environ. *Manage* 64, p. 273–284.

Wu W. 2007. Coastline evolution monitoring and estimation: A case study in the region of Nouakchott, Mauritania. *Int. J. Remote Sens.* 28(24), p. 5461–5484.

Гуделис В. К., Кирлис В. И., Мочекене С. А. 1977. Динамика и режим Восточно-Балтийского вдольберегового потока наносов у берегов пересыпи Куршю нярия по данным 1965-1974 гг. Тр. АН Лит. ССР. серия Б, Т. 4(101), p. 123–128.

Гуделис В. К., Януконис З. А. 1977. Динамическая класификация бере гов и районирование береговой зоны Юго-Восточной части Балтий ского моря (2. Районирование береговой зоны). Тр. АН Лит. ССР, се рия Б, Т. 4(101), p. 135–145.

Кирлис В. И., Януконис З. А., Жаромскис Р. Б. 1974. Морфодинамиче ские особенности верхней части подводного берегового склона Юго восточного сектора Балтийского моря (1. Пересыпь Куршю Нярия). Тр. АН Лит. ССР, серия. Б, Т. 6(85), p. 153–164.

Медведев, Е. М. 2006. Методы лазерной локации и цифровой аэрофотосъемки в современной топографии. *Геодезия и картография* 6, p. 40–44; 8, p. 30–35; 9, p. 40–47; 10, p. 46–53.

Кирлис В. И., Мочекене С. А., Януконис З. А. 1981. Интенсивность штор мовых изменений пляжа и защитных дюн в условиях отмелого мор ского берега Юго-восточной части Балтийского моря. Тр. АН Лит. ССР, с. Б, Т. 1(122), p. 101–108.

PRIEDAI

1 priedas. 2019 04 28 dienos ir 2019 11 08 dienos 3D lazerinio skenavimo duomenys