



**VILNIAUS UNIVERSITETAS
CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS
GEOMOKSLŲ INSTITUTAS
HIDROLOGIJOS IR KLIMATOLOGIJOS KATEDRA**

Arnas Arlauskas

Klimato sistemų studijos
Magistro baigiamasis darbas

**PAPLŪDIMIO ŽVIRGŽDO IR GARGŽDO SAŲNAŠOS -
LITOSTATISTINIS JŪROS KRANTO DINAMIKOS VERTINIMO
INDIKATORIUS**

Darbo vadovas (-ė)
prof. dr. Donatas Pupienis

Vilnius 2025



VILNIUS UNIVERSITY
FACULTY OF CHEMISTRY AND GEOSCIENCES
INSTITUTE OF GEOSCIENCES
DEPARTMENT OF HYDROLOGY AND CLIMATOLOGY

Arnas Arlauskas
Climate systems studies
Master thesis

**BEACH PEBBLE AND GRAVEL SEDIMENTS - A
LITHOSTATISTICAL INDICATOR FOR ASSESSING COASTAL
DYNAMICS**

Scientific adviser
prof. dr. Donatas Pupienis

Vilnius 2025

TURINYS

IVADAS.....	4
1. LITERATŪROS APŽVALGA	5
2. PRADINIAI DUOMENYS IR DARBO METODIKA	8
2.1 Tyrimų rajonas	8
2.2 Pradiniai duomenys	9
2.3 Metodika.....	10
3. UOLIENŲ NUSTATYMAS IR KLASIFIKACIJA	12
3.1 Paplūdimio uolienu klasifikacija pagal kilmę	12
3.2 Uolienu pasiskirstymas pagal jų kilmę	12
3.3 Uolienu pasiskirstymas	13
3.4 Duominuojančių uolienu pasiskirstymas.....	15
3.5 Uolienu ryšys.....	21
4. PAPLŪDIMIO ŽVIRGŽDO IR GARGŽDO MORFOMETRINIAI RODIKLIAI	24
4.1 Uolienu dydis	24
4.2 Uolienu sferiškumas.....	25
4.3 Uolienu apzulinimas.....	26
4.4 Sferiškumo ir apzulinimo kaita.....	30
5. KRANTO DINAMINIAI PROCESAI.....	33
5.1 Kranto linijos pokytis.....	33
5.2 Vėjo analizė.....	35
6. HIDRODINAMINIŲ VEIKSNIŲ ANALIZĖ	38
6.1 Bangų analizė	38
6.2 Jūros lygio analizė	38
IŠVADOS	41
LITERATŪROS SĄRAŠAS	42
SANTRAUKA.....	45
SUMMARY	46

IVADAS

Paplūdimio sąnašos suneštos bangų, srovių ar vėjo formuoja krantą. Stambiaklastinės (žvirgždas, gargždas) sąnašos yra vienos iš atspariausių natūralių gamtinių priemonių, apsaugančių krantą nuo erozijos. Inžinieriai, kuriantys pakrančių apsaugos projektus, jau seniai pripažino jų efektyvumą, tačiau iki šiol daugiausiai mokslininkų dėmesio sulaukė paplūdimių smėlio sąnašos. Pastaruoju metu mokslininkai pripažįsta, kad stambiaklastinių dalelių forma, dydis, uolienos rūšis ir jų rūšiavimas lemia nešmenų pernašą bei kranto dinamines tendencijas. Remiantis šių medžiagų morfologiniais rodikliais, tokiais kaip dalelių dydis, sferiškumas ir apvalumas, galima įvertinti sąnašų reakciją į krante vykstančius dinامينius procesus, nes stambiaklastinės medžiagos mechaninis dūlėjimo greitis priklauso nuo gamtinių procesų. Dūlėjimo intensyvumas nustatomas pagal dalelių morfologiją, daugiausia pagal jų apvalumą ir sferiškumą, o jų pokyčiai gali būti sietini su krante dominuojančiais procesais. Minėti rodikliai taip pat parodo pernašą ir jos greitį, nuotolį nuo pirminių šaltinių ir pernašos tipą. Jūros kranto žvirgždo ir gargždo sąnašų tyrimai ypač svarbūs norint suprasti nuogulų kilmę, išilginio uolienų transportavimo procesus ir audrų poveikį krantui. Tradiciniai sedimentologiniai metodai dažniausiai orientuojasi į smėlėtus paplūdimius, tačiau žvirgždėtos pakrantės, nors ir yra retesnės, daugelyje regionų atlieka svarbų vaidmenį, kurie natūraliai gesina bangų ir potvynių energiją. Taikant statistinius ir morfometrinius metodus, tyrėjai gali kiekybiškai įvertinti nuogulų charakteristikas, kad atkurtų praeities hidrodinamines sąlygas ir numatytų būsimus pajūrio kranto pokyčius. Stambesnės litologijos nuogulos (žvirgždas ir gargždas) pasižymi didesniu atsparumu erozijai, todėl atlieka svarbų vaidmenį stabilizuojant pakrantės ruožus, ypač tose vietose, kur smėlio sąnašos yra nuolat išplaunamos bangų, potvynių ir atoslūgių ar srovių.

Daugelyje šalių buvo vykdomi įvairūs stambiaklastinių paplūdimio sąnašų, tokių kaip žvirgždo ir gargždo, įvertinimai ar tyrimai, apie tokius tyrimus rašė J. Bluck (1967), Bin Lee ir kt. (2020) A.T Williams ir N. E Caldwell (1988) ir daugelis kitų, tačiau Lietuvoje iki šiol jaučiamas panašių darbų trūkumas. Pagrindinių minėtų sąnašų pasiskirstymas ir judėjimas yra pagrindiniai indikatoriai, leidžiantys spręsti apie kranto zonos būklę. Šie duomenys padeda identifikuoti erozijos ir akumuliacijos zonas, vertinti krantų stabilumą bei prognozuoti galimus pakrantės pokyčius. Taip pat, sąnašų stebėseną leidžia įvertinti žmogaus poveikio (pvz., paplūdimių papildymo, molų statybos ar krantų tvirtinimo) efektyvumą. Būtent dėl šių priežasčių buvo atliekamas šis tyrimas, kuris skirtas gauti naujų žinių apie jūros paplūdimio žvirgždo ir gargždo sąnašas bei remiantis jų litostatistiniais rodikliais įvertinti jūros kranto dinamiką.

Darbo objektas - Kuršių Nerijos jūros kranto stambiaklastinės (žvirgždo ir gargždo) sąnašos.

Darbo tiklas - remiantis paplūdimio žvirgždo ir gargždo sąnašų litostatistiniais rodikliais įvertinti jūros kranto dinamiką.

Darbo uždaviniai:

1. Suklasifikuoti ir nustatyti paplūdimio nuogulas;
2. Išanalizuoti paplūdimio žvirgždo ir gargždo morfometrinius rodiklius;
3. Atlikti hidrodinaminių veiksnių analizę;
4. Įvertinti kranto dinamines procesus.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

Žvirgždingų ir mišrių paplūdimių tyrimai per pastaruosius dešimtmečius sulaukė vis didesnio dėmesio tiek geomorfologijos, tiek krantotvarkos, sedimentologijos bei aplinkosaugos srityse. Tokie paplūdimiai pasižymi stambesne frakcija, didesniu grūdelių diametru ir formų kaita, o juos veikiantys procesai – itin dinamiški. Mokslininkų tyrimai dažnai yra orientuoti siekiant suprasti, kaip tokie paplūdimiai formuojasi, kokie veiksniai lemia jų stabilumą jūros pakrantėse.

Vienas iš pagrindinių žingsnių tiriant paplūdimius – grūdelių formos, sferiškumo ir apvalumo analizė. J. Szmańda ir B. Witkowski (2021) naudojo Morphology G3SE prietaisą, siekdami automatizuoti tokių parametrų kaip sferiškumas, išgaubtumas, tvirtumas ir kraštinių santykis matavimus. Tačiau tyrimas parodė, kad klasifikavimo algoritmai sunkiai atpažįsta skirtingas grūdelių klases dėl parametrų persidengimo. Alternatyvų sprendimą siūlo I. Cruz-Matías ir kt. (2019), kurie sukūrė ekstremalių viršūnių modeliu (EVM) grįstą platformą, leidžiančią tiksliai ir efektyviai apskaičiuoti sferiškumo bei apvalumo indeksus dideliuose duomenų rinkiniuose. Minėtų metodų taikymas tampa itin aktualus, kai siekiama tiksliai įvertinti skirtingų paplūdimių sąnašų kilmę, jų pernašos kryptis bei ilgalaikes tendencijas. Morfometriniai parametrai, tokie kaip dalelių forma, tekstūra ar apvalumas, padeda rekonstruoti ne tik šiuolaikinius, bet ir praeityje vykusius sedimentacijos procesus, todėl šie metodai tampa kertiniais geologiniuose ir paleogeografiniuose tyrimuose. Be to, nauji automatizuoti sprendimai ir skaitmeniniai modeliai leidžia palyginti duomenis tarp skirtingų geografinių regionų bei įvairių laikotarpių.

Žvirgždingų ir mišrių paplūdimių klasifikavimas bei stebėsena yra svarbi tyrimų kryptis, siekiant suprasti pakrančių ekosistemų dinamiką ir prisitaikyti prie klimato kaitos poveikio. Pastaraisiais metais technologijų pažanga, ypač nuotolinio stebėjimo ir dirbtinio intelekto srityse, suteikė naujų galimybių šių paplūdimių tyrimams. Y. Villacampa ir kt. (2015) pasiūlė metodiką žvirgždingų paplūdimių klasifikavimui, remiantis 34 paplūdimių Ispanijos Alicante regione duomenimis. Tyrime naudota faktorinė ir diskriminantinė analizė, siekiant nustatyti pagrindinius kintamuosius, lemiančius paplūdimio tipą, pvz., bermos nuolydį, bangų energiją ir nuosėdų sudėtį. J. Oerlemans ir kt. (2022) pritaikė konvoliucinius neuroninius tinklus (CNN) dvigubų smėlio barjerų paplūdimių būsenos klasifikavimui, panaudodami Argus vaizdus. Tyrimas parodė, kad CNN su transferiniu mokymusi gali efektyviai klasifikuoti paplūdimio būseną, ypač kai mokymosi duomenys apima įvairias geografines vietas. J. R. Davies ir kt. (2023) naudojo multispektrinius ir hiperspektrinius duomenis potvynių ir atoslūgių paplūdimiams klasifikuoti. Tyrimas parodė, kad šie duomenys gali būti naudingi identifikuojant skirtingas nuosėdų ir biologinių dangų tipų klases, nors žvirgždingų paplūdimių atveju reikalingi papildomi tyrimai. W. Gao ir kt. (2024) pristatė adaptacinį vietinių ypatybių apdorojimo modulį, kuris gali būti pritaikytas žvirgždingų paplūdimių klasifikavimui, ypač kai reikia atskirti smulkias nuogulas. J. Herrera ir kt. (2024) atliko pilotinį tyrimą, naudodami poliarimetrinius vaizdus, siekiant pagerinti paplūdimiuose esančių makrošiukšlių aptikimą ir klasifikavimą. Nors tyrimas orientuotas į šiukšlių identifikavimą, taikytos technologijos gali būti pritaikytos ir sedimentų klasifikavimui.

Litologinė analizė svarbi siekiant suprasti paplūdimių formavimosi ir erozijos procesus. C. Seul ir kt. (2020) atliko litostatinę Baltijos jūros pakrantės nuogulų analizę Lenkijoje, kurios metu buvo ištirta 18000 pavyzdžių. Tyrimas atskleidė, kad skirtingose pakrantės ruožuose dominuoja skirtingos uolienos, o jų kaita leidžia spręsti apie nešmenų pernašos kryptį. Kristalinės, metamorfinės ar minkštosios uolienos nurodo tiek transportavimo mechanizmus, tiek pakrančių erozijos intensyvumą. Tyrimas atskleidė, kad nuogulų cheminė ir fizikinė sudėtis yra glaudžiai susijusi su kranto dinamika, o jų analizė leidžia modeliuoti ilgalaikius pakitimus, susijusius su klimato kaita ar žmogaus veikla.

Taip pat tampa akivaizdu, kad litologinės sudėties skirtumai gali lemti nevienodą krantų atsparumą ekstremalių įvykių metu, o tai yra aktualu rengiant krantotvarkos strategijas ar priimant kranosauginius sprendimus.

Stambiaklastinės medžiagos vaidmuo pakrančių apsaugoje buvo analizuota eilėje tyrimų. Pavyzdžiui, I. Cinelli ir kt. (2021) analizavo Cavo paplūdimio (Italija) papildymo sąnašomis atvejus ir nustatė, kad naudojant stambesnę frakciją - gargždą (16-24 mm), paplūdimio plotis išliko stabilus net ir po 12 metų. Tai rodo, kad stambiaklastinė medžiaga efektyviai stabdo tiek vėjo defliaciją, tiek bangų sukeltą eroziją. Šis tyrimas taip pat atskleidė, kad netinkamai parinktos sąnašos gali turėti neigiamų ekonominių padarinių, pvz., kai jos paveikia vandens spalvą ar estetinę paplūdimio kokybę. Tokių sprendimų pasekmės parodo, jog krantotvarkos planavime reikalingos ne tik inžinerinės žinios, bet ir geologinės - geomorfologinės kompetencijos, leidžiančios išvengti klaidų.

D. Lees ir kt. (2022) tyrime stambiagrūdžiai paplūdimiai apibūdinami kaip "šarvai", saugantys pakrantę nuo bangų poveikio. Jie pasižymi stabilumu ir išskirtinėmis sedimentacijos savybėmis, ypač tektoniškai aktyviose vietovėse. Tyrėjai sukūrė naują metriką, leidžiančią kiekybiškai vertinti stambiagrūdžių sąnašų pasiskirstymą. Metodas naudingas prognozuojant paplūdimių atsparumą ekstremalioms bangavimo sąlygoms. Tokie metodai atveria galimybę taikyti erdvinius-statistinius modelius krantotvarkos planavime bei analizuoti, kaip skirtingų frakcijų medžiagos pasiskirstymas veikia morfodinamiką, kas yra ypatingai svarbu kuriant ilgalaikes pakrančių valdymo strategijas, kuriose derinami ekologiniai, inžineriniai ir ekonominiai aspektai.

Nešmenų pernaša ir nusėdimas priklauso nuo grūdelių formos. E. Grottoli ir kt. (2019) naudodami RFID technologiją parodė, kad sferinės formos uolienos lengviau juda paplūdimio paviršiumi, tuo tarpu diskinės linkusios „įstrigti“. I. Jolliffe (1964) taip pat nustatė, kad realių paplūdimio uolienų pernaša gerokai skiriasi nuo dirbtinai išpiltų rieduliukų, o sferiškumas bei nuzulimas turi įtakos judėjimo greičiui. Šie tyrimai rodo, kad nuogulų morfologiniai ypatumai ne tik atspindi praeities sąlygas, bet ir aktyviai veikia šiuolaikinius nešmenų pernašos procesus, todėl jų analizė tampa svarbi tiek fundamentiniuose, tiek taikomuosiuose tyrimuose. Be to, tokių duomenų panaudojimas galimas planuojant atkūrimo darbus po ekstremalių įvykių, kai svarbu pasirinkti tinkamą sąnašų dydį.

Grūdelių dūlėjimas ir abrazijs yra reikšmingi procesai. B. J. Bluck (1969) tyrimuose pabrėžiamas dydžio, formos ir litologijos poveikis uolienų dilimui. G. Domokos ir G. Gibbons (2012) papildė šiuos tyrimus matematiniu modeliavimu, įrodančiu, kad tiek trintis, tiek susidūrimai lemia uolienų susmulkinimą ir pasiskirstymą paplūdimiuose. Šie darbai ne tik detalizuoja dūlėjimo mechanizmus, bet ir leidžia vertinti nuosėdų „gyvavimo laiką“, t. y. laiką, kurį dalelė gali išbūti aktyvioje pakrantės zonoje, kol tampa per smulki ar neberekšminga krantui apsaugoti.

Mišrių smėlio ir žvyro paplūdimių dinamika aprašyta A. E. Hay ir kt. (2014) bei R. M. Kirk (2015) darbuose. Jie pabrėžia, kad šie krantai yra labai jautrūs bangavimo pokyčiams, pasižymi statžiais profiliais ir netolygia nuosėdų pernaša. Tiek nuosėdų dydis, tiek bangų energija daro ženklą įtaką paplūdimių stabilumui. D. Buscombe ir G. Masselink (2006) siūlo naudoti MSD (Morfosedimentacinės dinamikos) modelį, kuris padeda prognozuoti žvirgždingų paplūdimių elgseną. Šis modelis išplečia tradicinį morfodinaminį požiūrį, integruodamas nuogulų savybes kaip aktyvius veiksnius, leidžiančius tiksliau įvertinti, kaip paplūdimiai reaguos į klimato ar antropogeninius pokyčius.

Uolienų kilmės analizė papildoma regioniniais tyrimais. H. J. Veenstra (1969) atskleidė, kad žvyro kilmė Šiaurės jūroje priklauso nuo tiekimo šaltinių (pvz., Skandinavijos, Didžiosios Britanijos, Belgijos), o reljefas rodo skirtingus nuosėdų amžius. J. Bluck (2011) pabrėžė potvynių ir atoslūgių amplitudės reikšmę žvirgždo nuosėdų storiui. Tokie regioniniai tyrimai leidžia nustatyti nuogulų

kilmės vietas, nešmenų dinamiką bei regioninę morfologinę atsaką į klimato pokyčius. Jie taip pat padeda atpažinti istorinę pakrančių raidą, identifikuoti galimas rizikos zonas ir numatyti potencialius pakrančių degradacijos scenarijus.

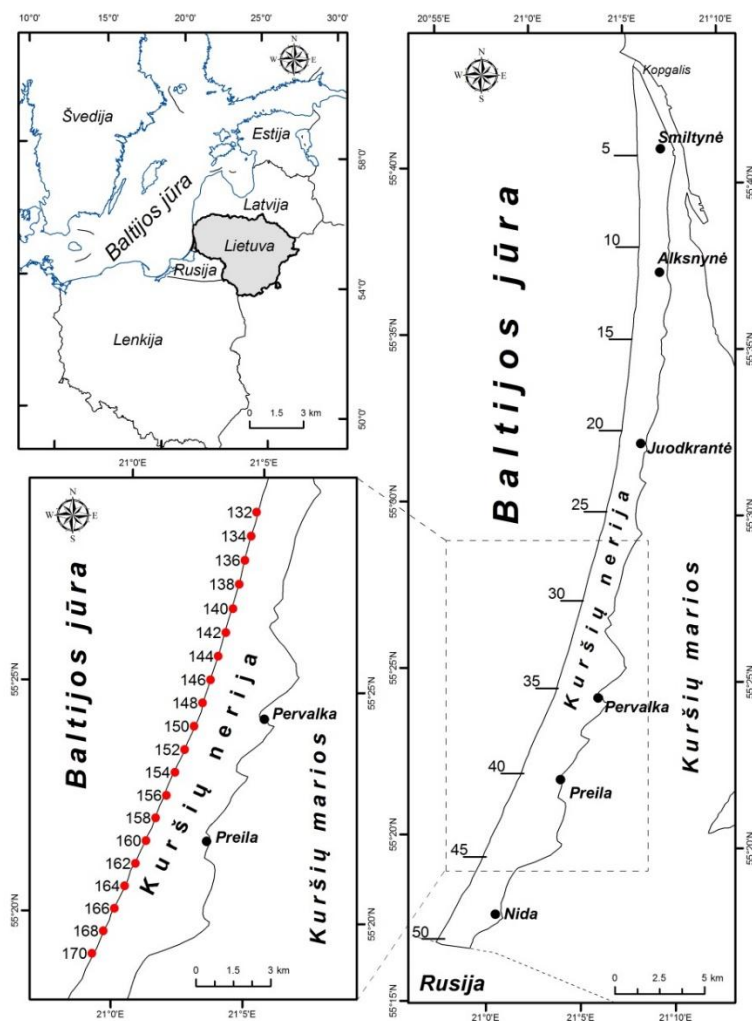
Klasifikavimo principus kritiškai įvertino H. E. Gregory (1915), teigdamas, kad vien morfologinių kriterijų (forma, sferiškumas) nepakanka tiksliai nustatyti uolienu kilmę. Autorius pabrėžė poreikį vertinti aplinkos kontekstą, pernašos procesus ir ieškoti papildomų įrodymų. Nors tokia nuomonė buvo išsakyta dar XX a. pradžioje, ji išlieka aktuali ir šiandien, kai diskutuojama dėl dirbtinio intelekto pritaikymo nuosėdų klasifikacijoje. Naujos technologijos siūlo galimybes automatizuoti klasifikavimą, tačiau kartu kelia klausimų dėl patikimumo ir interpretavimo lankstumo. Klasifikavimo sėkmė priklauso ne tik nuo grūdelių formos ar dydžio, bet ir nuo jų litologinės sudėties, erozijos bei geografinio konteksto. Šiuolaikiniai tyrimai rodo, kad kombinuotas metodų taikymas – jungiant automatizuotą analizę su žmogaus fiziniu vertinimu – gali užtikrinti tiksliausius rezultatus, ypač tiriant sudėtingas mišrių nuosėdų aplinkas.

Apibendrinant, galima teigti, kad žvirgždingų ir mišrių paplūdimių tyrimai išlieka aktualūs tiek fundamentiniame, tiek taikomajame kontekste. Tyrimai padeda ne tik suprasti gamtinius procesus, bet ir kurti efektyvias krantotvarkos priemones, atsižvelgiant į klimato kaitos poveikį bei žmogaus veiklos įtaką. Nuosekli sedimentologinė, morfodinaminė ir litologinė analizė leidžia identifikuoti svarbiausius veiksnius, darančius įtaką pakrančių raidai ir stabilumui. Integruotas požiūris, kuriame sujungiami skirtingi metodai ir duomenų šaltiniai, tampa būtinu siekiant tvarių sprendimų, užtikrinančių pakrančių sistemų atsparumą ateityje.

2. PRADINIAI DUOMENYS IR DARBO METODIKA

2.1 Tyrimų rajonas

Kuršių nerija yra 98 km ilgio, iš kurių 51 km priklauso Lietuvai, o likusi 47 km dalis – Rusijos federacijai (1 pav.). Plačiausioje vietoje ties Bulvickio ragu ji siekia 4 km, o siauriausioje, į šiaurę nuo Šarkuvos tik 400 m. Kuršių nerija dėl savo išskirtinės ir unikalios gamtos yra įtraukta į UNESCO pasaulio paveldo sąrašą. Kuršių nerija pradėjo formuotis Litorinos jūros transgresijos laikotarpiu, o dabartinį ilgį pasiekė maždaug prieš 2000 metų. Visas smėlėtos nerijos vystymosi procesas truko apie 3000 metų.



2.1 pav. Tyrimų rajonas. Raudoni taškai – ėminių paėmimo vietos.

Kuršių nerijoje dominuoja smėlėti paplūdimiai, kurie atskiruose ruožuose būna padengti žvirgždu bei gargždu. Išsiskiria tik pietinė Kuršių nerijos dalis, kur ties Šarkuva jūros krante atsidengia moreninio priemolio išeigos ir palaidoto dirvožemio sluoksniai (Gudelis, 1998). Kuršių nerijos paplūdimiai yra sudaryti iš smulkaus, vidutinio, o atskirose vietose iš reliktinio stambiagrūdžio smėlio (Jarmalavičius ir kt., 2017). Paplūdimių plotis svyruoja nuo 10 iki 85 m. Siauresni paplūdimiai 10-20 m dominuoja pietinėje Kuršių nerijos dalyje, kur vyrauja eroziniai procesai (Zhamoida ir kt., 2009), o platesni 50-85 m - šiaurinėje dalyje, kur vyksta sąnašų akumuliacija (Jarmalavičius ir kt., 2012). Paplūdimį iš rytų pusės apriboja prieškopė, kurios vidutinis aukštis siekia 5-6 m, o maksimalus aukštis – 16 m.

Ties Kuršių nerija dominuoja vakarinių kryptų vėjai, kurie lemia vakarinių bangų dominavimą. Vidutinis bangų aukštis ties Kuršių nerija siekia 0,65 m (Pupienis ir kt., 2017). Vidutinis vėjo greitis ties Kuršių nerija siekia 5,0-5,5 m/s, o stipriausi (audrų metu siekia 28-40 m/s) vėjai pučia žiemos ir rudens laikotarpiu (Galvonaitė ir kt., 2013). Kadangi Baltijos jūros potvynių ir atoslūgių amplitudė neviršija 4 cm, todėl pagrindinė krantų formuoja vandens lygio kaita, bangavimas ir išilginės priekrantinės srovės nukreiptos iš pietų į šiaurę.

2.2 Pradiniai duomenys

Žvirgždo ir gargždo ėminiai buvo surinkti Kuršių nerijos jūros kranto paplūdimyje 2023 m. gegužės 9-10 d. ir 2024 m. gegužės 6-7 dienomis. Paviršiniai žvirgždo ir gargždo ėminiai (2.2pav.) buvo imami kranto ruože tarp Rusijos-Lietuvos sienos ir Juodkrantės kas vieną kilometrą iš paplūdimio vidurio 5 kvadratinį metrų plotą. Iš viso 2023 m. buvo paimta 20 ėminių, o 2024 m. - 23 ėminiai. Kiekviename ėminyje buvo 100, atsitiktinai atrinktų žvirgždo ir gargždo, vienetų. Iš viso 2023 m. buvo surinkta 2000 vienetų žvirgždo ir gargždo, o 2024 m. 2300 vienetų. Ėminių vietos buvo fiksuojamos rankiniu *Garmin Oregon 400t* GPS prietaisu. 2023m. ėminių rinkimo metu vyravo pietų-pietryčių krypties vėjas, kurio vidutinis greitis siekė 2,1 m/s, o gūsiuose siekė 10,1 m/s. Vidutinis bangų aukštis neviršijo 0,2 m. 2024 m. ėminių rinkimo metu vyravo pietryčių-pietų-pietvakarių krypties vėjas, kurio vidutinis greitis siekė 1,7 m/s, o gūsiuose siekė 8,3 m/s. Vidutinis bangų aukštis neviršijo 0,2 m.



2.2pav. 150 ėminio pavyzdys.

Krantų dinamikos tendencijos analizuojamame kranto ruože nustatyti, remiantis 2022-2024 m. kranto skersinės niveliacijos duomenimis, kuriuos suteikė Valstybinio tyrimų instituto Gamtos tyrimų centro mokslininkai.

2.3 Metodika

Tyrimo metu buvo nustatyti gargždo ir žvirgždo morfologiniai ir morfometriniai rodikliai: dalelių dydis, sferiškumas, apzulinimas, uolienos tipas, spalva ir uolienų reakcija su rūgštim HCL.

Uolienų dydis ir sferiškumas buvo nustatomas išmatuojant uolienos ilgąją ašį, vidutinę ašį ir trumpąją ašį. Žvirgždo ir gargždo matavimai atlikti slankmačiu 1/10 mm tikslumu. Tyrimo metu buvo atsisakyta matavimo programos *Image J*, kadangi paklaida siekė 3-4 mm (apie 10-15% matuojamos uolienos dydžio), kai tuo tarpu matuojant su slankmačiu vos 0,05-0,1mm (tai sudaro apie 1,25-2,5% matuojamos uolienos matmens) paklaida. Atsižvelgus į gautas paklaidas visi matavimai buvo atliekami slankmačiu, o ne naudojant *Image J* programinę įrangą. Išmatavus ašių ilgius ir taikant W. C. Krumbein (1942) formulę (1) buvo apskaičiuotas sferiškumo lygis (ψ):

$$\psi = \sqrt[3]{bc/a^2} \quad (1)$$

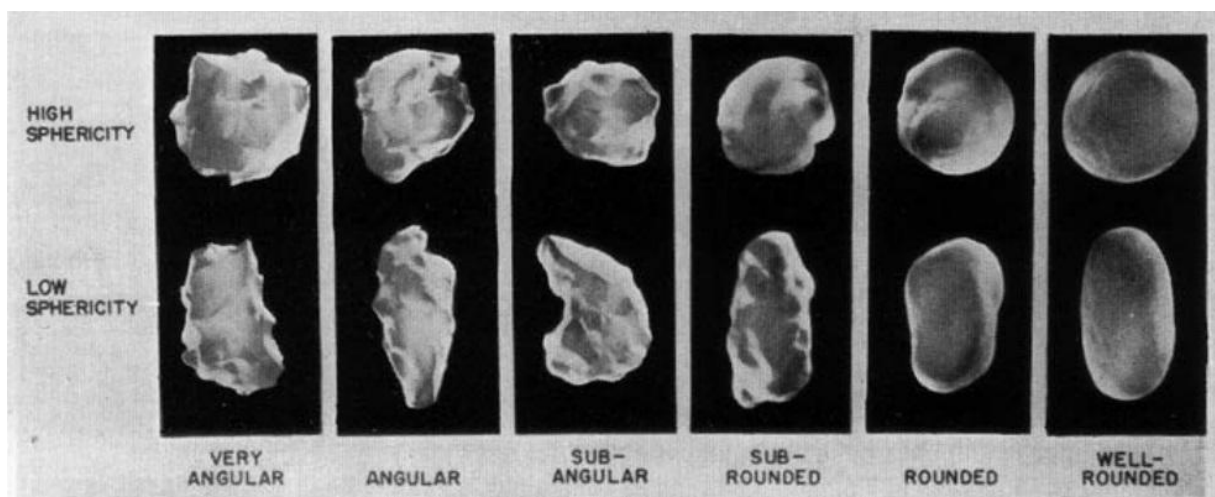
kur a - ilgiausia uolienos ašis, b - vidutinė uolienos ašis ir c – trumpiausia uolienos ašis (Cruz-Matías ir kt., 2019). Išmatavus uolienas jos buvo suklasifikuotos (2.2 pav.) pagal granulimetrinių klastinių nuogulų klasifikaciją (Wentworth, 1922).

Uolienų apzulinimas buvo įvertintas vizualiai, remiantis M.C. Powers (1953) grūdelių apzulinimo etalonais (2.3 pav.). Uolienos pagal jų apzulinimo lygį buvo suskirstytos į 5 klases: labai aštriabriaunias, aštriabriaunias, pusiau aštriabriaunias, pusiau apzulintas, apzulintas, gerai apzulintas.

Uolienų tipas bei spalva buvo įvertinta naudojant programėlę „Rock Identifier“. Siekiant nustatyti uolienų karbonatingumą ant kiekvienos uolienos buvo lašinama druskos rūgštis (HCL). HCL, kaip stipri monoprotoninė rūgštis, reaguoja (ji skyla, nes H_2CO_3 nepatvarus) su karbonatais, esančiais uolienose, kadangi karbonatai pasižymi bazinėmis savybėmis.

PHI - mm CONVERSION $\phi = \log_2 (d \text{ in mm})$ $1 \mu\text{m} = 0.001 \text{ mm}$		Fractional mm and Decimal inches	SIZE TERMS (after Wentworth, 1922)		SIEVE SIZES		Intermediate diameters of natural grains equivalent to sieve size	Number of grains per mg		Settling Velocity (Quartz, 20°C)		Threshold Velocity for traction cm/sec
ϕ	mm				ASTM No. (U.S. Standard)	Tyler Mesh No.		Quartz spheres	Natural sand	Spheres (Gibbs, 1971) cm/sec	Crusted	
-8	256	10.1"	BOULDERS ($> -8\phi$)									
-7	128	5.04"	COBBLES									
-6	64.0	2.52"	PEBBLES	very coarse	2 1/2"	2"						
-5	32.0	1.26"		coarse	1 1/2"	1 1/2"						
-4	16.0	0.63"		medium	3/4"	1.06"						
-3	8.00	0.32"		fine	1/2"	.742"						
-2	4.00	0.16"		very fine	3/8"	.525"						
-1	2.00	0.08"		Granules	5/16"	.371"						
0	1.00	1		very coarse	4	4						
1	.500	1/2		coarse	5	5						
2	.250	1/4		medium	6	6						
3	.125	1/8		fine	7	7						
4	.062	1/16	SAND	very fine	8	8						
5	.031	1/32		coarse	10	10						
6	.016	1/64		medium	12	12						
7	.008	1/128		fine	14	14						
8	.004	1/256		very fine	16	16						
9	.002	1/512		coarse	18	18						
10	.001	1/1024		medium	20	20						
				fine	25	25						
				very fine	30	30						
				coarse	35	35						
			SILT	medium	40	40						
				fine	45	45						
				very fine	50	50						
				coarse	60	60						
				medium	70	70						
				fine	80	80						
				very fine	100	100						
				coarse	120	120						
				medium	140	140						
				fine	170	170						
			CLAY	very fine	200	200						
				coarse	230	230						
				medium	270	270						
				fine	325	325						
				very fine	400	400						
				coarse								
				medium								
				fine								
				very fine								
				coarse								

2.3 pav. Granulimetrinė klastinių nuogulų klasifikacija (Wentworth, 1922).



2.4 pav. Uolienu apzulinimo etalonai (Powers, 1953).

Vyksta neutralizacijos reakcija, kurios metu, susiformavusi silpna, nepatvari diprotoninė rūgštis skyla į vandenį bei anglies dioksido dujas, kurios išsilėkdina, sukeliant putojimo efektą. Uolienos, kurių pagrindą sudaro silicio dioksidas nepasižymėjo reakcija su HCl rūgštimi.

3. UOLIENŲ NUSTATYMAS IR KLASIFIKACIJA

3.1 Paplūdimio uolienų klasifikacija pagal kilmę

Paplūdimio uolienos gali būti klasifikuojamos į grupes pagal jų kilmę: magminės, nuosėdinės, metamorfinės ir mineralus ar pusbrangius akmenis. Iš viso buvo išmatuota 4300 uolienų, iš kurių 48 buvo skirtingos bei suklasifikuotos į ankščiau išvardintas grupes. Gautą uolienų klasifikavimą galima matyti 3.1 lentelėje. Kadangi dauguma uolienų pagal jų kilmę čia nesusiformavo, galima teigti, kad jos buvo atneštos ledyno, bangų ar srovių.

3.1 lentelė Uolienų kilmė.

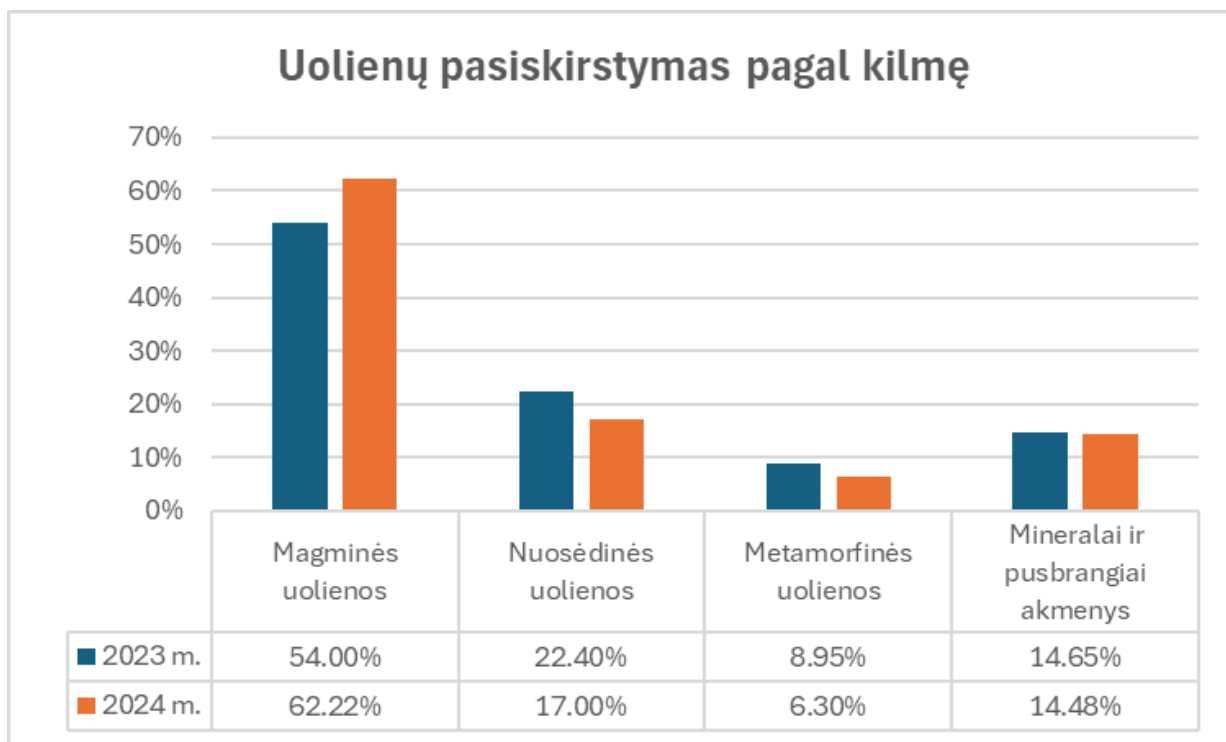
Kilmė	Uolienos pavadinimas
Magminės uolienos	granitas, bazaltas, riolitas, dioritas, porfyras, andezitas, sienitas, pegmatitas, larvikitas, tektitas
Nuosėdinės uolienos	smiltainis, skalda, kalkakmenis, breča, konglomeratas, purvo akmuo
Metamorfinės uolienos	kvarcitas, gneisas, amfibolitas, pikaso akmuo, skalūnas, zebro marmuras, unakitas, andalūzitas
Mineralai ir pusbrangiai akmenys	kvarcas, lepidolitas, jaspis, agatas, avantiurinas, hematitas, koralas, norų akmuo, raudonasis jaspis, karneolio agatas, žvaigždėtas jaspis, turitelo agatas, rožinis kvarcas, saulės akmuo, geležies kvarcas, medžio agatas, leopardo odos jaspis, rodonitas, juodasis agatas, žalias jaspis, breksitas jaspis, almandino granatas, stiklas, dalmatijos akmuo

3.2 Uolienų pasiskirstymas pagal jų kilmę

Uolienų pasiskirstymas pagal jų kilmę pavaizduotas (3.2 lentelėje). Tyrimo rezultatai atskleidė, kad a duominuoja magminės uolienos, taip pat yra gausu nuosėdinių uolienų, mineralų ir pusbrangių akmenų. Mažiausiai Kuršių Nerijos jūros krante rasta metamorfinių uolienų. Lyginant 2023 ir 2024 m. matoma (3.1 pav.), kad magminių uolienų kiekis išaugo net 8,22% lyginant su 2023 m, o tuo tarpu nuosėdinių uolienų kiekis lyginant abejus metus sumažėjo net 5,40%. Metamorfinių sąnašų kiekis lyginant taip pat sumažėjo 2,65%. Mineralų ir pusbrangių akmenų kiekis abiejais tyrimo metais išliko beveik nepakitęs, skirtumas siekė vos 0,17%.

3.2 lentelė Uolienų pasiskirstymo pagal jų kilmę kiekiai.

	2023 m.	2024 m.
Magminės uolienos	1080	1431
Nuosėdinės uolienos	448	391
Metamorfinės uolienos	179	145
Mineralai ir pusbrangiai akmenys	293	333
viso:	2000	2300



3.1pav. Uolienų pasiskirstymas pagal kilmę procentais.

Remiantis duomenimis, labiausiai išsiskiria didelis kiekis magminių uolienų, tokių kaip granitas ar bazaltas - jų rasta daugiausiai (3.3 lentelė). Jos pasižymi dideliu atsparumu erozijai, formuoja barjerus stabdančius bangų poveikį. Dėl tokio pasiskirstymo galima daryti išvadą, kad magminių uolienų (granito, riolito, bazalto) dominavimas tyrimo teritorijoje suteikia krantui didesnę atsparumą ir veikia kaip natūrali apsaugos priemonė nuo bangavimo poveikio.

3.3 Uolienų pasiskirstymas

Tyrimo metu 2023 m. iš viso buvo išmatuota 2000 vnt., o 2024 m. 2300 uolienų. Buvo nustatyti 38 ir 34 skirtingi uolienų tipai atitinkamai 2023 ir 2024 m. (3.3 lentelė).

3.3 lentelė. Kuršių nerijos jūros kranto paplūdimio uolienu pasiskirstymas 2023 m. ir 2024 m.

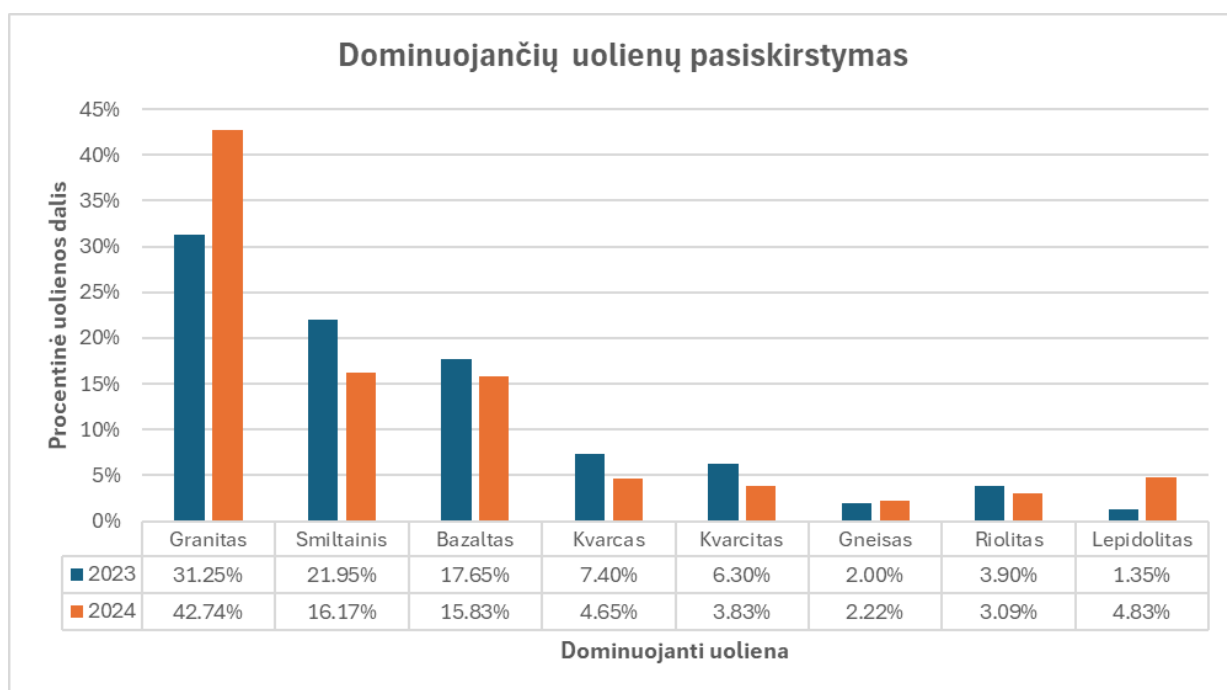
2023 m.		2024 m.	
Tipas	Kiekis	Tipas	Kiekis
Granitas	625	Granitas	983
Smiltainis	439	Smiltainis	372
Bazaltas	353	Bazaltas	364
Kvarcas	148	Kvarcas	107
Kvarcitas	126	Kvarcitas	88
Gneisas	40	Gneisas	51
Riolitas	78	Riolitas	71
Lepidolitas	27	Lepidolitas	111
Jaspis	25	Jaspis	13
Agatas	20	Agatas	45
Dioritas	11	Dioritas	5
Avantiurinas	14	Avantiurinas	22
Porfyras	13	Porfyras	2
Hematitas	3	Hematitas	5
Skalda	3	Skalda	3
Konglomeratas	1	Kalkakmenis	11
Kalkakmenis	2	Norų akmuo	8
Geležies kvarcas	3	Koralas	6
Raudonasis jaspis	22	Raudonasis jaspis	11
Medžio agatas	2	Kameolio agatas	1
Kameolio agatas	13	Žvaigždėtas jaspis	1
Rožinis kvarcas	1	Andezitas	1
Saulės akmuo	4	Amfibolitas	4
Amfibolitas	9	Breča	3
Pikaso akmuo	1	Sienitas	3
Breča	3	Turitelo agatas	1
Leopardo odos jaspis	2	Pegmatitas	1
Turitelo agatas	1	Pikaso akmuo	1
Rodonitas	2	Larvikitas	1
Unakitas	1	Tektitas	1
Juodasis agatas	1	Saulės akmuo	1
Andalūzitas	1	Purvo akmuo	2
Skalūnas	1	Zebro marmuras	1
Žalias jaspis	1		
Breksitas jaspis	1		
Almandino granatas	1		
Stiklas	1		
Dalmatijos akmuo	1		

Iš nustatytų 48 skirtingų uolienu 15 buvo pasikartojančių. Pagal uolienu pasiskirstymą 2023 m. ir 2024 m. galima teigti, kad krantą pastaraisiais metais stipriai veikė hidrodinaminiai procesai, kurie lėmė intensyvią nešmenų pernašą, o tai galėjo lemti uolienu pasiskirstymą ir jų pokyčius. Tačiau tai gali būti susiję ir su žvirgždo, gargždo atranka, kadangi juos rinko skirtingos žmonių grupės. Sąnašų pasiskirstymas lemia kranto atsparumą išoriniams veiksniams, nes kiekvieno tipo uoliena pasižymi skirtingomis fizinėmis savybėmis, kurios daro įtaką kranto stabilumui, uolienu transportavimui ir

aplinkos sąlygoms. Atliktame tyrime matyti, kad pakrantėje daugiausiai buvo rastos 5 rūšių uolienos, tokios kaip granitas, bazaltas, smiltainis, kvarcas ir kvarcitas. Toks sąrašų pasiskirstymas, kur dominuoja kietos ir atsparios uolienos (granitas, bazaltas, kvarcitas, kvarcas, gneisas), vertinamas teigiamai krantotvarkos požiūriu – tai reiškia, kad krantas natūraliai atsparesnis tiek mechaninei, tiek cheminei erozijai. Tuo tarpu didesnis smiltainio, riolito ar lepidolito kiekis galėtų atskleisti silpnesnes kranto zonas.

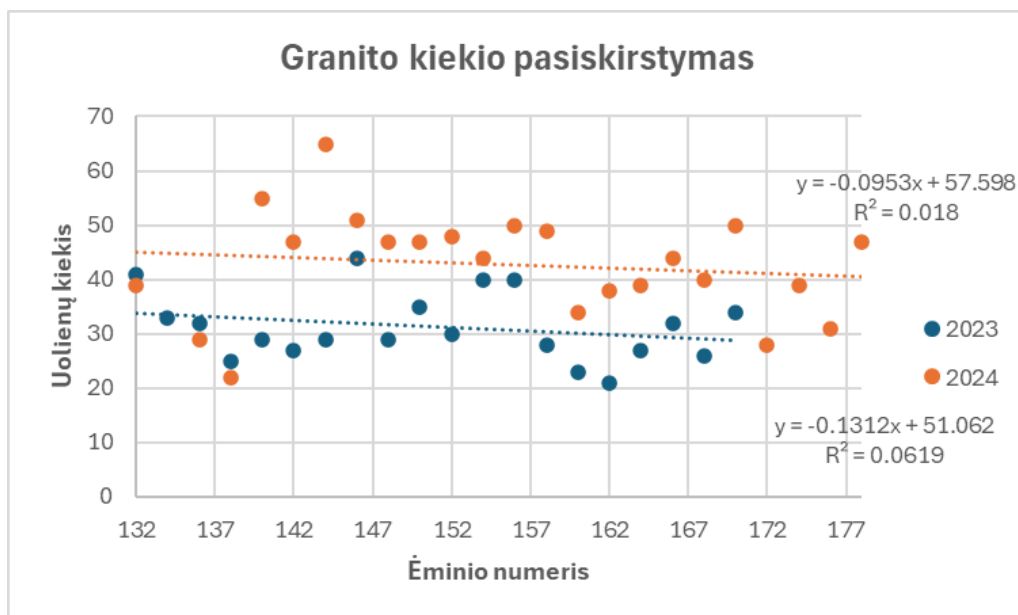
3.4 Duominuojančių uolienų pasiskirstymas

Duominuojančios uolienos buvo išskirtos pagal jų procentinį kiekį nustatyta ėminiuose. Gauti rezultatai parodė, 2023-2024 m. duominuojančios buvo: granitas, smiltainis, bazaltas, kvarcas, kvarcitas, gneisas, riolitas bei lepidolitas (3.2 pav.). Lyginant 2023-2024 metus matoma, kad granito kiekis Kuršių Nerijos jūros kranto paplūdimyje išaugo 11,49 %, o smiltainio kiekis sumažėjo 5,78%. Bazalto kiekis krito nežymiai, vos 1,82%. Kvarco ir kvarcito kiekis krante sumažėjo atinkamai 2,85% ir 2,47%. Gneiso kiekis paplūdimyje 2023-2024 m. beveik nekito, jo skirtumas siekė vos 0,22%. Riolito kiekis nežymiai sumažėjo 0,81%, o lepidolito kiekis paplūdimyje lyginant 2023-2024 metus stipriai išaugo net iki 3,48%.



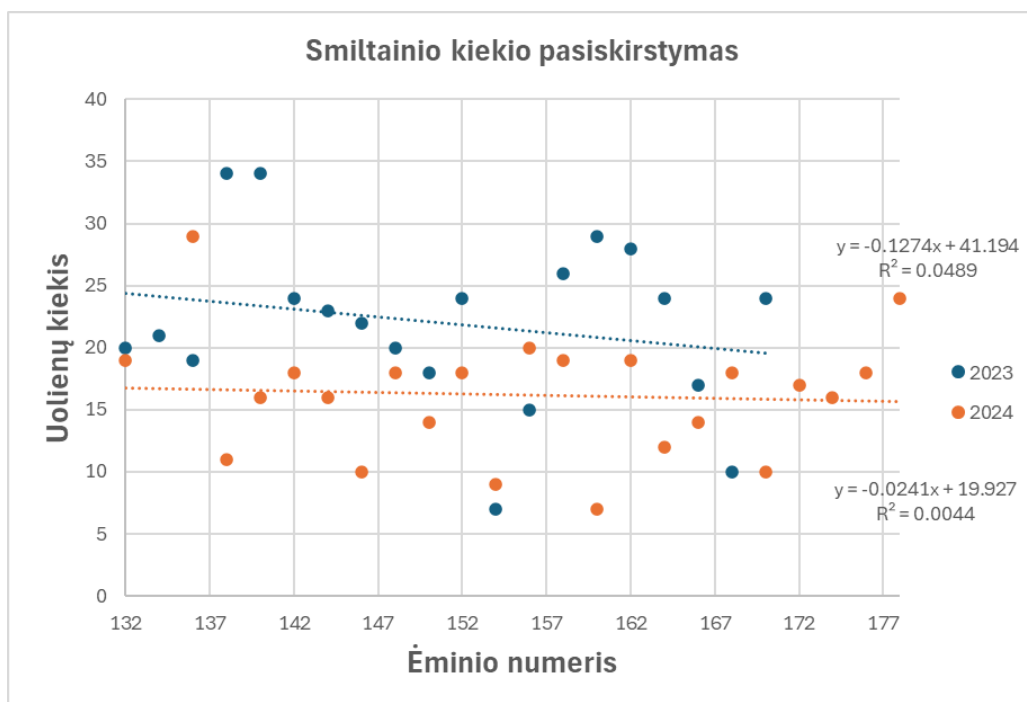
3.2 pav. Pagrindinių 7 duominuojančių uolienų pasiskirstymas.

Atlikus tyrimą 2023 m. pakrantėje buvo rastos 3 daugiausiai paplitusios uolienos: granitas (625 vnt.), bazaltas (353 vnt.) ir smiltainis (439 vnt.) bei 5 uolienos (kvarcas, kvarcitas, gneisas, riolitas, lepidolitas) šiek tiek mažiau paplitusios, bet išliekančios tarp dominuojančių. Tuo tarpu 2024 m. gauta, kad savo kiekiu dominavo tos pačios 3 uolienų rūšys: granitas (983 vnt.), bazaltas (364 vnt.) ir smiltainis (372 vnt.) bei tos pačios mažiau paplitusios 5 uolienos (kvarcas, kvarcitas, gneisas, riolitas, lepidolitas), bet išliekančios tarp dominuojančių. Sąrašų kiekis gali kisti dėl vandens judėjimo, kuris atsiranda nuo intensyvių bangų ar audrų. Kiekvienai iš šių aukščiau minėtų uolienų buvo sudarytas kitimo grafikas (3 dominuojančiom uolienom pagal tendą bei kiekį, o kitom 5 pagal procentinį kiekį bei atstumą nuo pradinio taško), lyginantis pokyčius ėminiuose. Gauti rezultatai pateikti grafikuose:



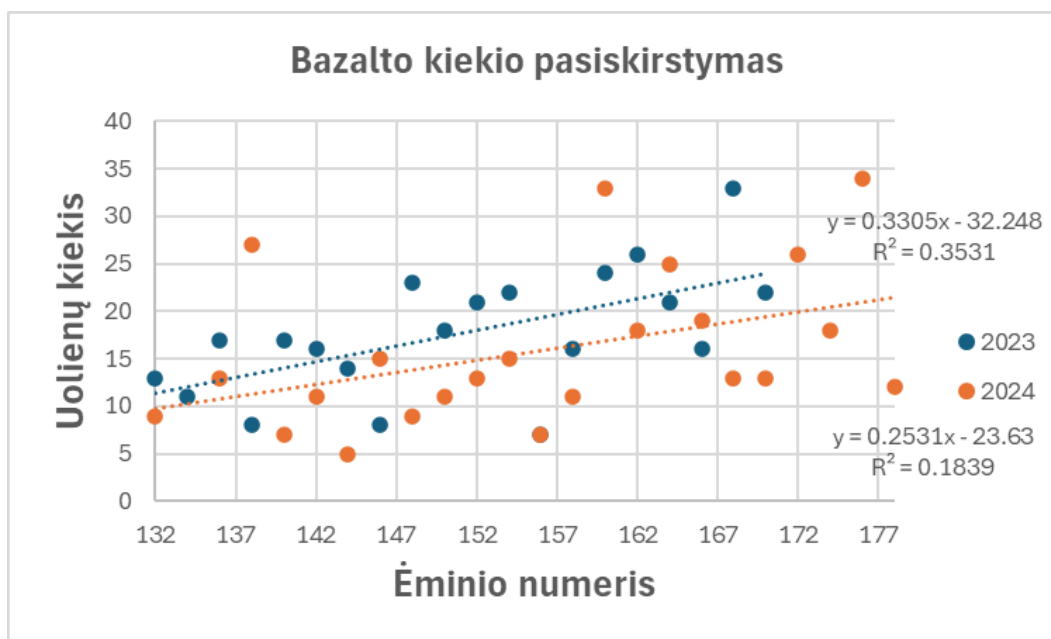
3.3 pav. Granito kiekio pasiskirstymas pagal ėminius 132-170 (2023 m.) ir 132-178 (2024 m.).

Granito pasiskirstymo grafike (3.3 pav.) matome, kad 2023 m. granito kiekis tolygiai kinta intervale 20-45 uolienu per ėminį ir nežymiai sumažėjo einant piečiau, o 2024 m. granito kiekis tolygiai mažėjo nuo ypač nuo 144 ėminio. Lyginant 2023-2024 m. matoma, kad granito kiekis stipriai išaugo 2024 m. Visuose, išskyrus keliuose (132-138 ir 172) ėminiuose, granito kiekis buvo daug didesnis nei 2023 m. Trendas rodo didesnę granito kiekį 2024m. bei abiejų metų (2023m.-2024m.) trendo linijos simblozuoja, kad link pietinės kranto dalies granito kiekis mažėja. Iš gautų duomenų galima daryti išvadą, kad šios uolienos kiekis didėja lyginant 2023 ir 2024 m. Kadangi granitas yra viena iš labiausiai atsparių magminių uolienu, jo didėjimas reiškia, kad tiriamo kranto atsparumas auga ir jis yra mažiau paveikiamas bangavimo.



3.4 pav. Smiltainio kiekio pasiskirstymas pagal ėminius 132-170 (2023 m.) ir 132-178 (2024 m.).

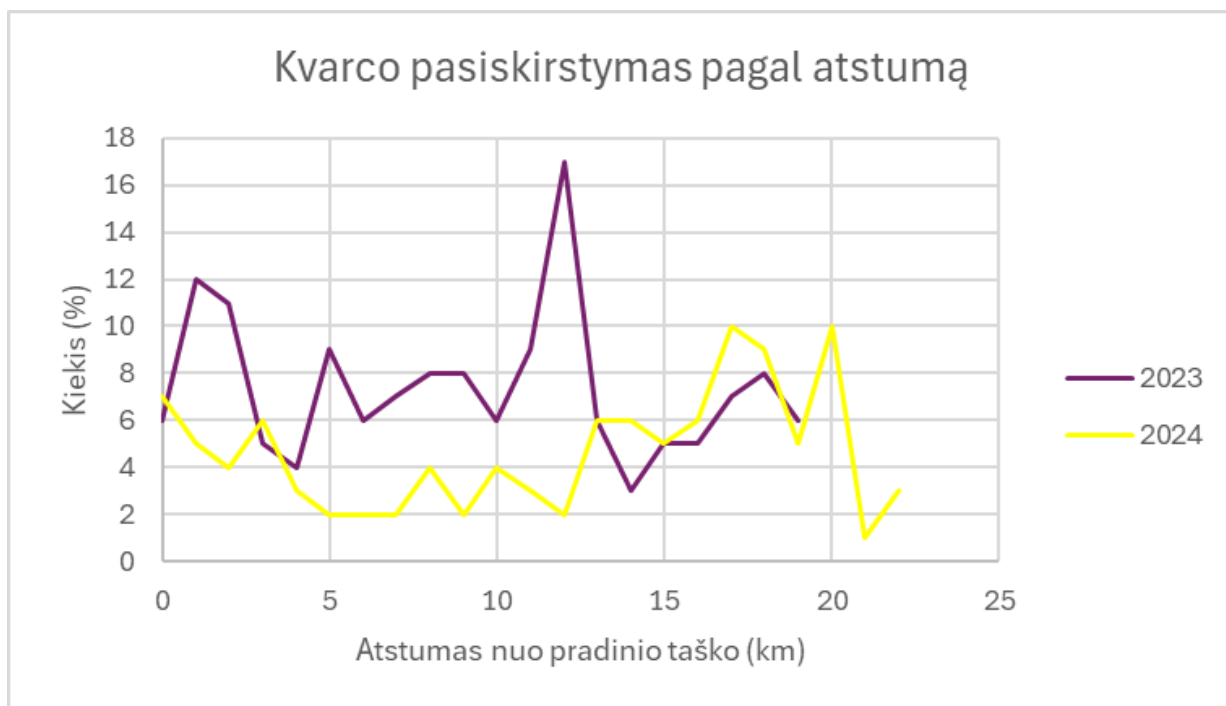
Smiltainio pasiskirstymo grafike (3.4pav.) matoma, kad 2023 m. smiltainio kiekio pasiskirstymas paplūdimyje buvo netolygus ir stipriai keitėsi. 2023m. trendo linija rodo stiprų smiltainio kiekio mažėjimą judant link piečiausio ėminių ėmimo taško (178). Tuo tarpu 2024m. trendo linija rodo nežymų smiltainio kiekio sumažėjimą judant link 178 ėminių ėmimo taško. Lyginant trendo linijas 2023m.-2024m. matomas smiltainio kiekio sumažėjimas. Iš duomenų galima daryti išvadą, kad smiltainio kiekis nežymiai sumažėjo lyginant 2023 ir 2024 m., o tai atskleidžia ilgalaikį erozijos procesą. Smiltainio kiekio mažėjimas taip pat parodo didėjančią erozijos poveikį visame ruože, o tai pavojinga tiek krantui, tiek infrastruktūrai. Tačiau, kaip jau buvo atskleista (4.2 pav.), granito kiekis stipriai išaugo, dėl ko smiltainio sumažėjimas stipriai nepaveiks paplūdimio atsparumo.



3.5 pav. Bazalto kiekio pasiskirstymas pagal ėminius 132-170 (2023 m.) ir 132-178 (2024 m.).

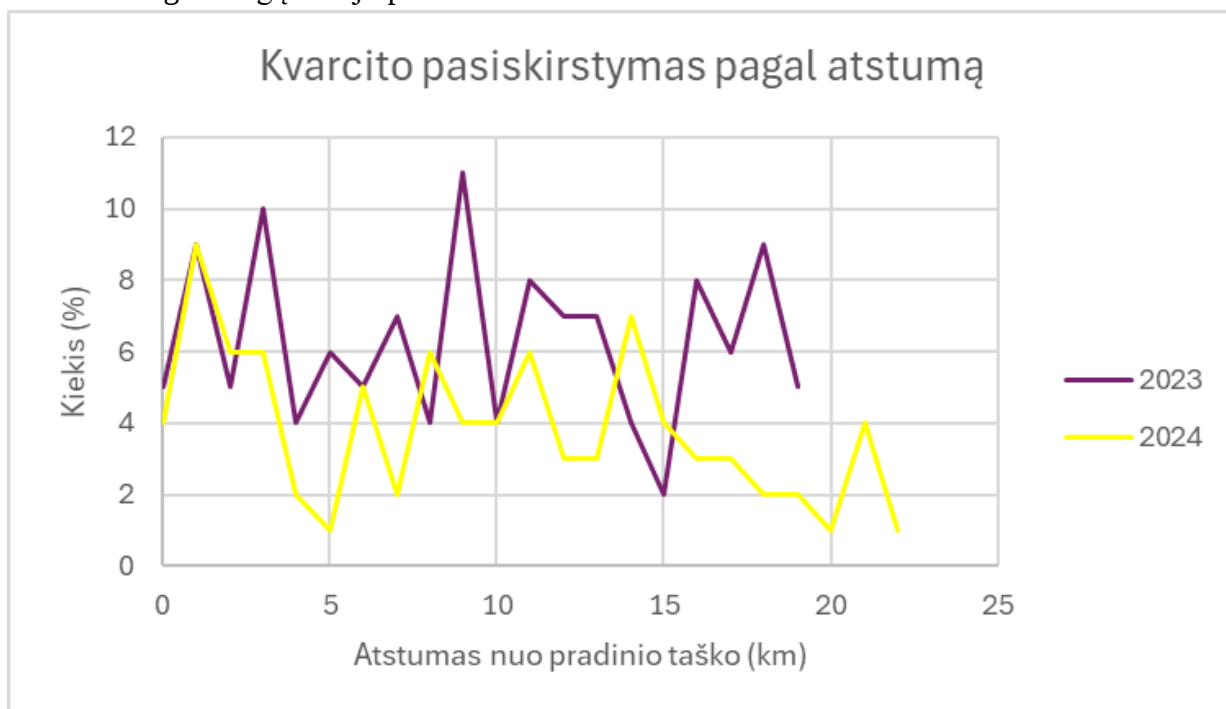
Gautam grafike (3.5 pav.) matomas bazalto uolienu kiekio didėjimas abiejais metais. Pastarųjų uolienu didėjimą galima sieti su padidėjusiu pakartotinio nusėdimo tikimybe, nes srityse, kuriose yra paplitę kristaliniai, magminiai ir metamorfiniai akmenukai, atsiranda didesnė tikimybė pakartotiniam nusėdimui (C. Seul ir kt. 2020). Taip pat galima teigti, kad bazalto uolienu kiekio pasiskirstymas gali priklausyti nuo buvusio ledyno judėjimo. Bazaltas yra magmininė uoliena, kuri susidaro išsilydant kitoms magminėms uolienoms, tačiau, kadangi Kuršių Nerijoje nebuvo ugnikalnių aktyvumo zonų, galima teigti, kad šios uolienos ledynų buvo atneštos iš kitų vietų. Lyginant 2023-2024 m. matoma, kad bazalto sąnašos kinta nevienodai, bet tendencija pagal trendo linijas, kuo labiau į pietus, tuo bazalto kiekis išauga. Jo kiekis paplūdimyje 2023 m. kinta intervale 7-33, o 2024 m. intervale 5-34, tačiau 2024 m. kitimas labai nepastovus.

Savo kiekiu be dominuojančių trijų pagrindinių uolienu (granitas, bazaltas, smiltainis), taip pat kiekiu abejais metais 2023-2024 m. išsiskyrė ir kitos 5 uolienos/mineralai (kvarcas, kvarcitas, gneisas, riolitas, lepidolitas), kurios buvo šiek tiek mažiau paplitusios. Pagal jų procentualų kiekį buvo sudaryti grafikai (3.6pav.; 3.7pav.; 3.8pav.; 3.9pav; 3.10pav.) kaip jos pasiskirsto išilgai kranto pagal atstumą nuo pradinio taško.



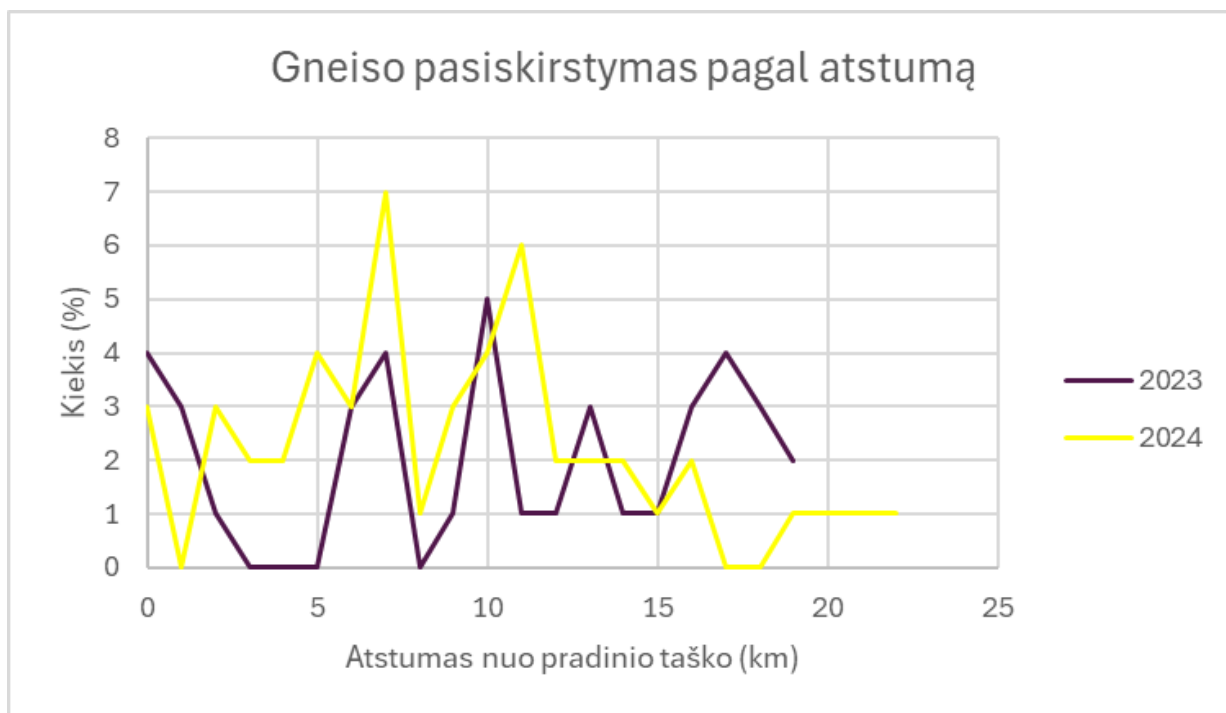
3.6pav. Kvarco pasiskirstymas pagal atstumą nuo pradinio taško.

Kvarco pasiskirstymas pagal atstumą nuo pradinio taško rodo, kad 2023m. metais jo buvo šiek tiek daugiau pirmais 13km nei 2024m. einant piečiau nuo pradinio taško. Kvarco pasiskirstymas abejais metais svyruoja tarp 1-12%, išskyrus maždaug ties 12km jo kiekis stipriai išsiskyrė (17%). Kadangi kvarcas atsparus mechaniniam ir cheminiam irimui, didesnis jo kiekis rodo stabilų krantą. Kvarcas dažniausiai randamas smėlio pavidalu ir didesni kvarco mineralai randami tik ilgai bangų ir vėjo veikiamuose krantuose. Taigi galime teigti, kad iš kvarco kiekio tiriamas krantas yra ilgą laiką veikiamas ilgai bangų ir vėjo poveikio.



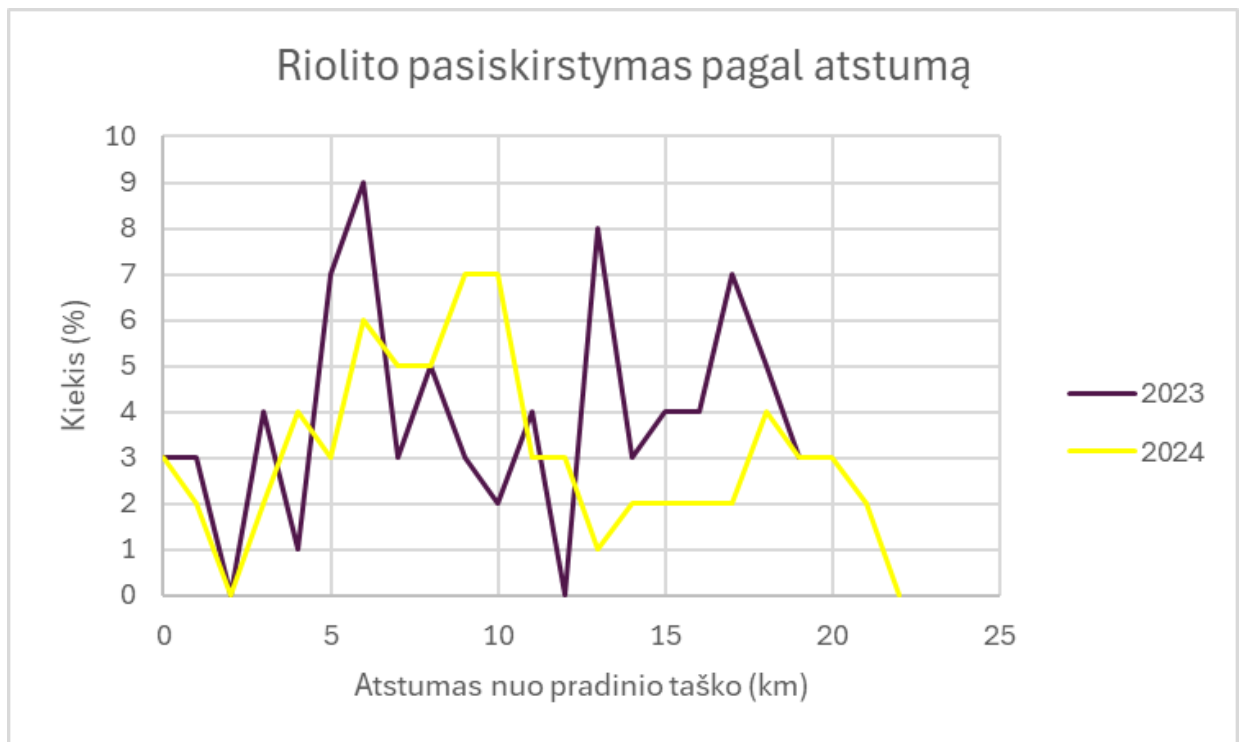
3.7pav. Kvarcito pasiskirstymas pagal atstumą nuo pradinio taško.

Kvarcito pasiskirstymas pagal atstumą nuo pradinio taško rodo, kad 2023m. jo kiekis tolygiai svyravo 2-11% intervale, o 2024m. jo kiekis palaipsniui mažėjo judant nuo pradinio taško link šiauriausio ėminių ėmimo taško. Krantas su daug kvarcito linkęs būti atsparesnis ardymui, bei taip pat kaip ir kvarcas dažniausiai krante randamas mažo dydžio, dėl ko didesnio dydžio kvarcito uolienos simbolizuoja intensyvių bangų ir vėjo veikimą krante. Taigi tyrime gan tolygus nemažas kvarcito kiekio pasiskirstymas išilgai kranto rodo, kad krantas yra stipriai veikiamas.



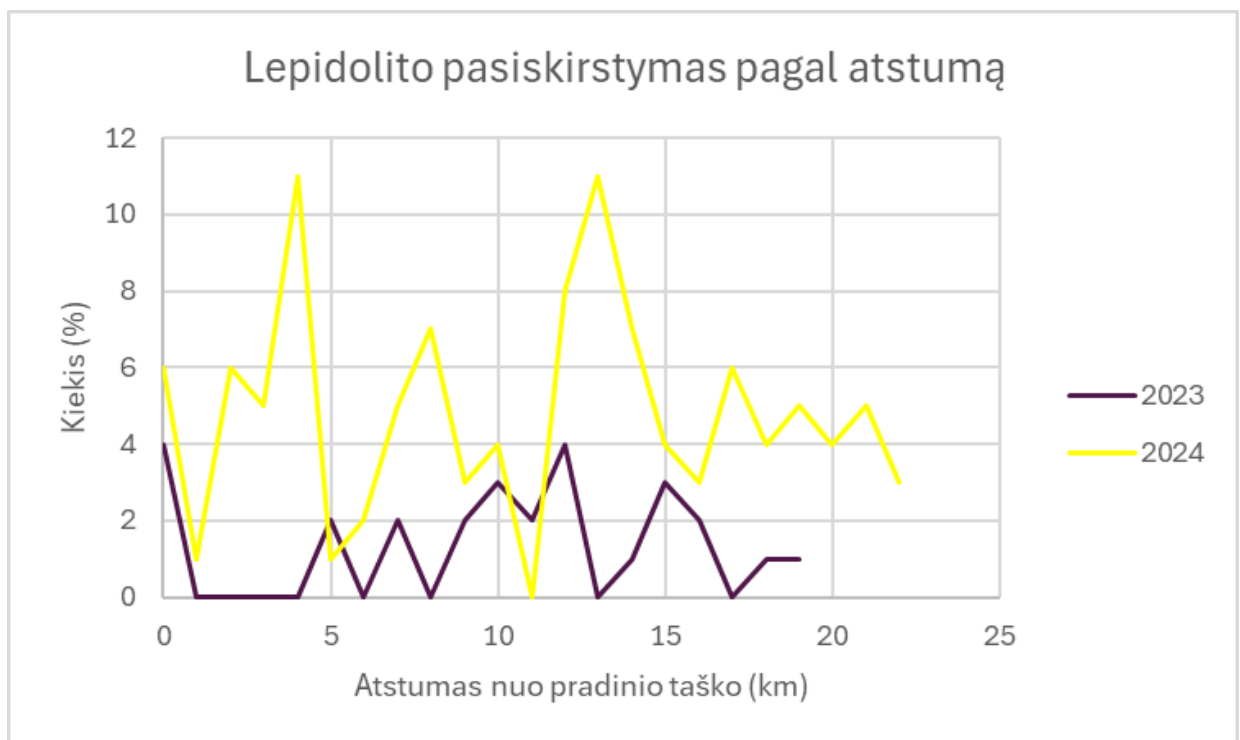
3.8pav. Gneiso pasiskirstymas pagal atstumą nuo pradinio taško.

Gneiso pasiskirstymas pagal atstumą nuo pradinio taško rodo, kad 2023m. ir 2024m. pasiskirstęs tolygiai, išskyrus ties 7 (7%) ir 11 (6%) kilometru jo kiekis šiek tiek išsiskiria. Nors kiekiu gneiso uolienos nepsizymėjo, jo buvimas rodo sąnašų įvairovę. Taip pat gneisas dėl savo struktūros bei cheminės sudėties gali lengviau irti nei kvarcitas, todėl krante yra greičiau apzulinamas. Taigi dėl to, kad gneisas greičiau gali ir būti paveikiamas, jo kiekis krante išliekia gan nedidelis 0-5% vidutiniškai.



3.9pav. Rioloite pasiskirstymas pagal atstumą nuo pradinio taško.

Rioloite pasiskirstymas pagal atstumą nuo pradinio taško rodo, kad 2023m. ir 2024m. didžiausias jo kiekis vyraavo viduryje tirto kranto nuo 5 iki 19 kilometro ruože. Tiek prie pradinio taško, tiek piečiausiam taške jo kiekiai buvo mažesni. Tyrime jo kiekis yra gan nemažas lyginant su gneisu svyruoja tarp 0-9%. Rioloite pasižymi mažesniu atsparumu dėl ko jis dažnu atveju greitai suyra ir tampa smulkiomis frakcijomis. Dėl to galime daryti išvadą, kad didesnis rioloite kiekis rastas krante gali būti siejamas su jo mažu atsparumu ir greitu irimu dėl ko susidaro daug mažų rioloite dalelių.

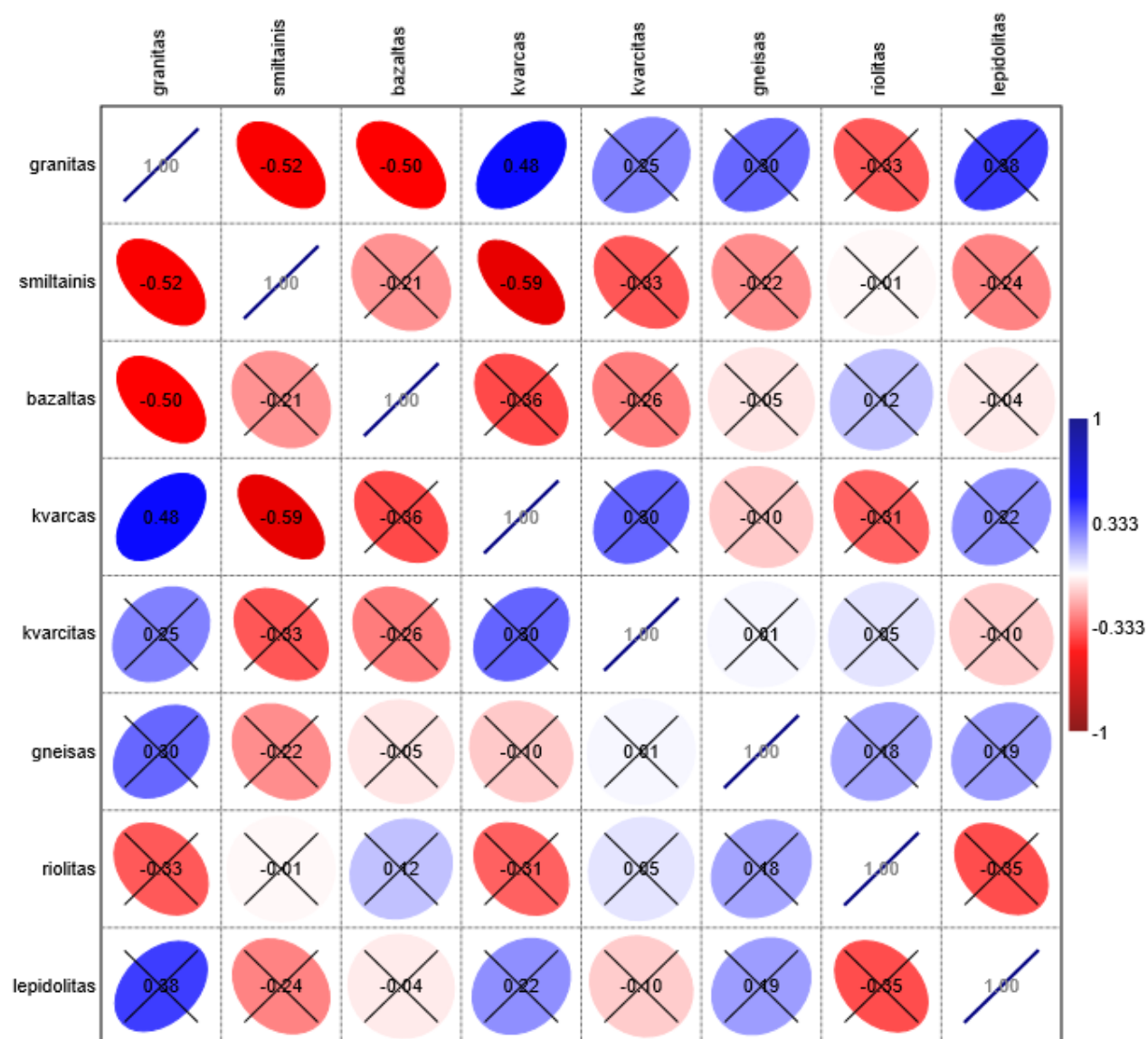


3.10pav. Lepidolito pasiskirstymas pagal atstumą nuo pradinio taško.

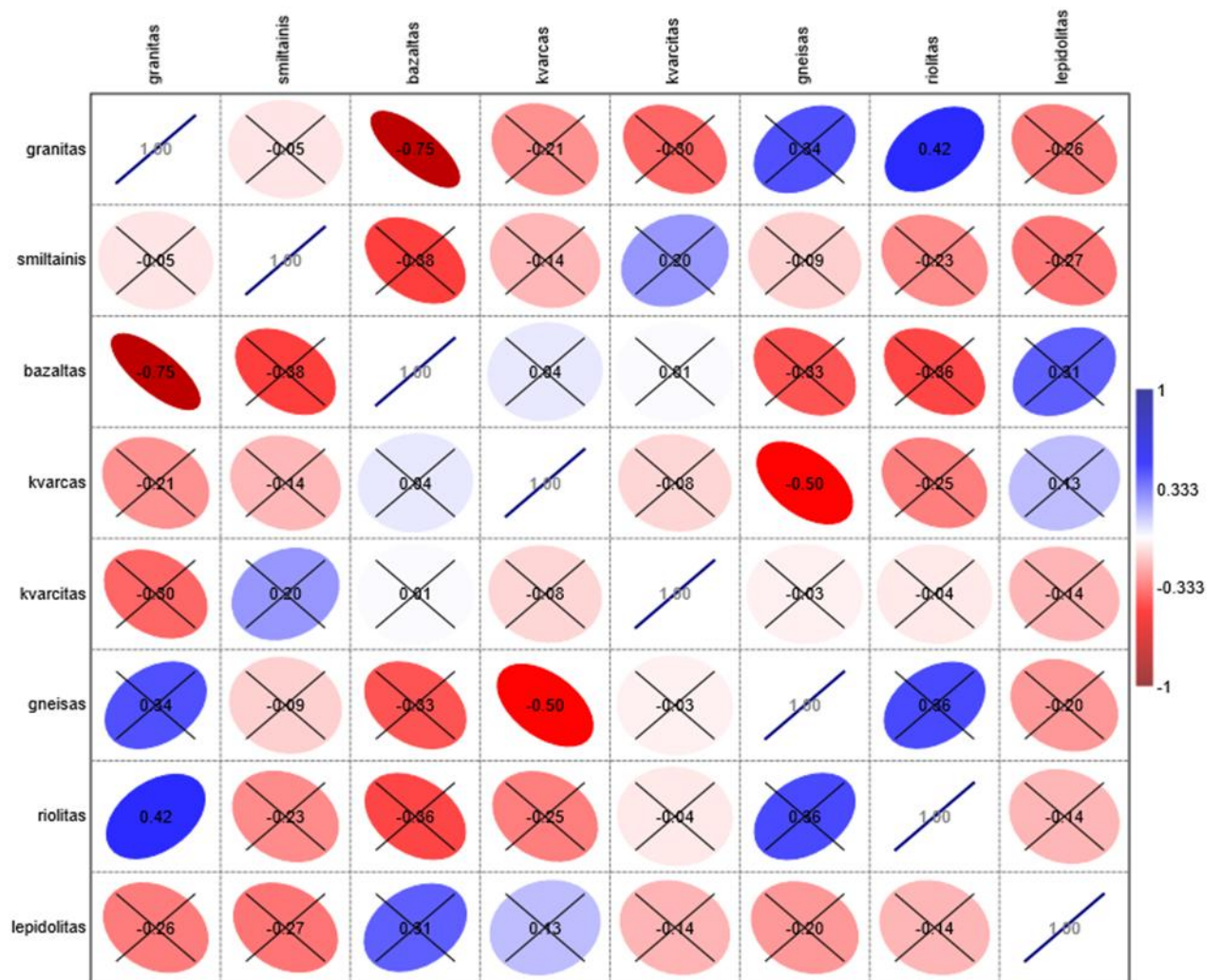
Lepidolito pasiskirstymas pagal atstumą nuo pradinio taško aiškiai rodo stipriai išaugusį kiekį 2024m. lyginant su 2023m. Vidutinis kiekio pasiskirstymas pasiskirstymas 2023m. 0-4%, o 2024m. 0-11%. Lepidolitas dėl minkštumo greitai suyra ir nėra atsparus ilgalaikiam mechaniniui poveikiui. Didesnis jo kiekis dažnu atveju gali reikšti ramias kranto vietas, kur sąnašos nėra stipriai veikiamos bangavimo poveikio arba tai gali reikšti, kad netoliese yra jo šaltinis dėl ko krantas visada pasipildo naujomis lepidolito sąnašomis. Taigi tirtame krante išaugęs lepidolito kiekis gali reikšti ramesnį laikotarpį, kai bangų poveikis nebuvo labai intensyvus arba kad tiriamas krantas vis pasipildo naujomis lepidolito sąnašomis.

3.5 Uolienų ryšys

Uolienų ryšiui parodyti buvo sudaryta koreliacijų matrica tarp skirtingų uolienų rūšių. Ji rodo, kaip dažnai tam tikros uolienos pasitaiko kartu arba yra viena kitai priešingos pagal pasiskirstymą tiriamame kranto ruože. Tokia koreliacija daroma norint įvertinti, kaip uolienos yra tarpusavyje susijusios. Atlikus 2023m. uolienų koreliacinę analizę (3.11 pav.) tarp skirtingų uolienų rūšių, pastebėti keli reikšmingi ryšiai. Stipriai neigiamas ryšys tarp granito ir smiltainio bei granito ir bazalto (atitinkamai $r = -0.52$ ir $r = -0.50$) leidžia teigti, kad šios uolienos pasižymi skirtingu pasiskirstymu tiriamame kranto ruože, kas gali būti susiję su jų skirtinga kilme ar mechaniniu atsparumu bangavimo metu. Tuo tarpu granitas ir kvarcas pasižymi teigiama koreliacija ($r = +0.48$), rodydami galimą bendrą sąnašų šaltinį arba vienodą pernašos būdą. Atlikus 2024m. koreliaciją tarp skirtingų uolienų rūšių (3.12 pav.), matomi kad stipriai neigiamas granito ir bazalto ryšys išlieka bei padidėja iki ($r = -0.75$) lyginant 2023m. Priešingai nuo 2023m. tarp granito ir riolito atsiranda teigiama koreliacija ($r = +0.42$), kurį gali reikšti vienodą pernašos būdą.



3.11 pav. Uolienų tipų ryšys 2023 metais

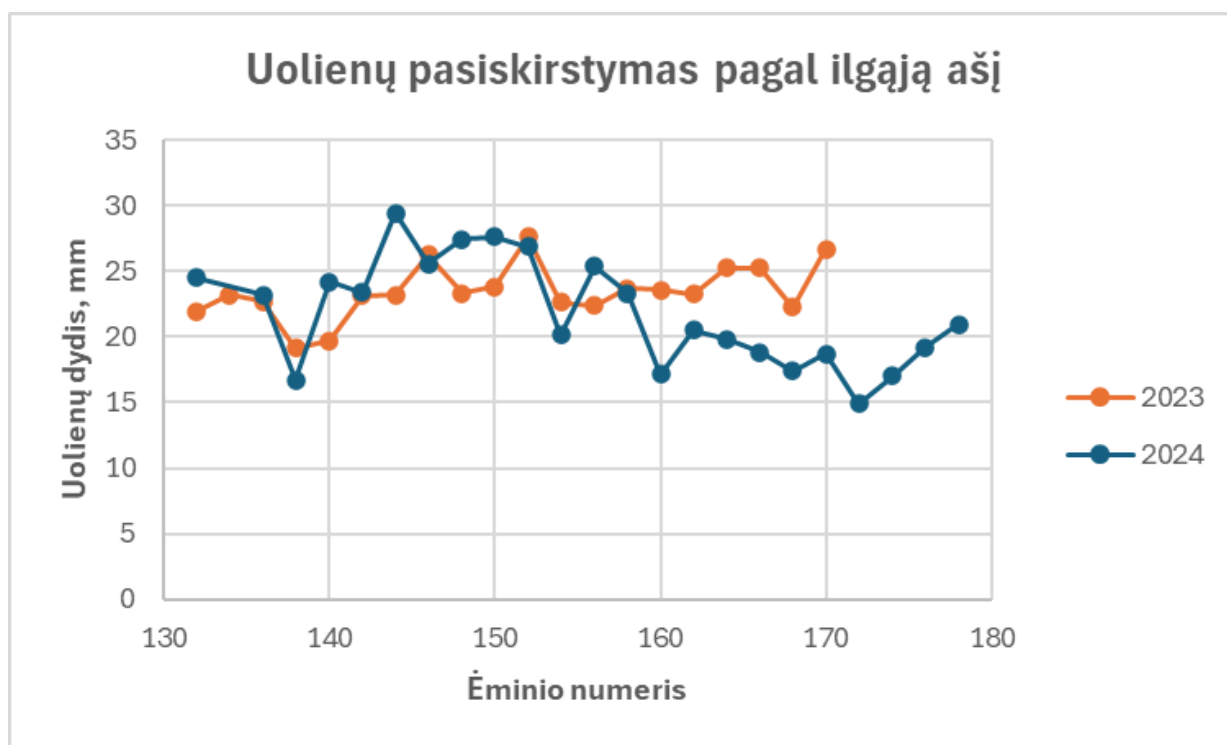


3.12 pav. Uolienų tipų ryšys 2024 metais

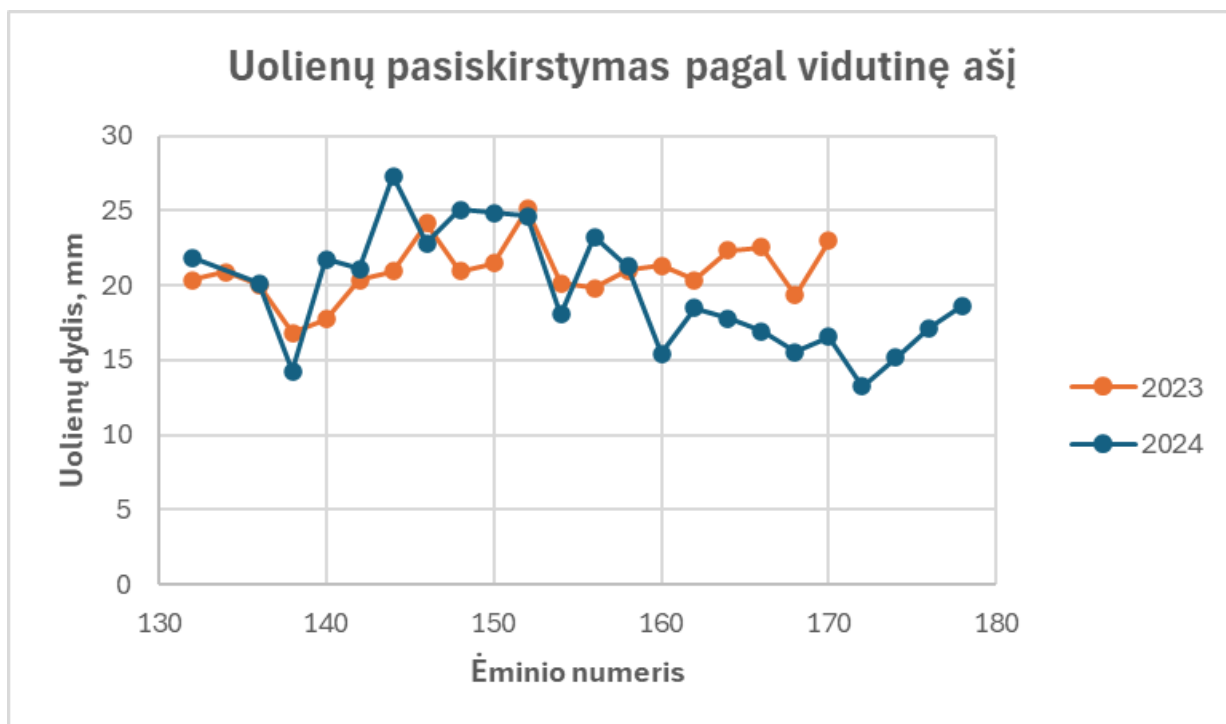
4. PAPLŪDIMIO ŽVIRGŽDO IR GARGŽDO MORFOMETRINIAI RODIKLIAI

4.1 Uolienu dydis

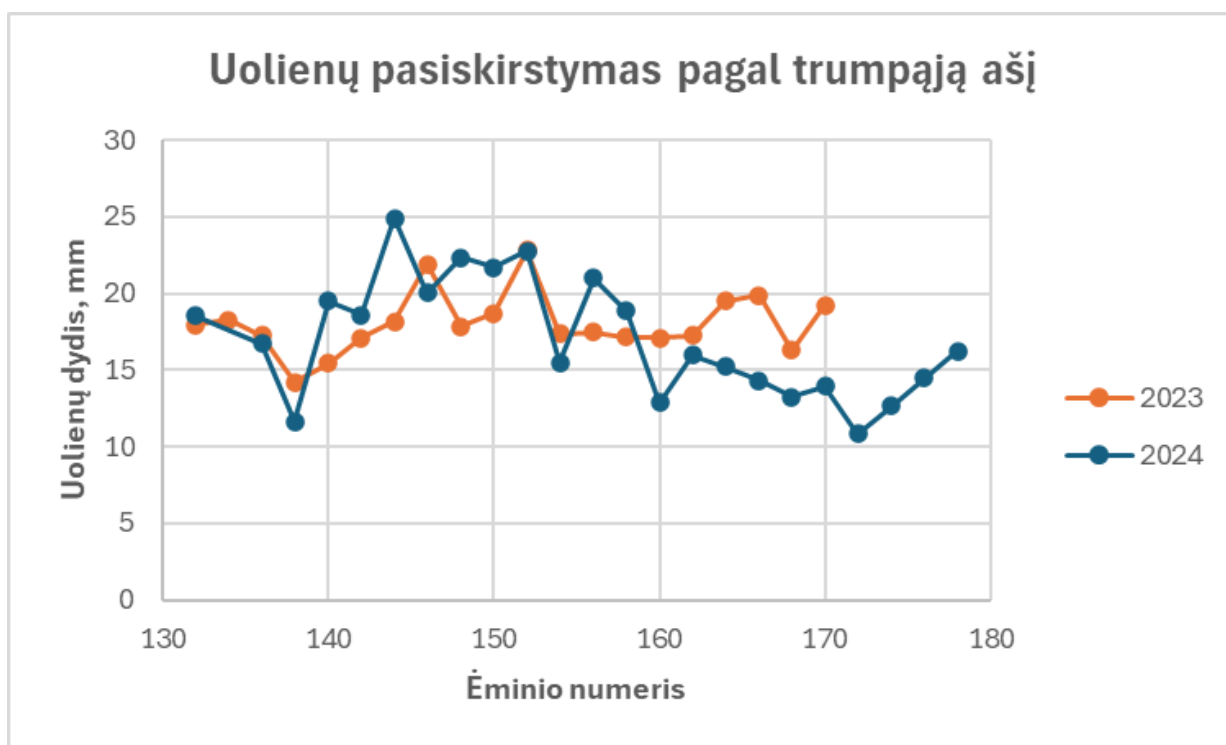
Susisteminius tyrimų rezultatus buvo sudaryti grafikai, nurodantys uolienu pasiskirstymą pagal jų ašis (4.1; 4.2; 4.3 pav.). Lyginant tirtus ėminius nuo 132 iki 170 (2023 m.) ir 132 iki 178 (2024 m.), nustatytas tolygus uolienu didėjimas pagal visas ašis. 2023 m. ir 2024 m. matomas gargždo stambėjimas nuo 132 iki 156 ir nuo 156 iki 172 nustatytas tolygus smulkėjimas, nuo 172 iki 178 gargždas pradeda stambėti. Jų dydžio pokyčiai rodo nešmenų transportavimo kryptį bei intensyvumą. Audrų metu pastebimai padidėja stambesnių uolienu dalis, nes bangos iš krant išplauna smulkias sąnašas ir suplauna daugiau stambesnių sąnašų (Seul ir kt. 2020). Taigi, remiantis gautais tyrimo rezultatais galima teigti, kad gargždo pasiskirstymas pagal visas tris ašis kinta tolygiai. Lyginant 2023 m. ir 2024 m. nustatyta, kad nuo 132 iki 158 ėminio abiejais metais (išskyrus 146 ėminį 2024 m.) gargždo dydžio kaita išlieka panaši. Nuo 158 ėminio 2023 m. visi matmenys išlieka panašaus dydžio ir nežymiai didėja (išskyrus 168 ėminį), o 2024 m. nuo 158 ėminio uolienu dydžiai pagal ašis mažėja iki 172 ėminio ir tuomet nuo 172 vėl palaipsniui pradeda augti. Gargždo pasiskirstymas pagal ašis paplūdimyje leidžia suprasti, bangavimo režimą kuris formuoja paplūdimį. Tyrimo rezultatai rodo, kad nuo 158 ėminio 2024 metais gargždas pradėjo smulkėti, todėl šioje vietoje bangavimas galėjo būti silpnesnis.



4.1 pav. Uolienu dydžio pasiskirstymas pagal jų a (ilgiausią) ašį.



4.2 pav. Uolienu dydžio pasiskirstymas pagal jų b (vidutinę) ašį.

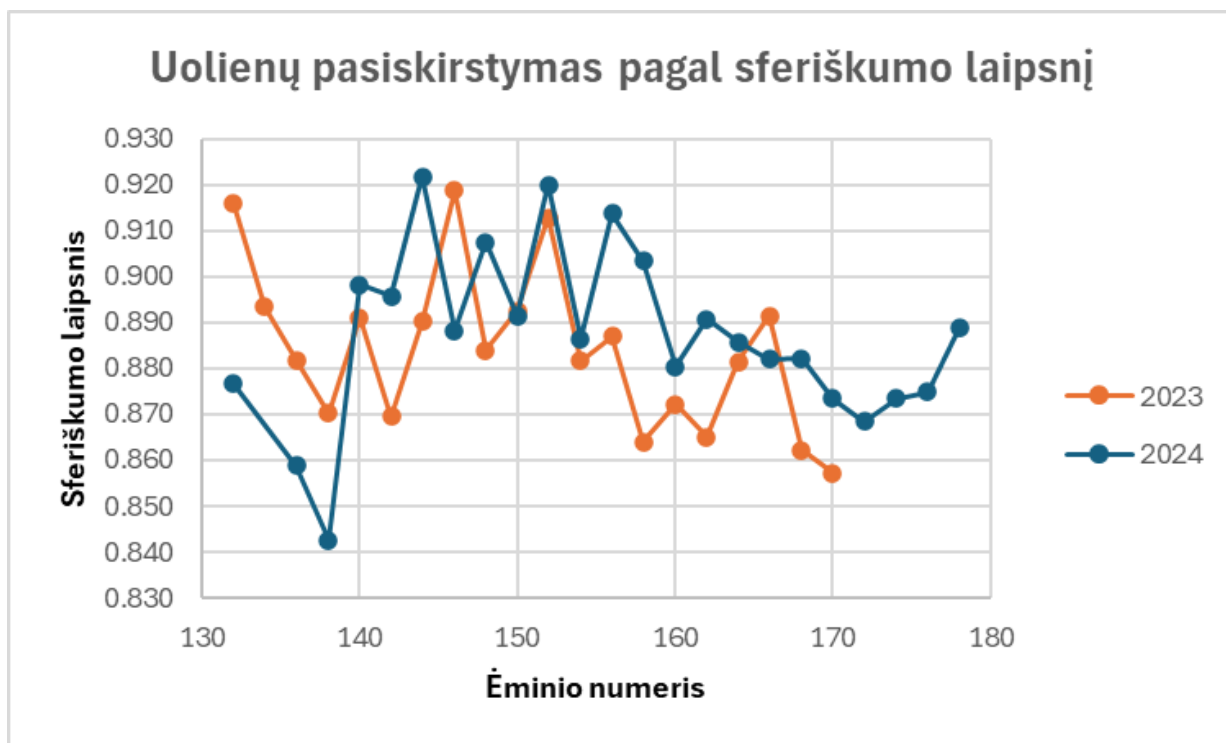


4.3 pav. Uolienu dydžio pasiskirstymas pagal jų c (trumpiausią) ašį.

4.2 Uolienu sferiškumas

Uolienu sferiškumas parodo aplinkos sąlygų poveikį, konkrečiu atveju bangavimo režimą. 4.4 paveiksle galima matyti, kad kranto atkarpoje tarp 132-138 sferiškumo laipsnis mažėja propocingai tiek 2023 m., tiek 2024 m., o nuo 140 iki 156 ėminio vietos abiejais metais kinta intervale tarp 0,88-0,92 (išskyrus 142 ėminį 2023 m., kai sferiškumo laipsnis buvo 0,87). 158-172 pakrantės atkarpoje, ėminių sferiškumo laipsnis 2023 m. ir 2024 m. yra mažėjantis ir kinta nuo 0,91 iki 0,86, kas kas

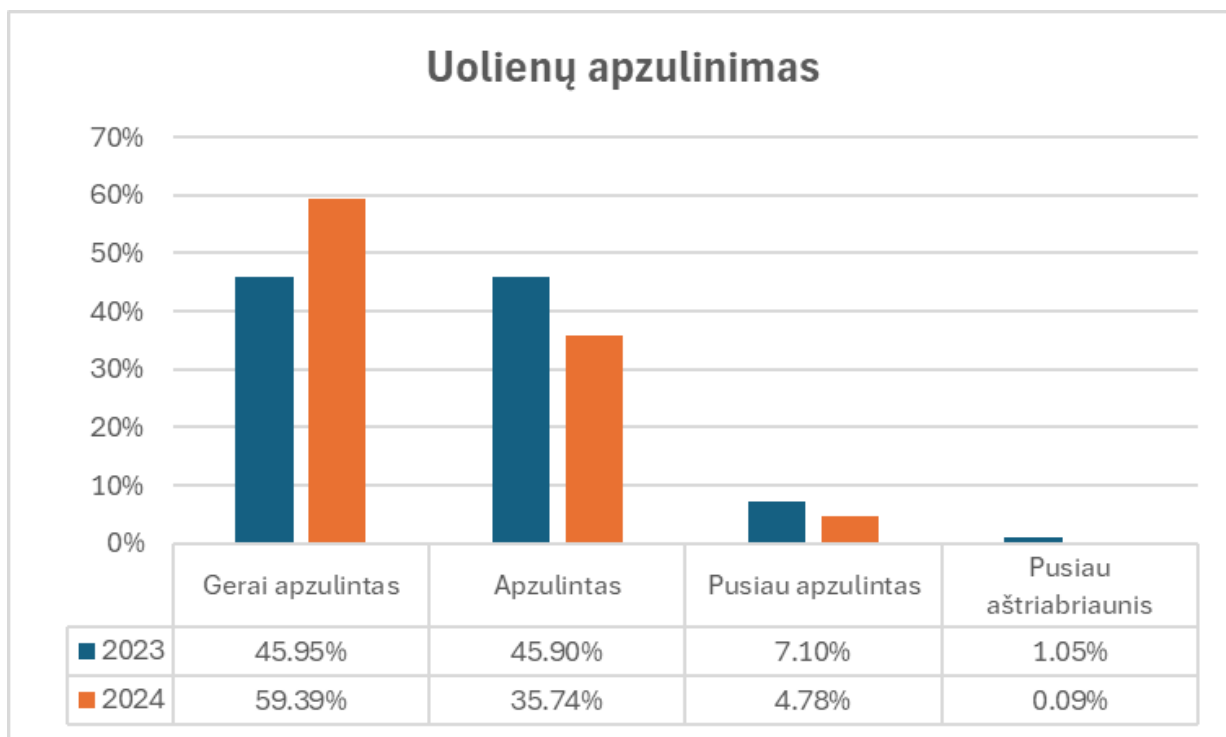
parodo, kad uolienos buvo mažiau veikiamos hidrodinaminių procesų. 2023 m. 164 (0,88) ir 166 (0,89) atkarpos išsiskyrė savo didesniu sferiškumo laipsniu, o 2024 m. intervale nuo 172 (0,87) iki 178 (0,89) sferiškumas tolygiai pradėjo augti. Didėjantis sferiškumas parodo, kad gargždas jau ilgai dalyvauja aktyviame sedimentaciniame procese ir yra transportuojamas dideliu atstumu. Pastarasis faktorius yra svarbus analizuojant uolienų pernašą ir kitus mechaninius procesus, nes natūralios pernašos metu (pvz., vandenyje ar ore) uolienos dažnai tampa apvalesnės. Tai vyksta dėl ilgalaikio abrazinio poveikio, kai uolienos trinamos viena į kitą arba į kranto paviršių. Taigi, tyrime gautas aukštas sferiškumo laipsnis rodo, kad uolienos buvo stipriai paveiktos bangų.



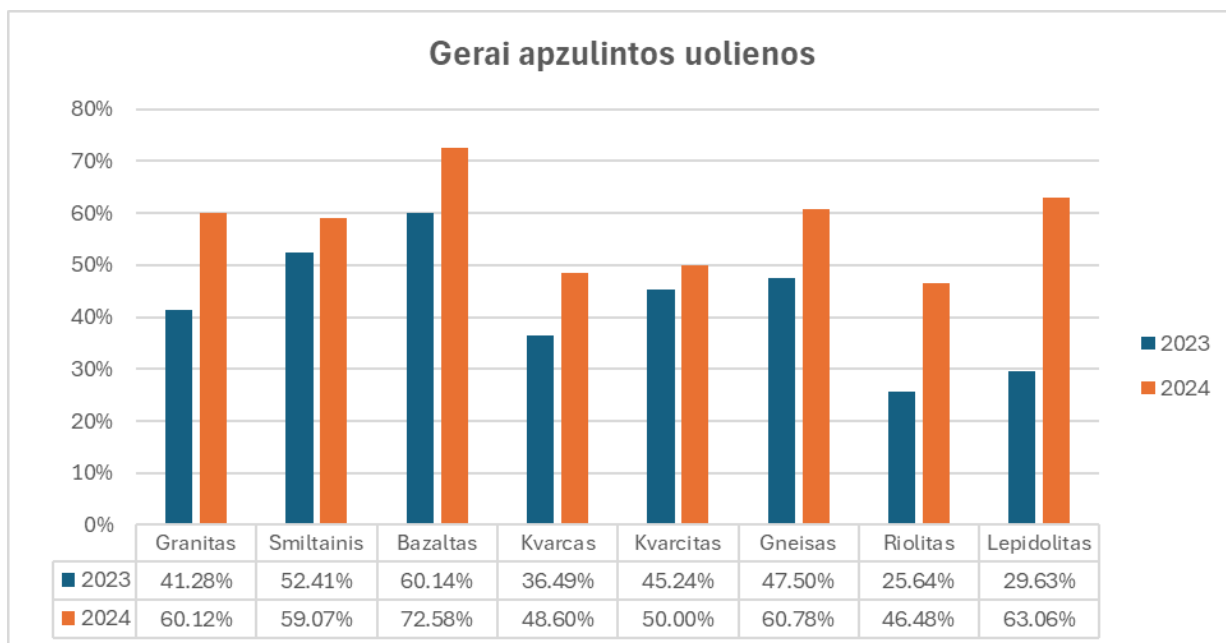
4.4 pav. Sferiškumo kitimo tyrimo rezultatai.

4.3 Uolienų apzulinimas

Kaip jau buvo minėta, tiriamų objektų sferiškumas buvo gana aukštas, tačiau svarbu atsižvelgti ir į uolienų apzulinimą. Šie faktoriai yra itin svarbūs, nes pagal juos galima nustatyti, kaip ir kokio stiprumo bangos veikė uolienas pastaruoju laiku. Susisteminius duomenis matyti, kad 2023 m. ir 2024 m. pagal apzulinimo lygį buvo suskirstytos į 4 klases : pusiau aštriabriaunės (2023 - 21 vnt., 2024 - 2 vnt.), pusiau apzulinintos (2023 - 142 vnt., 2024 - 110 vnt.), apzulinintos (2023 - 918 vnt., 2024 - 822 vnt.), gerai apzulinintos (2023 - 919 vnt., 2024 - 1366 vnt.). Uolienų apzulinimo pasiskirstymas pateikiamas (4.5 pav.). Lyginant 2023 m. ir 2024 m. gerai apzulintų uolienų kiekis padidėjo net 13,44%, tačiau apzulintų, pusiau apzulintų ir pusiau aštriabriaunių uolienų kiekis sumažėjo atitinkamai 10,16%; 2,32%; 0,96%.



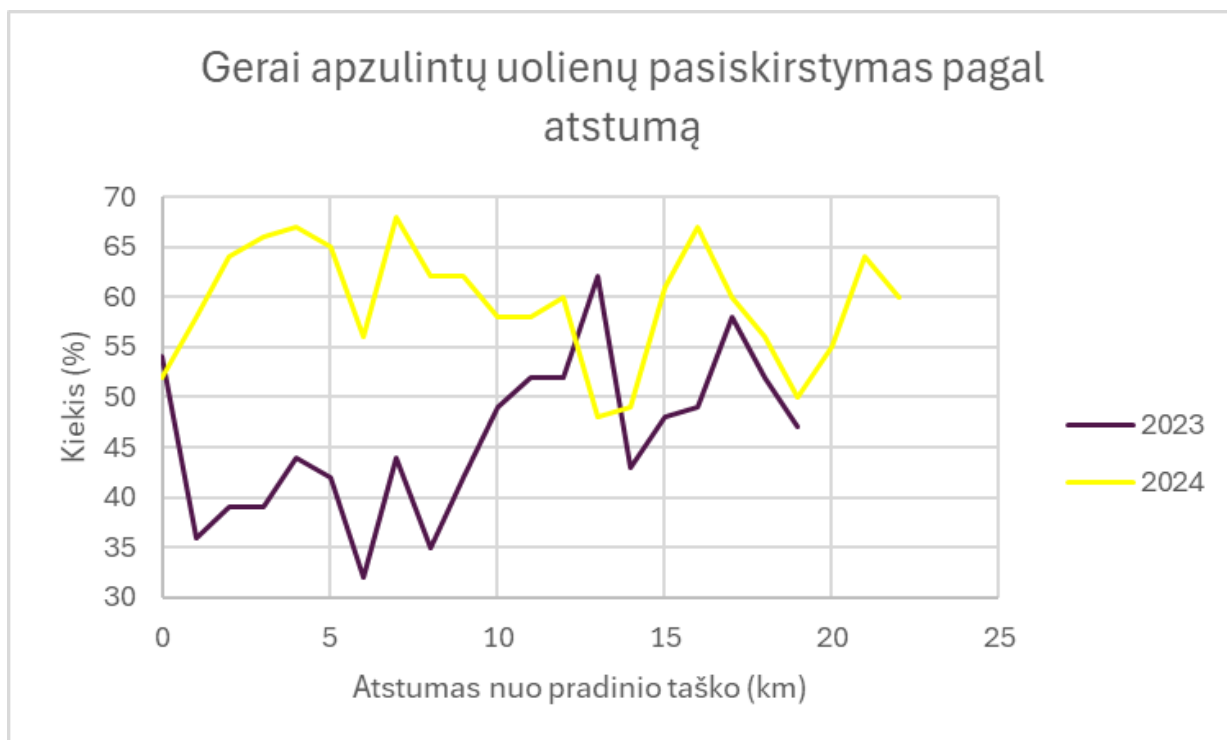
4.5 pav. Gargždo pasiskirstymas pagal apzulinimo lygį.



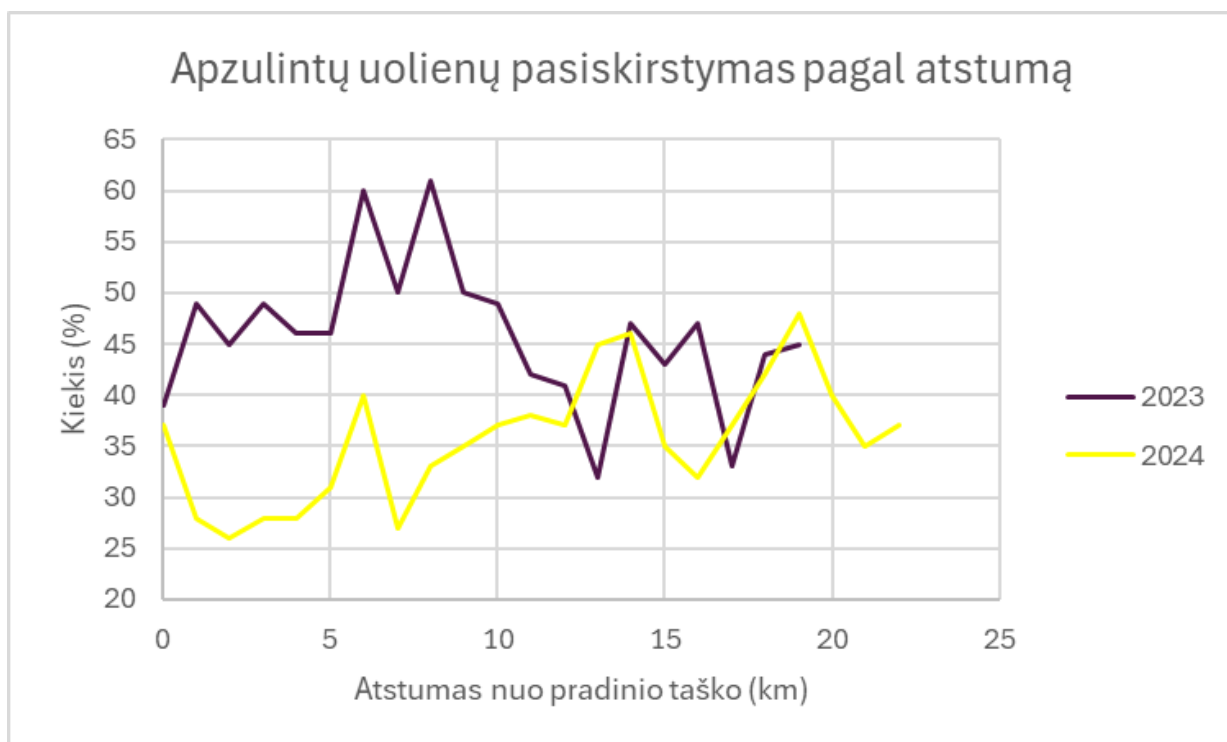
4.6 pav. Gera apzulinėtų uolienų dalis procentais nuo jų kiekio.

4.6 paveiksle matyti, kad gerai apzulinto gargždo kiekis lyginant 2023 m. ir 2024 m. stipriai padidėjo lyginant 7 uolienų tipus. Daugiausiai iš jų padidėjo granito (18,84%), riolito (20,84%) ir lepidolito (33,43%) uolienų. Vidutiniškai apzulinimas sumažėjo gneiso (13,28%), smiltainio (12,44%) ir kvarco (12,11%). Mažiausi pokyčiai nustatyti tarp bazalto (6,66%) ir kvarcito (4,76%) kiekiai. E. Trimonis (2002) teigia, kad grūdelių apzulinimo laipsnis labai priklauso nuo mineralinės sudėties, transportavimo sąlygų ir kitų dinaminių veiksnių. Tai patvirtina ir Lepidolito žymus gerai apzulinėtų dalelių kiekio padidėjimas, kuris susijęs su jo kietumu (2,5-4 pagal Moso skalę), kadangi jis lengvai pasiduoda mechaniniam susidevėjimui. Pagal gerai apzulinėtų uolienų kiekio tendencijas

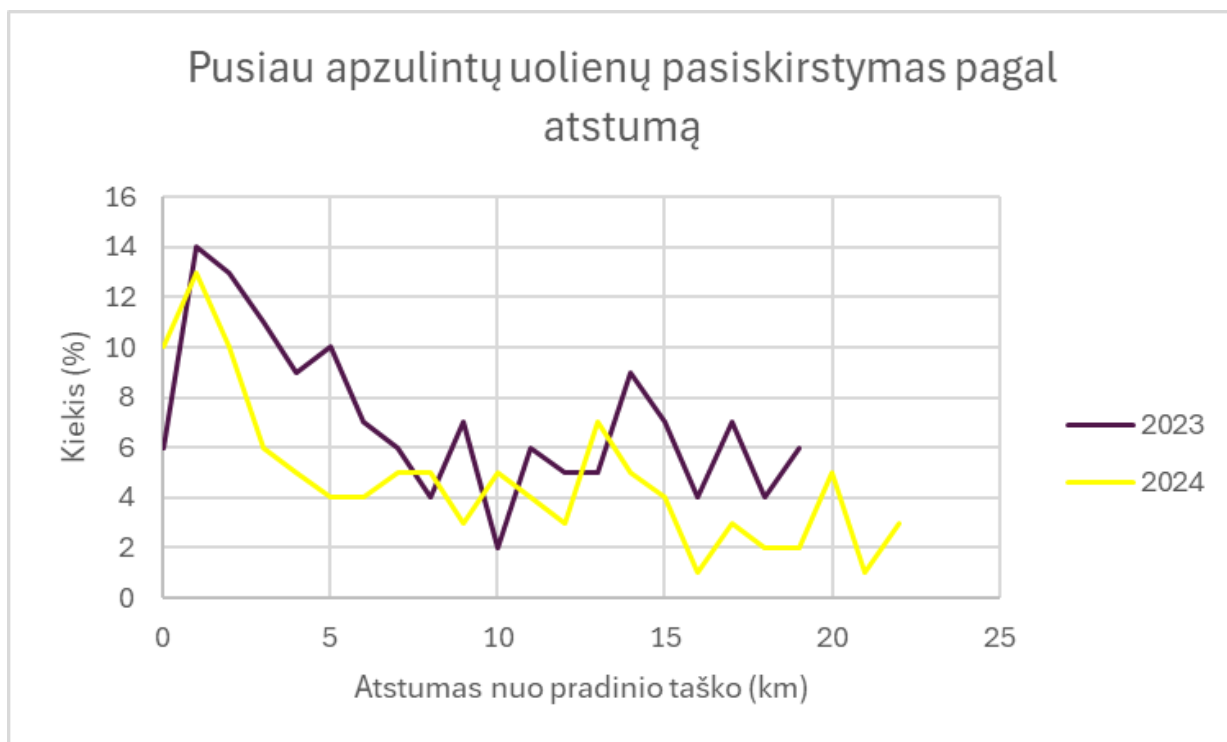
2024 m. galima daryti išvadą, kad laikotarpyje tarp 2023-2024 m. uolienos buvo veikiamos stipresnio bangavimo, todėl buvo stipriau paveiktos mechaniskai.



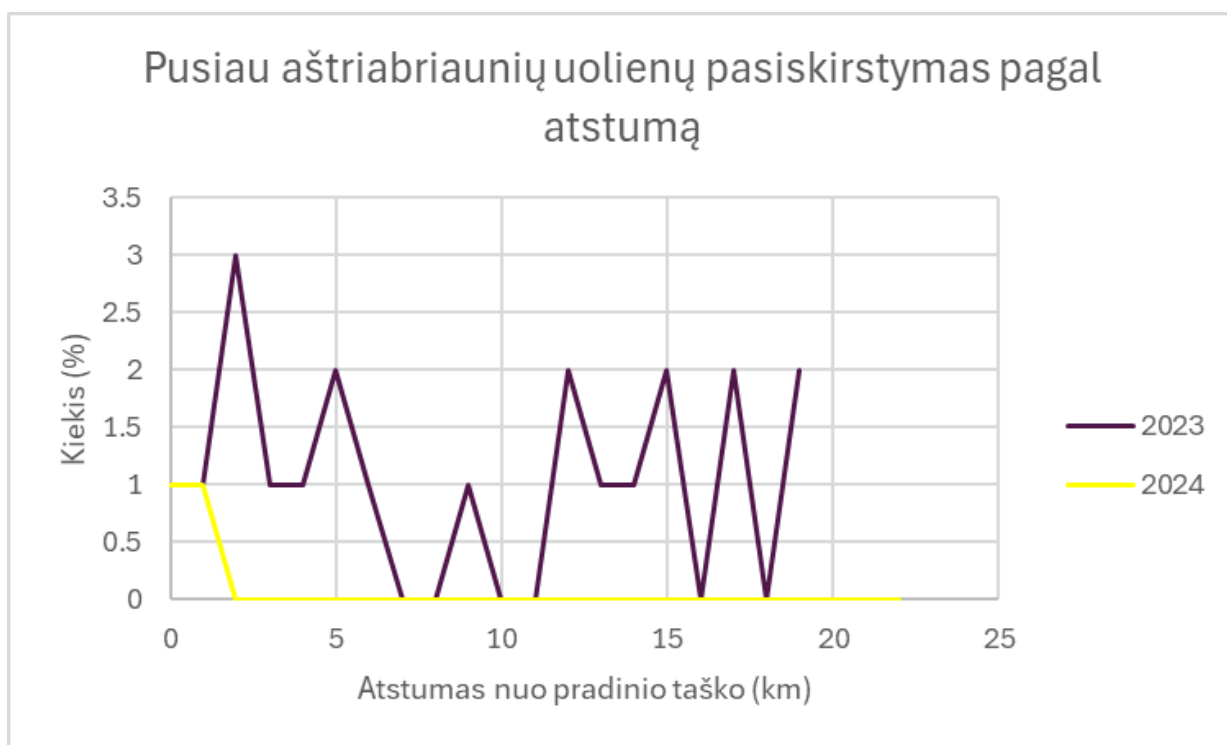
4.7pav. Gera apzulintų uolienų pasiskirstymas pagal atstumą.



4.8pav. Apzulintų uolienų pasiskirstymas pagal atstumą.



4.9pav. Pusiau apzulinėtų uolienų pasiskirstymas pagal atstumą.



4.10pav. Pusiau aštriabriaunių uolienų pasiskirstymas pagal atstumą.

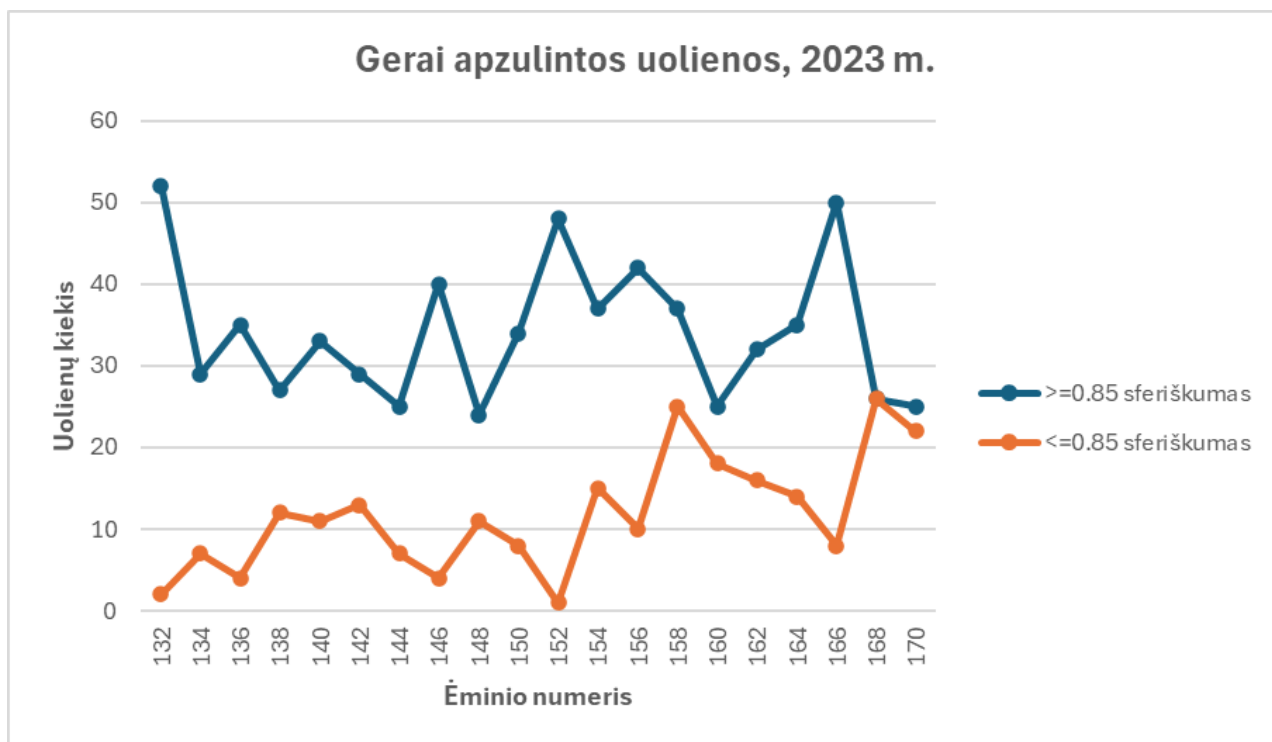
Atlikus tyrimą nustatytas įvairus gargždo apzulinimo tipų pasiskirstymas priklausomai nuo atstumo (4.7pav.; 4.8pav.; 4.9pav.; 4.10pav.). Gerai apzulinėtų ir apzulinėtų uolienų pasiskirstymas (4.7pav.; 4.8pav.) išsiskiria dideliu procentiniu kiekiu abejais metais, o tokia gausa rodo intensyvesnius dinامينius procesus – pernašą. Taip pat galima manyti, kad šiose vietose stipriau veikia eroziniai procesai. Nedidelis pusiau aštriabriaunių uolienų kiekio pasiskirstymas (4.10pav.) rodo, kad krantas yra stipriai veikiamas bangų, nes didelis kiekis pusiau aštriabriaunių uolienų reišktų

silpną bangų poveikį, nes jos mažai juda dėl ko išlaiko aštrias briaunas, be to joms būdinga kauptis tokiose vietose. Pusiau abzulintų uolienu kiekis pagal sudaryta grafiką (4.9pav.), rodo kad daugiausiai jų susikaupė arčiausiai pradinio taško Einant piečiau nuo pradinio taško pusiau abzulintų uolienu kiekis mažėja abejais metais tiek 2023m., tiek 2024m. Toks pusiau apzulintų uolienu kiekis rodo mažiau veikiamas kranto dalis, kur bangų energija yra silpnesnė, šiuo atveju tai būtų tirta kranto šiaurinė dalis. Taigi, toks uolienu pasiskirstymas pagal jų apzulinimą leidžia įvertinti kranto dinamiką bei identifikuoti rizikingas zonas.

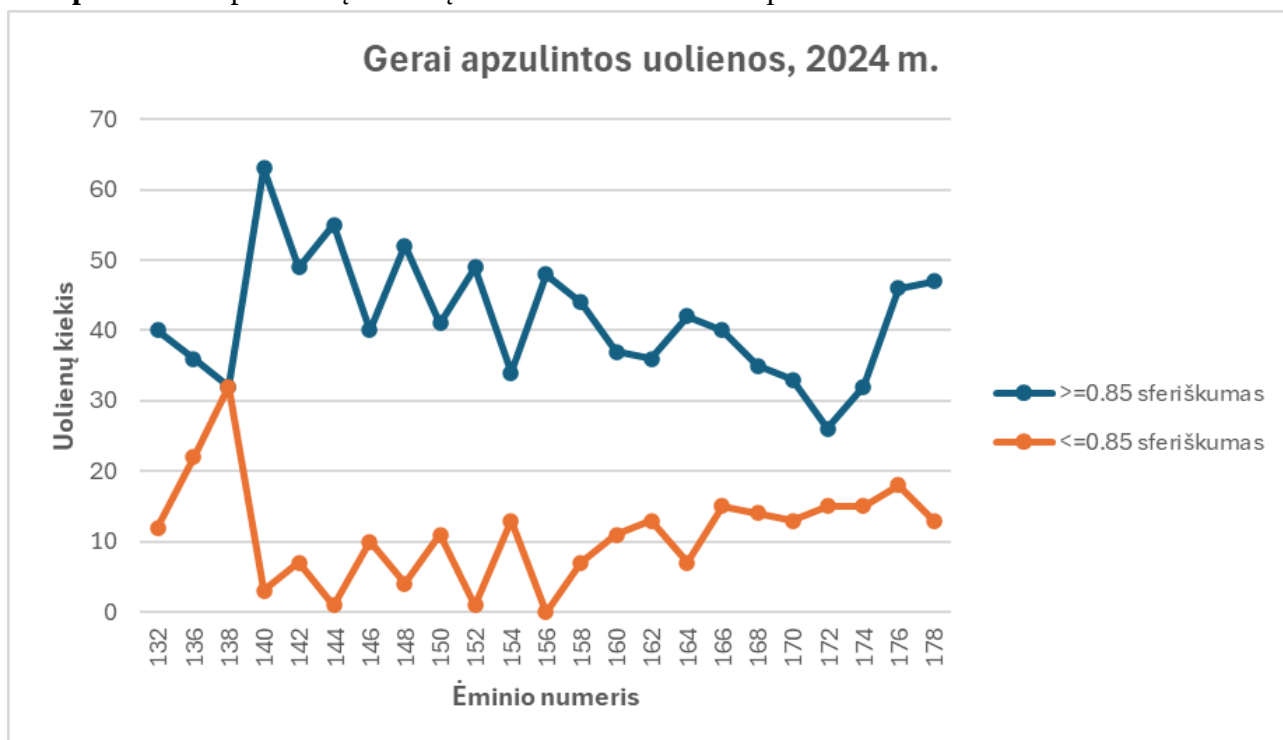
4.4 Sferiškumo ir apzulinimo kaita

Uolienu sferiškumo ir apzulinimo kaita nėra tiesiogiai susiję veiksniai kontroliuojantys jų kitimą. Sferiškumas parodo, kiek uoliena primena tobulą sferą, o apzulinimas atskleidžia, kiek uoliena buvo paveikta gamtos sąlygų bei nurodo jos paviršiaus išlyginimo laipsnį. Taigi galima teigti, kad kuo labiau uoliena apzulinta, tuo labiau ji yra sferiška ir atinkamas sferiškumo laipsnis yra didesnis. Tyrimo sudaryti 2023 m. ir 2024 m. grafikai (4.11 pav., 4.12 pav., 4.13 pav., 4.14 pav.) atskleidžia, kaip kinta gerai apzulintų ir apzulintų uolienu kiekiai esant aukštam sferiškumo laipsniui. Gerai apzulintų uolienu kiekiai buvo lyginami su 0,85 sferiškumo laipsniu, siekiant išsiaiškinti, kiek gerai apzulintų uolienu buvo su aukštesniu nei 0,85 laipsniu ir kiek gerai apzulintų uolienu buvo su 0,85 ir žemesniu apzulinimo laipsniu. Atitinkamai buvo lyginamos ir apzulintos uolienos, tačiau šiuo atveju buvo naudojamas 0,80 sferiškumo laipsnis, nes jos buvo mažiau paveiktos aplinkos, kas reiškia ir mažesnį sferiškumo laipsnį.

Grafike (4.11 pav.) matomas 2023 m. gerai apzulintų uolienu kaita su sferiškumu. Galima matyti, kad esant didesniai sferiškumo laipsniui (0,85 ir aukščiau), gerai apzulintų uolienu kiekis visuose ėminiuose yra daug didesnis nei su 0,85 ir mažesniu sferiškumo laipsniu (iš jų išsiskyrė tik 168 ėminys, kuriame gerai apzulintų uolienu kiekis buvo vienodas). Grafike (4.12 pav.) matome analogišką 2024 m. situaciją tik čia išskirtinis ėminis buvo 138, kuriame gerai apzulintų uolienu kiekis buvo vienodas. Taigi, galime teigti, kad gerai apzulintų uolienu skaičius abiejais metais priklauso nuo sferiškumo: kuo didesnis yra sferiškumo laipsnis tuo daugiau yra gerai apzulintų uolienu.



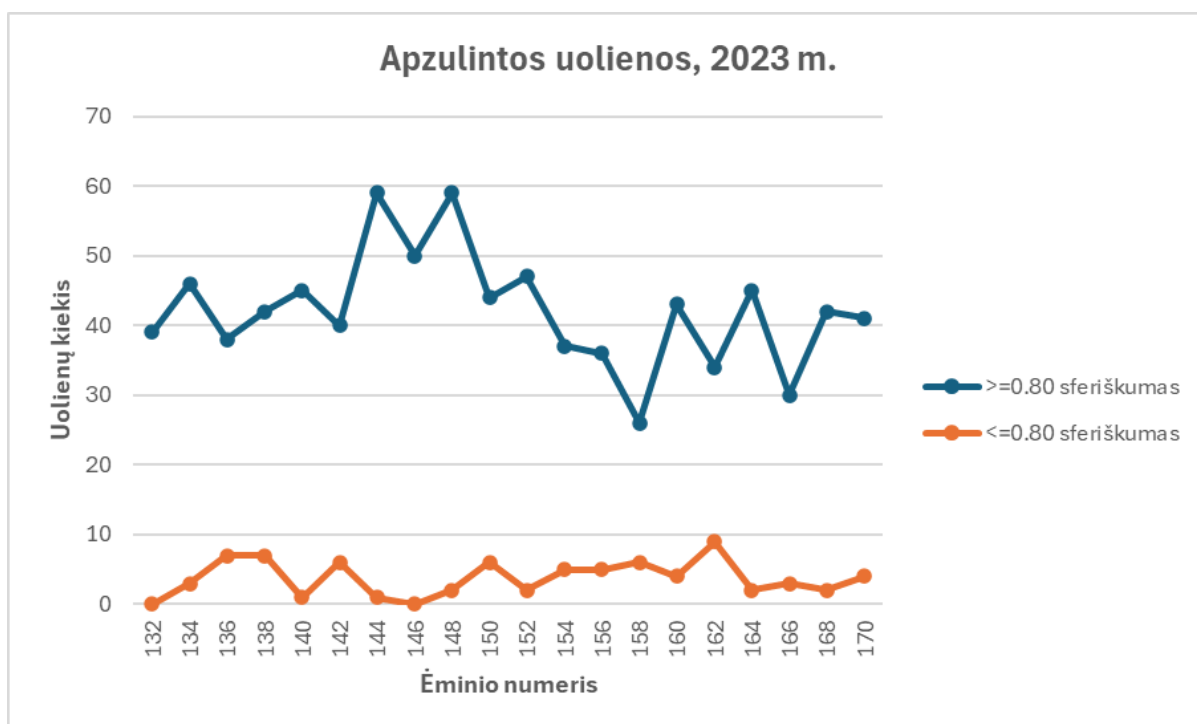
4.11 pav. Gera apzulinimų uolių 2023 m. sferiškumo ir apzulinimo kaita.



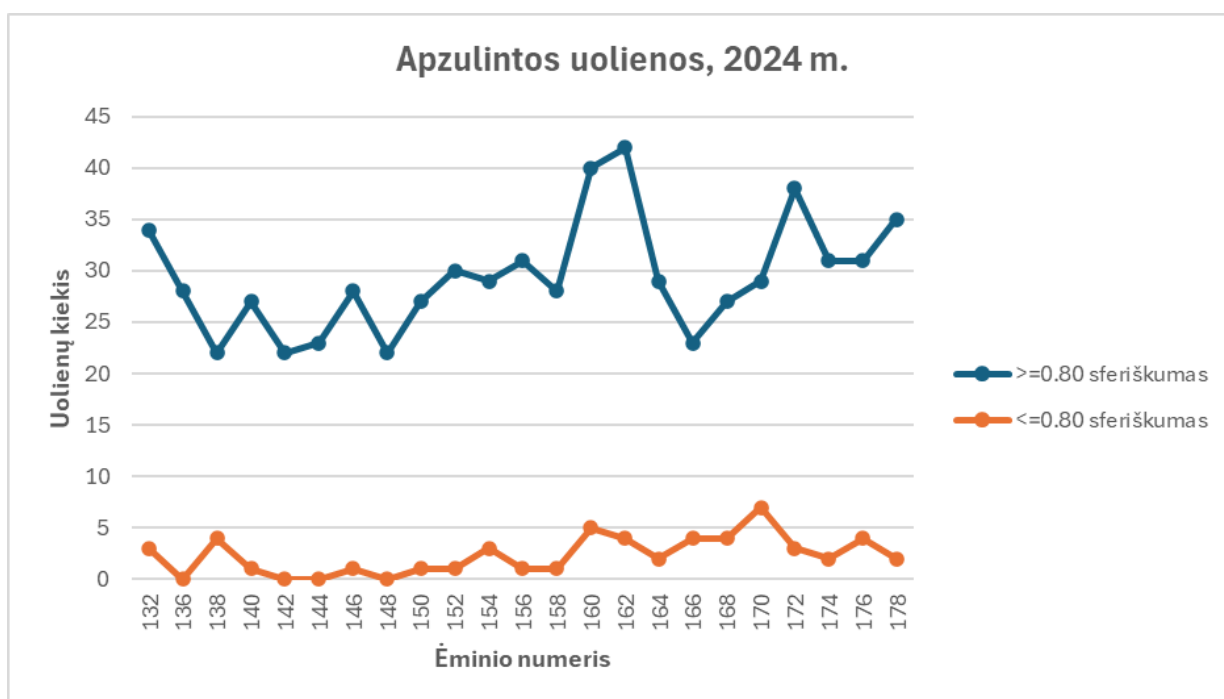
4.12 pav. Gera apzulinimų uolių 2023 m. sferiškumo ir apzulinimo kaita.

Grafike (4.13 pav.) matomas 2023 m. apzulinimų uolių kaita su sferiškumu. Galima pastebėti, kad esant didesniai sferiškumo laipsniui (0.80 ir aukščiau), gerai apzulinimų uolių kiekis svyruoja intervale 26-59, o su 0,80 ir mažesniu sferiškumo laipsniu, apzulinimų uolių kiekiai svyruoja intervale 0-9. Grafike (4.14 pav.) matoma, kad 2024 m. buvo identiška situacija lyginant su 2023 m., tik šiuo atveju didesniai sferiškumo laipsniui apzulinimų uolių kiekiai svyruoja 23-43 intervale, o su mažesniu sferiškumo laipsniu apzulinimų uolių kiekiai kinta intervale 0-12. Šiuose apzulinimų

uolienu ir sferiškumo grafikuose matome dar didesnius uolienu kiekius, kurie parodo, kad uolienu kiekiai priklauso nuo apzulinimo laipsnio.



4.13 pav. Gerai apzulinu uolienu 2023 m. sferiškumo ir apzulinimo kaita.

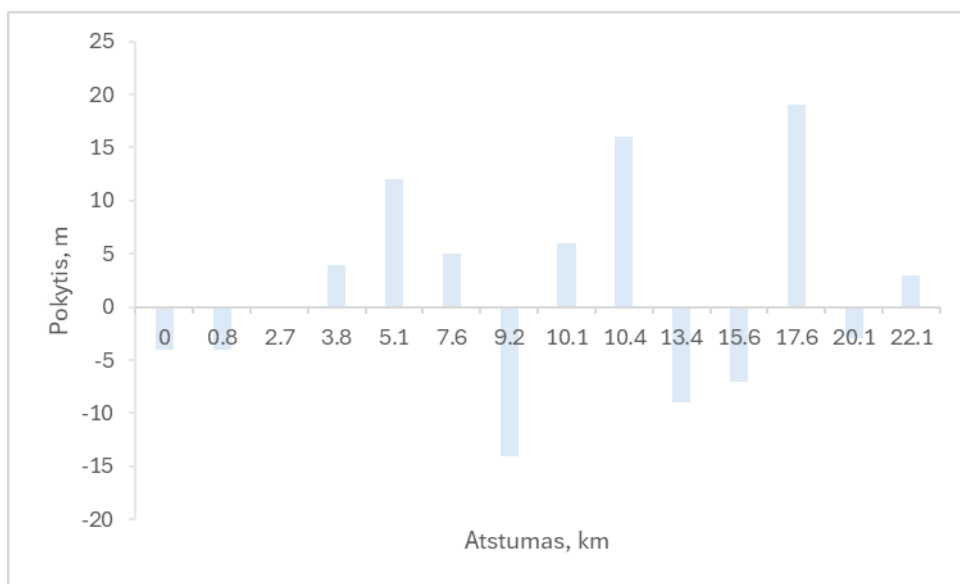


4.14 pav. Gerai apzulinu uolienu 2023 m. sferiškumo ir apzulinimo kaita.

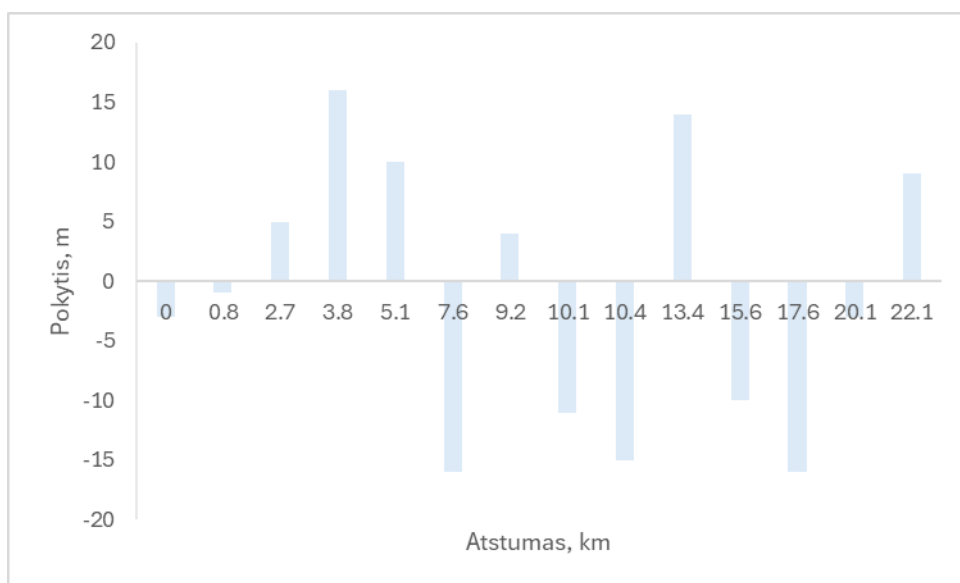
5. KRANTO DINAMINIAI PROCESAI

5.1 Kranto linijos pokytis

Kranto dinaminiai procesai vyksta kranto zonoje ir keičia bei veikia kranto reljefą ir struktūrą. Jie yra susiję su natūraliais veiksniais, tokiais kaip bangavimas, vėjas, srovės, audros bei žmogaus veikla. Kranto morfometriniai rodikliai yra reikšmingi vertinant erozijos intensyvumą, sedimentacijos zonas ir kranto dinamiką. Pagrindiniai rodikliai dažniausiai būna: krantolinijos pokytis, paplūdimio plotis, aukštis ir nuolydis. Darbe tyrimas 23 km kranto ruožas, tačiau dėl skirtingų kiekio ir ėminių ėmimo atstumo toliau nagrinėjamas tik apie 22.1 km kranto ruožas. Darbe buvo išanalizuotas kranto linijos pokytis pagal ėminių rinkimo taškų koordinates. Kranto linijos pokyčiai 2022-2023m. ir 2023-2024m. pateikti 5.1 ir 5.2 pav.



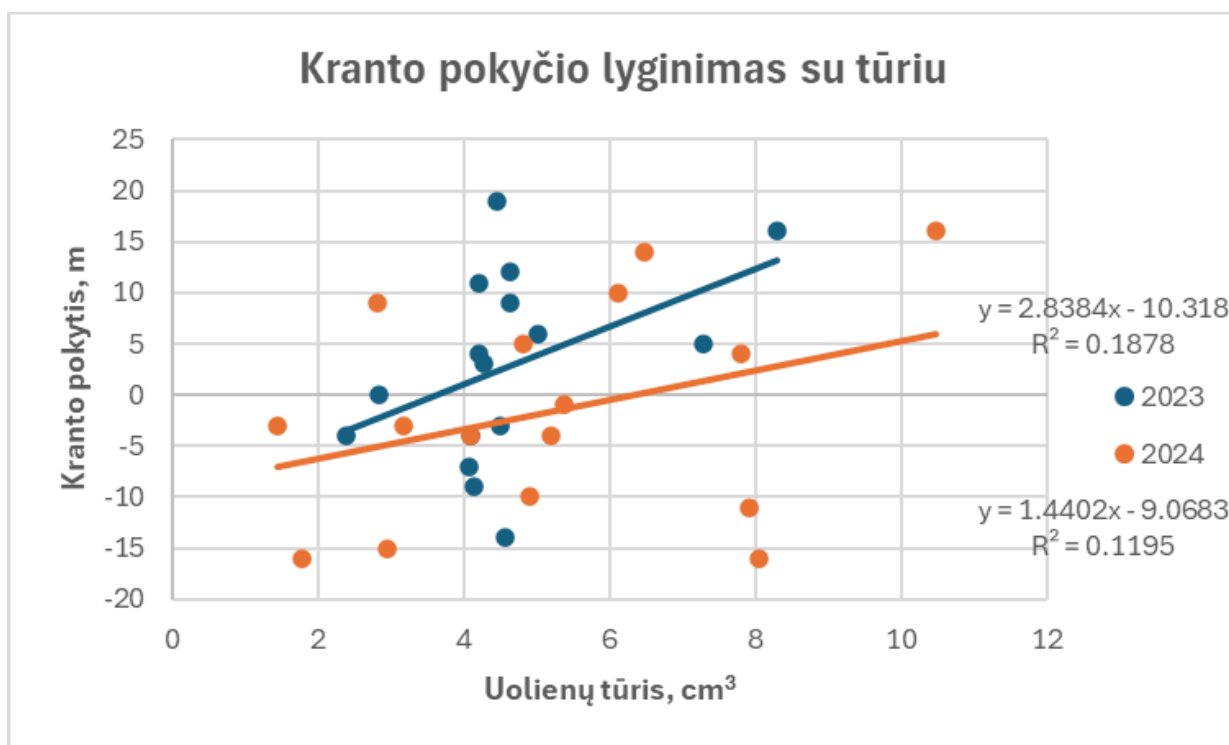
5.1pav. Kranto linijos pokytis 2022-2023 m.



5.2pav. Kranto linijos pokytis 2023-2024 m.

Abiejuose 2022-2023 m. (5.1pav) ir 2023-2024 m. (5.2pav) grafikuose pavaizduotas kranto linijos pokytis. Visų taškų koordinatės buvo lyginamos su atstumu nuo molo, taip tiksliai apskaičiuojant kranto linijos pokytį. Pagal gautus rezultatus galima pastebėti ir poslinkį tarp ėminių imtų ties kilometrais 0.0, 0.8, 2.7, 3.8, 5.1, 7.6, 9.2, 10.1. Juose matoma, kad nuo 2022-2023m. (5.1pav) 10.1 kilometro ruožo kranto pokytis tolygiai prasislinko į 2023-2024m. (5.2pav) 9.2 kilometro ruožą, o tai parodo, kad įvyksta išilginė pernaša iš pietų į šiaurę. Atitinkamai visa kranto linija pasislinko, o tai atskleidžia matyti pačios kranto linijos bei visų jos sąnašų judėjimą. Tarp ėminių imtų ties kilometrais 10.4, 13.4, 15.6, 17.6, 20.1, 22.1 pokyčiai kinta netolygiai, dėl to šiuose ruožuose negalima įvertinti aiškių rezultatų bei daryti išvadų.

Grafike (5.3pav.) pavaizduotas kranto pokyčio ryšys su uolienu sferiškumu 2023 ir 2024 metais. Grafikas rodo, jog apvalesni grūdėliai dažniau siejami su teigiamais kranto pokyčiais, ypač 2023 m., o tai leidžia teigti, kad sferiškesni sąnašų akmenukai galėjo palengvinti jų pernašą ir kaupimąsi pakrantėje. 2024 m. pastebimas šiek tiek mažesnis ryšys, kuris gali būti susijęs su nepalankiomis bangavimo ar vėjo sąlygomis, kurios lėmė intensyvesnę kranto eroziją net apvalesnių uolienu zonose. Taigi šie rezultatai leidžia suprasti, kaip grūdelių forma (sferiškumas) gali būti susijusi su kranto stabilumu ar erozijos procesais.



5.3pav. Kranto pokyčio lyginimas su sferiškumu.

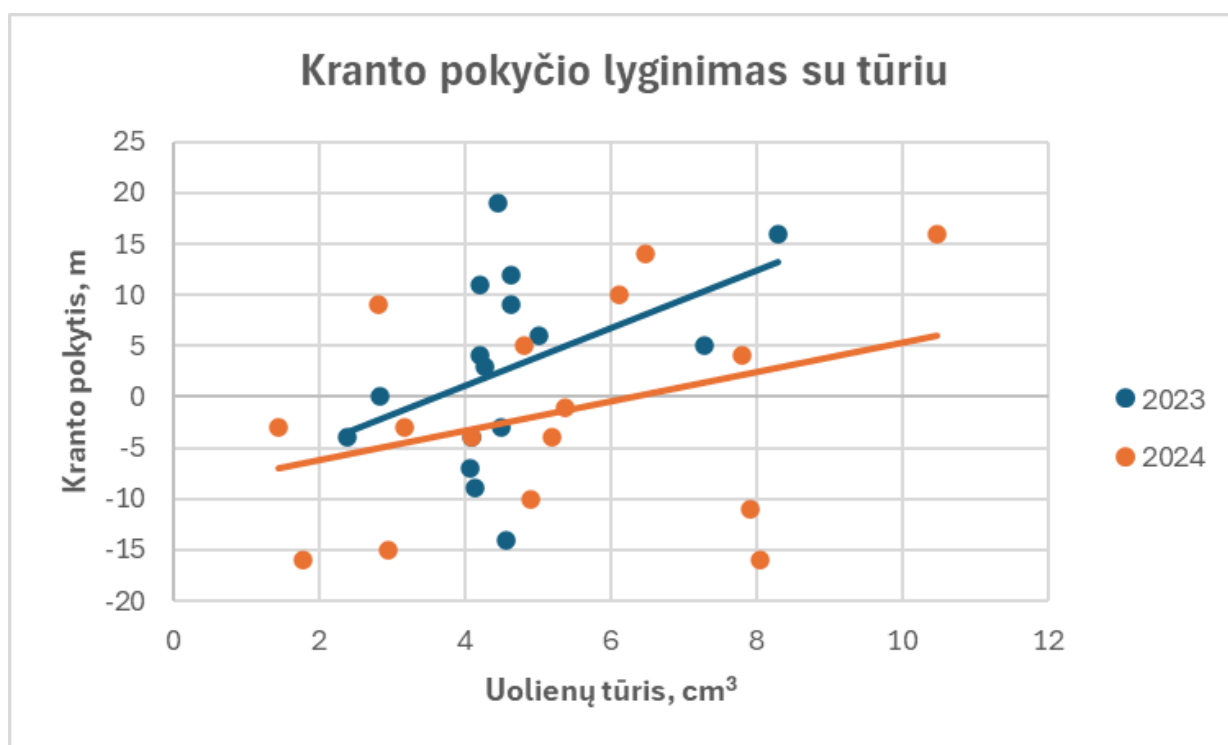
Kranto pokyčio palyginimas su uolienu tūriu leidžia įvertinti, kaip sąnašų kiekis lemia kranto dinamiką. Sąnašų tūris turi įtakos krantui, nes iš to galime spręsti kaip yra ar buvo veikiamos uolienos. Kuo uolienos tūris didesnis tuo uoliena yra mažiau veikiamą bangų ar vėjo poveikio ir sunkiau pernešama išilgai kranto. Tyrime matuotų uolienu apzulinimas ir sferiškumas buvo labai aukštas, kas gali taip pat lemti jų efektyvią pernašą. Norint apskaičiuoti uolienos tūrį, turint jos ilgąją (a), vidutinę (b) ir trumpąją (c) ašį, dažniausiai naudojamas elipsoido tūrio (apytiksliai) skaičiavimo būdą, kurio formulė yra:

$$V = \frac{4}{3} \pi * a * b * c$$

Kadangi formulė pritaikyta skaičiuoti apvalius kūnus, todėl reikia ašies spindulio, dėl ko ašys buvo padalintos iš dviejų, tai galutinė formulė:

$$V = \frac{4}{3}\pi * \frac{a}{2} * \frac{b}{2} * \frac{c}{2}$$

Gauti kranto pokyčio palyginimo su uolienų tūriu rezultatai (5.4pav.) rodo, kad didesnis tūris siejamas su teigiamais kranto pokyčiais abejais metais tiek 2023m., tiek 2024m.. Tokie rezultatai rodo, kad vyksta aktyvi akumuliacija, o dėl jos krantas priauga arba išlieka stabilus. Taigi pagal duomenis matome krantas išlieka stabilus.

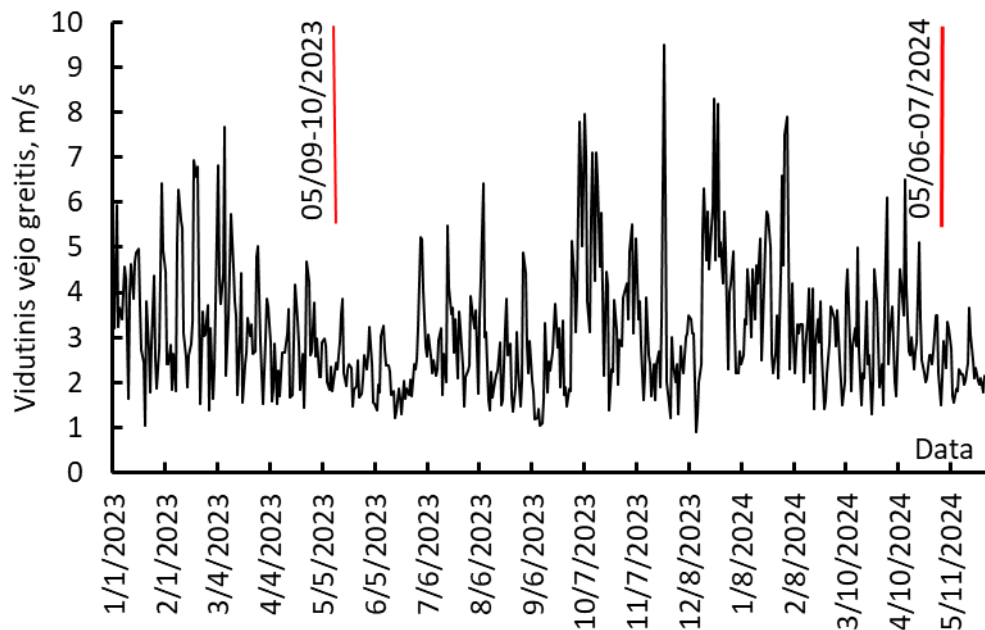


5.4pav. Kranto pokyčio palyginimas su tūriu.

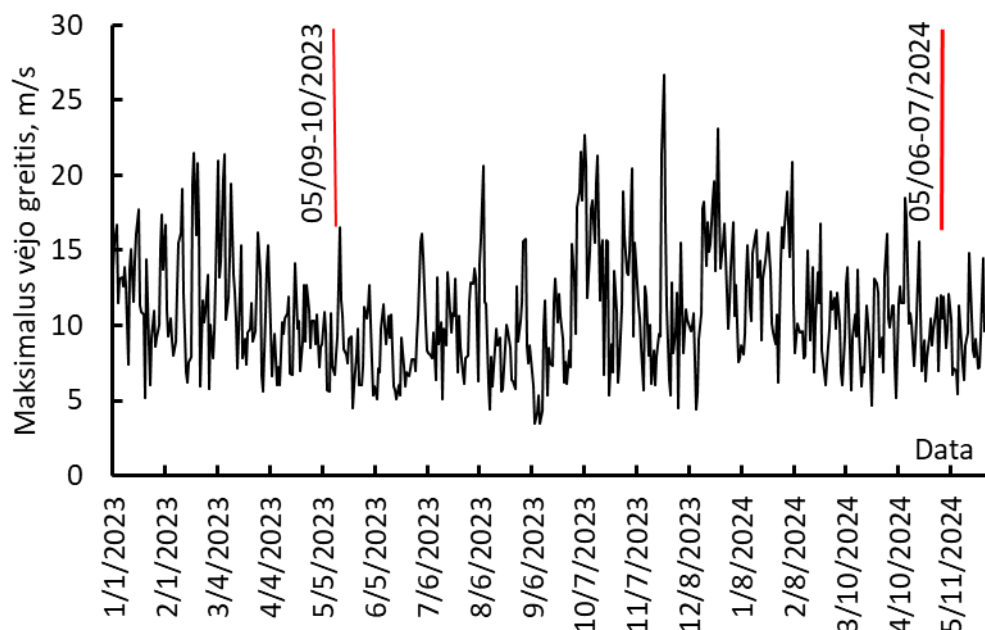
5.2 Vėjo analizė

Kranto dinaminiam procesui ypač svarbus vėjas, nes jis daro tiesioginį ir netiesioginį poveikį krantui. Tiesioginis poveikis pasireiškia sausumoje – vėjas perneša smėlį, formuoja kopas, o pažeidus augalinę kopų sluoksnį, skatina eolinę eroziją. Netiesioginis poveikis susijęs su bangų formavimu: stiprūs vakariniai vėjai sukelia didelio aukščio bangas, kurios veikia krantą, skatina sąnašų pernašą bei eroziją. Be to, vėjas prisideda prie išilginės kranto pernašos, todėl yra vienas svarbiausių faktorių kranto linijos pokyčiams.

a)



b)



5.5pav. Kasdienė vėjo greičio kaita 2023-01-01 – 2024-05-31 laikotarpiu Klaipėdos meteorologinėje stotyje: vidutinis (a) ir maksimalus vėjo greitis (b) (Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos duomenys). Raudoni brūkšniai žymi ėminių rinkimo datas.

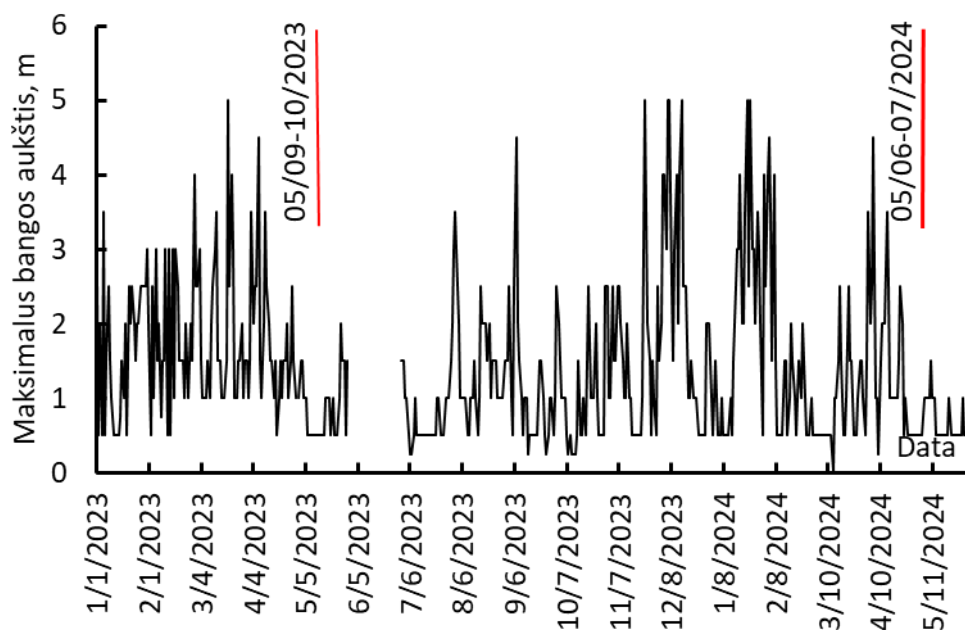
Vėjo kitimas pavaizduotas (5.5 pav.). Duomenis gauti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos. Vidutiniai vėjo greičio rezultatai 2023-01-01 – 2024-05-31 laikotarpiu (5.5 pav. a) rodo, kad stipriausi vėjai 5–10 m/s vyraavo spalio-vasario mėnesiais, tokie vėjai skatina smėlio pernaša pakrante, stipresni bangavimą. Silpniausi vidutiniai vėjai iki 5m/s buvo balandžio-rugsėjo mėnesiais, tokie vėjai sukelia nežymų bangavimą ir neturi didelės įtakos kranto ardymui. Žiūrint į (5.5 pav. b) matome maksimalius vėjo greičius, tai rodo kada vėjo poveikis buvo stipriausias. Atitinkamai su vidutinių vėjų grafiku stipriausi maksimalus vėjai vyraavo kaip ir stipriausi

spalio-vasario mėnesiais. Stiprūs vėjai (10–15 m/s), kurie buvo balandžio-rugsėjo mėnesiais generuoja aukštas bangas, kurios ardo krantą, o audriniai vėjai (>15 m/s) vyravę spalio-vasario mėnesiais sukelia intensyvią krantų eroziją, kopų slinkimą, smėlio išplovimą į jūrą bei didėlias bangas, kurios sukelia sąnašų pernašą.

6. HIDRODINAMINIŲ VEIKSNIŲ ANALIZĖ

6.1 Bangų analizė

Hidrodinaminiai veiksniai, darantys įtaką paplūdimio krantui, yra su vandens judėjimu susiję procesai, kurie formuoja, keičia ir veikia pakrantės reljefą bei nuosėdų pasiskirstymą. Vienas pagrindinių hidrodinaminių veiksnių kranto poveikiui yra bangos. Jų poveikis itin svarbus nustatant hidrodinامينius procesus. Remiantis aplinkos apsaugos agentūros Klaipėdoje rinktais duomenimis buvo sudarytas grafikas (6.1 pav.), atspindintis Baltijos jūros vidutinį mėnesinį bangų aukštį.



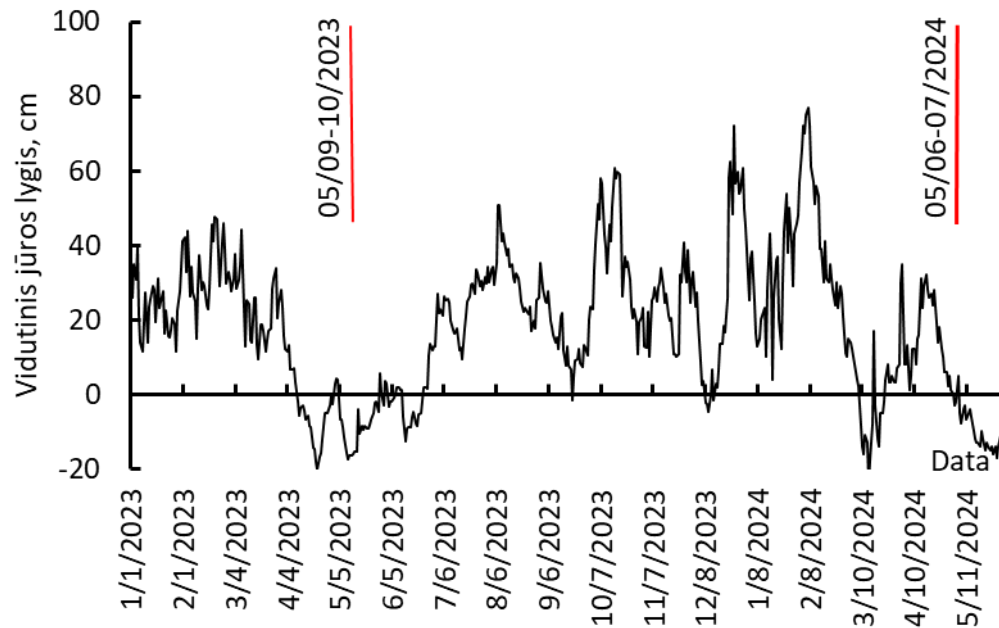
6.1pav. Kasdienė Baltijos jūros bangų maksimalaus aukščio kaita 2023-01-01 – 2024-05-31 laikotarpiu Klaipėdos jūros matavimo stotyje: vidutinis (a) ir maksimalus jūros lygis (b) (Aplinkos Apsaugos Agentūros duomenys). Raudoni brūkšniai žymi ėminių rinkimo datas.

Rezultatai atskleidė, kad didžiausias bangų aukštis vyrauja žiemos mėnesiais: nuo lapkričio iki kovo, o mažiausias atvirkščiai, tarp kovo ir lapkričio. Žiemą aukštesnės bangos dažniausiai susidaro dėl vyraujančios cikloninės pernašos. Bangų aukščio kaita gerai parodo Baltijos jūros bangavimo sezoniskumą (2023 m., 2024 m.). Remiantis rezultatais galima spręsti apie krante vykčius procesus. Silpnesnis bangavimas (iki 1,5 m) dažniausiai lemia akumuliacinius procesus, o aukštesnės bangos (virš 1,5 m) lemia kranto eroziją.

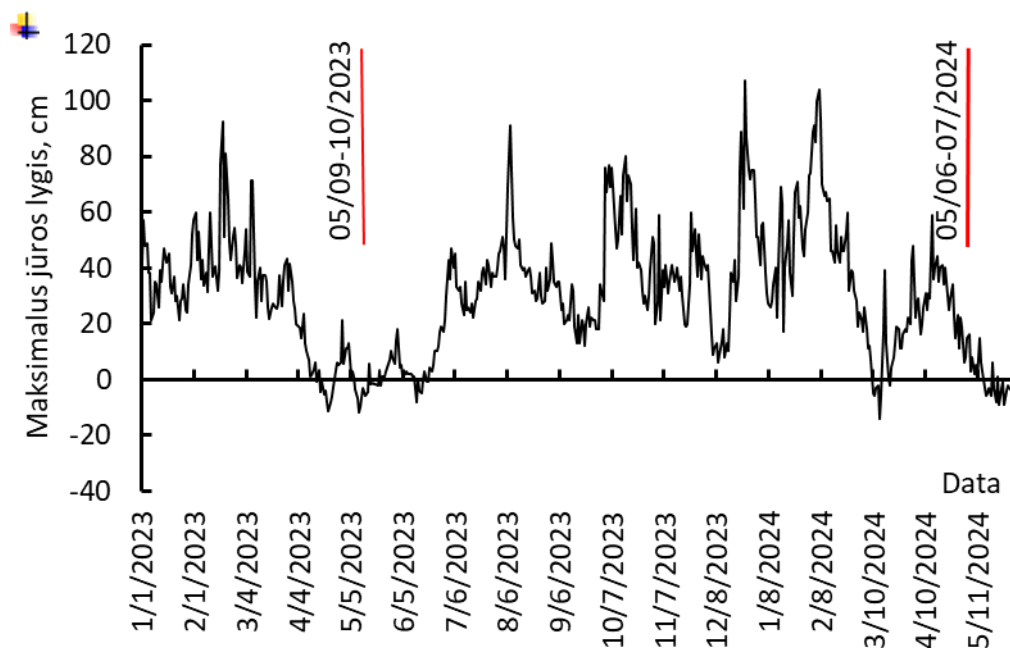
6.2 Jūros lygio analizė

Jūros lygio analizei buvo panaudoti Klaipėdos jūrų uosto duomenys (6.2 pav.). Aplinkos Apsaugos Agentūros duomenys nurodo vandens lygį centimetrais. Raudoni brūkšniai žymi ėminių rinkimo datas.

a)

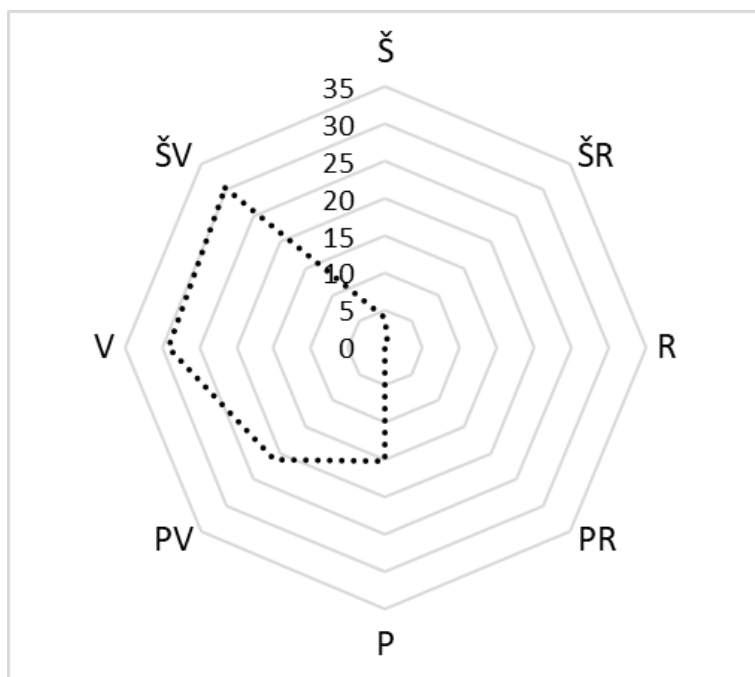


b)



6.2pav. Kasdienė Baltijos jūros lygio kaita 2023-01-01 – 2024-05-31 laikotarpiu Klaipėdos jūrų uosto vandens matavimo stotyje: vidutinis (a) ir maksimalus jūros lygis (b) (Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos duomenys). Raudoni brūkšniai žymi ėminių rinkimo datas.

Remiantis gautais jūros lygio duomenimis galima teigti, kad 2024 metų pradžia buvo audringesnė, nei 2023 metais (6.2 pav.). Kai 2023 m. buvo renkami ėminiai jūros lygis buvo žemesnis nei daugiamečio nulis, tuo tarpu 2024 m. jis buvo aukštesnis arba artimas daugiamečiam nuliui. Galima matyti, kad stipriai išsiskiria sausio - kovo mėnesiai, per kuriuos jūros lygis buvo aukščiausias. Toks vandens kilimas lemia, kad bangos gali pasiekti aukštesnes kranto zonas, o jose vyksta intensyvesnė sąnašų erozija, dėl ko uolienas gali pernešti ar nuplauti.



6.3pav. Vyraujančių Baltijos jūros bangų priėjimo prie kranto kryptys 2023-01-01 – 2024-05-31 laikotarpiu Klaipėdos jūros matavimo stoties duomenys (Aplinkos Apsaugos Agentūros duomenys).

Remiantis bangų priėjimo prie kranto krypties pasiskirstymu Baltijos jūroje (6.3 pav.), nustatyta, kad vyrauja šiaurės vakarų (~30 %), vakarų (~29 %), pietvakarių (~22 %) ir pietų (~15%) krypties bangos. Bangų priėjimo prie kranto kryptis lemia išilginę nešmenų pernašą. Kai vyrauja P-PV-V krypties bangavimas išilginis nešmenų srautas yra nukreiptas iš pietų į šiaurę, priešinga tendencija vyrauja kai dominuoja Š-ŠV-V sektoriaus bangos. Tokia kryptinė struktūra lemia sedimentų pernašą ir daro tiesioginę įtaką tiriamojo kranto erozijos bei akumuliacijos zonų pasiskirstymui. Tuo tarpu rytinių krypčių bangos fiksuojamos retai, todėl jų įtaka pakrančių procesams yra minimali.

IŠVADOS

1. Tyrimo metu buvo išskirtos 38 skirtingos uolienų rūšys 2023 m. ir 34 skirtingos uolienų rūšys 2024 m., iš kurių dominuojančios buvo granitas, smiltainis, bazaltas, kvarcas, kvarcitas, gneisas, riolitas ir lepidolitas. Pagal kilmę jos priskiriamos magminėms, nuosėdinėms, metamorfinėms uolienoms. Pagal uolienų klasifikaciją nustatyta, kad jos buvo atneštos ledyno ir perdirbtos bangų ar srovių. Dominuojančių uolienų pasiskirstymas išilgai kranto rodo atsparių uolienų gausą, o tai reiškia didesnį tiriamo kranto atsparumą.
2. Atlikus Kuršių Nerijos paplūdimio žvirgždo ir gargždo sąrašų analizę, nustatyta kad 2023 m.- 2024 m. vyravo gerai apzultintas ir apzulintas gargždas, tai rodo, kad jis ilgą laiką dalyvauja nešmenų pernašoje. Tyrime gautas aukštas sferiškumo laipsnis rodo, kad uolienos buvo stipriai paveiktos bangų. Gargždo pasiskirstymas pagal ašis paplūdimyje leidžia suprasti, bangavimo režimą, kuris formuoja paplūdimį bei paplūdimio atsparumą.
3. Įvertinus kranto dinامينius procesus nustatyta, kad priekrantėje dominuoja išilginė pernaša. Palyginus kranto dinامينius pokyčius su sferiškumu nustatyta, jog apvalesni grūdėliai dažniau siejami su teigiamais kranto pokyčiais.
4. Išanalizavus hidrodinامينius veiksnus nustatyta, kad bangų aukščio kaita gerai parodo Baltijos jūros bangavimo sezoniškumą (didžiausias bangų aukštis vyrauja žiemos mėnesiais: nuo lapkričio iki kovo, o mažiausias atvirkščiai, tarp kovo ir lapkričio.). Nustatyta, kad pagal bangų priėjimo prie kranto kryptį, jos tirtame krante lemia išilginę nešmenų pernašą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Bluck, B. J. (1969). Particle rounding in beach gravels. *GEOLOGICAL MAGAZINE* (T. 106, Numeris I).
- Bluck, B. J. (2011). Structure of gravel beaches and their relationship to tidal range. *Sedimentology*, 58(4), 994–1006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2010.01192.x>
- Buscombe, D., & Masselink, G. (2006). Concepts in gravel beach dynamics. *Earth-Science Reviews*, 79(1–2), 33–52. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.003>
- Bluck, B.J. (1967) Sedimentation of Beach Gravels: Examples from South Wales. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37, 128-156.
- Cinelli, I., Anfuso, G., Bartoletti, E., Rossi, L., & Pranzini, E. (2021). The making of a gravel beach (Cavo, Elba island, Italy). *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/jmse9101148>
- Cruz-Matías, I., Ayala, D., Hiller, D., Gutsch, S., Zacharias, M., Estradé, S., & Peiró, F. (2019). Sphericity and roundness computation for particles using the extreme vertices model. *Journal of Computational Science*, 30, 28–40. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2018.11.005>
- Domokos, G., & Gibbons, G. W. (2012). The evolution of pebble size and shape in space and time. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 468(2146), 3059–3079. <https://doi.org/10.1098/rspa.2011.0562>
- Galvonaitė, A., Kilpys, J., Kitrienė, Z., Valiukas, D. (2013) Vidutinių klimatinių rodiklių reikšmės Lietuvoje 1981-2010 m. Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos Klimatologijos skyrius, p. 24.
- Gregory, H. E. (1915). Note on the Shape of Pebbles. *American Journal of Science*, 300–304. <https://doi.org/10.2475/ajs.s4-39.231.300>
- Gudelis, V. K. (1998). Lietuvos jūris ir pajūris. Lietuvos Mokslų Akademija. p. 442
- Hay, A. E., Zedel, L., & Stark, N. (2014). Sediment dynamics on a steep, megatidal, mixed sand-gravel-cobble beach. *Earth Surface Dynamics*, 2(2), 443–453. <https://doi.org/10.5194/esurf-2-443-2014>
- Jarmalavičius, D., Satkūnas, J., Žilinskas, G., Pupienis, D. (2012). Dynamics of beaches of the Lithuanian coast (the Baltic Sea) for the period 1993-2008 based on morphometric indicators. *Environmental Earth Sciences*, 65(6), 1727–1736.
- Jarmalavičius, D., Žilinskas, G., Pupienis, D. (2017). Geologic framework as a factor controlling coastal morphometry and dynamics. Curonian Spit, Lithuania. *International Journal of Sediment Research*, 32(4), 597–603
- Jolliffe, I. P. (1964). An experiment designed to compare the relative rates of movement of different sizes of beach pebble. *Proceedings of the Geologists' Association*, 75(1), 67–76. [https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(64\)80012-2](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(64)80012-2)
- Kirk, R. M. (2015). *Mixed sand and gravel beaches: morphology, processes and sediments*.

- Lees, D. C., Hein, C. J., & Fitzgerald, D. M. (2022). Measuring Organization of Large Surficial Clasts in Heterogeneous Gravel Beach Sediments. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/jmse10040525>
- Powers, M. C. (1953). A new roundness scale for sedimentary particles, 23(2), 117-119.
- Pupienis, D., Buynevich, I., Ryabchuk, D., Jarmalavičius, D., Žilinskas, G., Fedorovič, J., Kovaleva, O., Sergeev, A., Cichoń-Pupienis, A. (2017). Spatial patterns in heavy-mineral concentrations along the Curonian Spit coast, southeastern Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 195, 41–50.
- Seul, C., Bednarek, R., Kozłowski, T., & Maciąg, Ł. (2020). Beach gravels as a potential lithostatistical indicator of marine coastal dynamics: The pogorzelica–dziwnów (western Pomerania, Baltic Sea, Poland) case study. *Geosciences (Switzerland)*, 10(9), 1–21. <https://doi.org/10.3390/geosciences10090367>
- Szmańda, J. B., Witkowski, K. (2021). Morphometric parameters of krumbein grain shape charts a critical approach in light of the automatic grain shape image analysis. *Minerals*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/min11090937>
- Li, Bin, Fang, Kezhao, Sun, Jiawen, Liu, Zhongbo, and Zaijin You. "Profile Evolution Analysis of Gravel Beach." Paper presented at the The Fourteenth ISOPE Pacific/Asia Offshore Mechanics Symposium, Dalian, China, November 2020.
- Veenstra, H. J. (1969). Gravels of the southern North Sea. *Marine Geology*. 7 (5), 449-464.
- Williams, A. T., Caldwell, N. E. (1988). Particle size and shape in pebble-beach sedimentation. *Marine Geology*, 82 (3-4), 199-215.
- Zhamoida, V. A., Ryabchuk, D. v., Kropatchev, Y. P., Kurennoy, D., Boldyrev, V. L., Sivkov, V. V. (2009). Recent sedimentation processes in the coastal zone of the Curonian Spit(Kaliningrad region, Baltic Sea). *Zeitschrift Der Deutschen Gesellschaft Fur Geowissenschaften*, 160(2), 143–157.
- Grottoli, E., Archetti, R., & Cappiotti, L. (2019). Influence of particle shape on sediment transport: Application to beach nourishment. *Coastal Engineering*, 150, 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.03.004>
- Herrera, J., Suárez, A., Biedma, L., & Medina, R. (2024). Enhanced detection and classification of beach macro-litter using polarimetric imaging. *Journal of Coastal Research*, 40(2), 237–248. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-24-00071.1>
- Gao, W., Cao, H., Chen, J., Liu, Y., & Zhao, Y. (2024). Adaptive local feature encoding for underwater object classification. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1455604. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1455604>
- Rowe Davies, J., et al. (2023). Mapping intertidal habitats using multispectral and hyperspectral remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 290, 113386. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113386>
- Oerlemans, J., O'Connor, B., Reniers, A., et al. (2022). Using convolutional neural networks to classify beach states from video data. *Remote Sensing*, 14(19), 4686. <https://doi.org/10.3390/rs14194686>

Villacampa, Y., Meseguer, J. A., Soriano, J., & Jimenez, J. A. (2015). Morphodynamic classification of gravel beaches: Application to the Spanish Mediterranean coast. *WIT Transactions on the Built Environment*, 168, 131–142. <https://doi.org/10.2495/SD150121>

SANTRAUKA

VILNIAUS UNIVERSITETAS CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS

ARNAS ARLAUSKAS

Paplūdimio žvirgždo ir gargždo sąnašos - litostatistinis jūros kranto dinamikos vertinimo indikatorius

Temperatūros kilimas ir globalinis atšilimas sukelia tokias problemas kaip ledynų tirpimas, jūros lygio kilimas, ekstremalių oro reiškinių intensyvėjimas ir dažnėjimas. Žinant tikslias prognozes galima spręsti ir pasiruošti įvairias priemones, kurios skirtos padėti švelninti ar pristaikyti prie jo padaryto poveikio. Vienas iš galimų šių tyrimų objektų gali būti paplūdimio žvirgždo ir gargždo sąnašos, kurios leidžia nustatyti, kaip krantas buvo veikiamas įvairių klimato kaitos sukeltų veiksnių ir taip prognozuoti, kaip jis gali būti paveiktas ateityje, o tuo pačiu užkirsti kelią galimiems klimato kaitos padariniams. Šio darbo tiklas - remiantis paplūdimio žvirgždo ir gargždo sąnašų litostatistiniais rodikliais įvertinti jūros kranto dinamiką. Tyrimui buvo pasirinkta Kuršių nerijos jūros kranto paplūdimys tarp Rusijos-Lietuvos sienos ir Juodkrantės. Žvirgždo ir gargždo sąnašos buvo renkamos kas vieną kilometrą iš paplūdimio vidurio 5 kvadratinį metrų ploto. Iš viso 2023 m. buvo paimta 20 ėminių, o 2024 m. - 23 ėminiai. Kiekviename ėminyje buvo 100, atsitiktinai atrinktų žvirgždo ir gargždo, vienetų. Remiantis gautais tyrimo rezultatais galima teigti, kad pagal uolienu dydį galima spręsti, kad jų susidarymo vieta buvo kita, tačiau iki ėminių vietos jos buvo atneštos ledynų, stiprių audrų arba bangų. Aukštas jų sferiškumo laipsnis parodė, kad ėminiai ilgą laiką buvo vandenyje ir buvo veikiami vandens erozijos. Tiriant apzulinimą matyti, kad tarp darbe tirtų sąnašų 2023 m.- 2024 m. vyrauja gerai apzultintos ir apzultintos uolienos, iš ko galima teigti, kad tyrimo teritoriją buvo veikama intensyvaus banguotumo. Tyrimo metu buvo rastos 38 skirtingos uolienu rūšys 2023 m. ir 34 skirtingos uolienu rūšys 2024 m., bet dominuojančios uolienos abejai metais buvo granitas, smiltainis, bazaltas, kvarcas, kvarcitas, gneisas, riolitas ir lepidolitas. Gauti rezultatai parodė, kad didžiausia dalis Kuršių Nerijos srityje randamų uolienu yra granito, smiltainio ir bazalto rūšių. Uolienu kilmė nusakė, kad nemaža dalis tirtose srityje atrandamų uolienu čia nesiformavo, o buvo atneštos ledyno, audrų, vėjo, bangų ar srovių. Dinaminiai procesai rodo, kad priekrantėje dominuoja išilginė pernaša. Palyginus kranto dinaminis pokyčius su sferiškumu nustatyta, jog apvalesni grūdeliai dažniau siejami su teigiamais kranto pokyčiais Hidrodinaminiai veiksniai suteikia informacijos apie Baltijos jūros bangavimo sezoniskumą bei nusako bangų priėjimo prie kranto kryptį, kas lemia išilginę nešmenų pernašą tirtame krante.

SUMMARY

VILNIUS UNIVERSITY

FACULTY OF CHEMISTRY AND GEOSCIENCES

ARNAS ARLAUSKAS

Beach pebble and gravel sediments - a lithostatistical indicator for assessing coastal dynamics

Temperature rise and global warming cause such problems as melting glaciers, rising sea levels, and the intensification and frequency of extreme weather events. Knowing accurate forecasts, it is possible to address and prepare various measures designed to help mitigate or adapt to its impact. One of the possible objects of these studies may be beach pebble and cobble deposits, which allow us to determine how the coast has been affected by various factors caused by climate change and thus predict how it may be affected in the future, and at the same time prevent possible climate change consequences. The goal of this work is to assess the dynamics of the seashore based on lithostatistical indicators of beach pebble and cobble deposits. The Curonian Spit seashore beach between the Russian-Lithuanian border and Juodkrantė was selected for the study. Pebble and cobble deposits were collected every one kilometer from an area of 5 square meters in the middle of the beach. In total, in 2023 20 samples were taken, and in 2024 - 23 samples. Each sample contained 100 randomly selected pebbles and cobbles. Based on the results of the study, it can be stated that the size of the rocks indicates that their place of formation was different, but they were brought to the sampling site by glaciers, strong storms or waves. Their high degree of sphericity showed that the samples had been in the water for a long time and were exposed to water erosion. When examining the greening, it can be seen that among the sediments studied in the work in 2023-2024, well-greened and greened rocks prevail, which suggests that the study area was exposed to intense waves. During the study, 38 different rock types were found in 2023. and 34 different rock types in 2024, but the dominant rocks in both years were granite, sandstone, basalt, quartz, quartzite, gneiss, rhyolite and lepidolite. The results obtained showed that the largest part of the rocks found in the Curonian Spit area are granite, sandstone and basalt types. The origin of the rocks determined that a significant part of the rocks found in the studied area were not formed here, but were brought by glaciers, storms, wind, waves or currents. Dynamic processes show that longitudinal transport dominates on the coast. Comparing the dynamic changes of the coast with sphericity, it was found that rounder grains are more often associated with positive changes of the coast. Hydrodynamic factors provide information about the seasonality of the waves of the Baltic Sea and determine the direction of wave approach to the coast, which determines the longitudinal transport of sediments on the studied coast.