

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS
JŪROS TYRIMŲ INSTITUTAS

**DUGNO BENDRIJŲ STRUKTŪRA
BESITRAUKIANČIO LEDYNO PAKRAŠTYJE
VAKARŲ SVALBARDE, ARKTYJE**

Ekologijos ir aplinkotyros studijų programos magistro baigiamasis
darbas

Autorius

JMNE19 Saulė Medelytė

Vadovas

prof. dr. Andrius Šiaulys

Reg. nr.

Klaipėda, 2021

SANTRAUKA

Saulė Medelytė

DUGNO BENDRIJŲ STRUKTŪRA BESITRAUKIANČIO LEDYNO PAKRAŠTYJE VAKARŲ SVALBARDE, ARKTYJE

Ekologijos ir aplinkotyros studijų programos magistro baigiamasis darbas

Darbo vadovas: prof. dr. Andrius Šiaulys

Klaipėdos universitetas

Jūrinių tyrimų institutas

Klaipėda, 2021

Darbo apimtis: 62 p., 5 lent., 16 pav.

Pagrindiniai žodžiai: vaizdo medžiagos analizė, vaizdo mozaikos, dugno bendrijos, Arkties fjordai

Šio darbo tikslas buvo nustatyti tirpstančio ledyno poveikyje esančių sublitoralės makrozoobentos bendrijų struktūros dėsningumus vakarų Svalbardo įlankose. Darbo metu, iš vakarų Svalbardo įlankose surinktos 3h trukmės vaizdo medžiagos buvo sukurtos 148 vaizdo įrašų mozaikos iš kurių, pasitelkus Arkties floros ir faunos taksonomijos ekspertų pagalbą, buvo identifikuoti 33 biologiniai ir biofiziniai požymiai. Pagal identifikuotus biologinius ir biofizinius požymius, kurie darbe taip pat įvardijami kaip morforūšys, buvo lyginamos Isjordeno ir Hornsundo fjordų įlankos esančios ledyno tirpsmo zonoje (Borebukta, Burgerbukta) su įlankomis esančiomis laisvoje nuo ledynų zonoje (Gipsvika, Adriabukta). Gauti rezultatai parodė, jog Adriabuktos, Burgerbuktos, ir Gipsvikos įlankose dominuoja iš dalies judrūs filtratoriai, o Borebuktoje dominuoja judrūs organizmai bei maitėdos. Didžiausius skirtumus tarp įlankų nulemia 8 tyrimų rajone dominuojančios morforūšys: Ceriantharia, dvigeldžiai, Sabellidae, ofiūros, bioturbuojančios kirmelės, krevetės, samangyviai *Alcyonidium* sp. ir Bryozoa undet individai. Burgerbuktos (54 ± 84 ind. trans⁻¹), Adriabuktos (49 ± 68 ind. trans⁻¹) ir Gipsvikos (25 ± 34 ind. trans⁻¹) įlankose dominuoja daugiašerės Sabellidae, įlankose sudarydamos > 50 % bendro santykinio individų gausumo įlankoje, o Borebuktoje – ofiūros (76 ± 169 ind. trans⁻¹), sudarydamos 78,4 % bendro santykinio individų gausumo įlankoje. Nustatyta, jog įlankos pagal bendrijas skiriasi tarpusavyje (Global ANOSIM R: 0,758; p = 0,001), o tirpstančio ledyno zona lemia didesnius skirtumus (Global ANOSIM R: 0,501; p = 0,001), nei Isjordeno ir Hornsundo fjordų geografinė padėtis (Global ANOSIM R: 0,398; p = 0,001). Pagal morforūšių dominavimą įlankų transektose buvo išskirtos 4 bendrijos: Sabellidae, bioturbuojančios kirmelės, samangyvių ir dvigeldžių bendrija, bei ofiūrų bendrija.

SUMMARY

Saulė Medelytė

THE STRUCTURE OF BENTHIC COMMUNITIES ON THE EDGE OF THE RETREATING GLACIERS IN WESTERN SVALBARD, ARCTIC

Master's thesis of Ecology and Environmental Science studies

Supervisor: prof. dr. Andrius Šiaulys

Klaipeda University

Marine Research Institute

Klaipeda, 2021

Work size: 62 papers, 5 table, 16 pictures.

Key words: Benthic communities, Underwater video, Video mosaics, Arctic fjords

For the last decades' temperatures in the Arctic, fjords increased dramatically. Due to the warming climate, glaciers in Svalbard are not forming fast enough during winter, which leads to a winter ice area loss trend close to 10 percent per decade since 1979 (Onarheim et al., 2014). Increased melting and retreat of glaciers on Svalbard leads to the release of coastal marine habitats in the upper sublittoral for colonization by benthic macroorganisms where ice scouring was a limiting factor (Węśławski et al. 2011). Benthic communities near retreating glaciers are also being affected by sediment stability, larger inorganic particle concentration, sedimentation rate, and amount of organic matter in sediments (Włodarska-Kowalczyk, Pearson, 2004). The study of the benthic structure under these pressures is important for understanding the processes occurring in the Arctic. The majority of benthic studies in the Arctic, including Svalbard, were done in deeper depths (100-1000m), with the main focus on easily accessible large fjords and bays using large ships and traditional sampling techniques. However, complex bottom topography and the presence of floating ice significantly complicates the use of traditional sampling methods, forcing us to look for alternative approaches. One such technique is underwater visual technology, which has grown in popularity in recent decades based on its effectiveness in hard-to-reach places. In this work, it will be demonstrated that the use of an underwater video mosaic based on video filming along transects in the upper sublittoral can be a reliable method for identifying communities of visible macro-fauna. This work aimed to assess the structure of benthic communities on the West coast of Svalbard in melting ice and ice-free zones and to determine the regularities of the structure of these communities or functional groups in terms of the melting glacier and geographical location.

Underwater video filming was carried out in July-August 2018-2019 in the upper sublittoral (2 – 65 m) of Hornsund and Isfjord areas (western Svalbard), representing two ice-free (Gipsvika, Adriabukta) and two glaciated sites (Borebukta, Burgerbukta). Almost 3 hours of video materials were obtained using an ROV and "drop-down" video cameras. Video footage was transformed into 148 video mosaics, from which 33 biological features (morphospecies) were identified to the lowest possible taxonomic level, which were further ascribed to benthic functional groups (feeding type and mobility mode), and those were used for further analysis of benthic communities.

The study showed that benthic communities in Borebukta which is located near retreating glaciers are largely dominated by mobile fauna (79,8 %) and scavengers (78,5 %), while communities in ice-free sites - Gipsvika (98,8 %), Adriabukta (64,2 %), and in one of the retreating glacier sites - Burgerbukta (90,4 %) are dominated by discretely mobile individuals. Suspension feeders were dominating in Gipsvika (63,5 %), Adriabukta (98,1 %) and Burgerbukta (91,0 %). In the West Svalbard study area 8 morphospecies was dominating: tube-dwelling anemone *Ceriantharia*, bivalves, feather duster worms Sabellidae, brittle stars, bioturbating polychaetes, shrimps, bryozoa *Alcyonidium* sp. and unidentified Bryozoa undet. individuals. In Burgerbukta (54 ± 84 ind. trans⁻¹), Adriabukta (49 ± 68 ind. trans⁻¹), and Gipsvika (25 ± 34 ind. trans⁻¹) bays feather duster worms Sabellidae were the most dominant one, forming up to 50 % of total relative individual abundance, in Borebukta bay Ophiurida (76 ± 169 ind. trans⁻¹) comprised 78,4 % of total relative individual abundance. Morphospecies richness, Shannon-Wiener diversity, and Pielou evenness indices did not show any significant differences between ice-free and glaciated sites. Nevertheless, the Hulbert index showed significant differences between Adriabukta ($5,33 \pm 1,52$) and Gipsvika ($1,6 \pm 0,89$) sites. MDS and ANOSIM analysis showed that benthic communities were statistically different in all bays (Global ANOSIM R: 0,758; p = 0,001) also that bays geographical allocation determined larger similarities between bays (Global ANOSIM R: 0,398; p = 0,001) than presence of melting ice (Global ANOSIM R: 0,501; p = 0,001). Finally, 4 benthic communities were distinguished. Sabellidea community which was most dominant in retreating glacier site Burgerbukta, and in Gipsvika which is affected by riverine discharge; bioturbating polychaetes (a most likely feature of sandworm *Arenicola marina*) which was most dominant in shallow riverine bay transects of Gipsvika; brittle stars community dominated in Borebukta and Bryozoans together with bivalves that were dominant in ice-free site Adriabukta. After these results, it is evident that melting ice is impacting the distribution of the sublittoral macrozoobenthic community structure in the study area.

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Bendrieji įlankų bruožai, 19 psl.

2 lentelė. Pagal judėjimo ir mitybos tipą suklasifikuotos darbo metu rastos morforūšys pagal Macdonald et al., 2010 ir Degen, Faulwetter, 2019, 28 – 29 psl.

3 lentelė. Tirtų įlankų panašumo pagal dugno organizmų pasiskirstymą įlankų transektose neparametrinio testo ANOSIM rezultatai (R – ANOSIM statistinė reikšmė, p – tikimybė), 39 psl.

4 lentelė. SIMPER analizės rezultatai pagal morforūšių buvimą – nebuvimą keturiuose Vakarų Svalbardo įlankose, 30 – 41 psl.

5 lentelė. Morforūšys indikatorės, kurios turėjo statistiškai reikšmingą asociaciją su viena ar keletu transektų. A – tikimybė, jog visos įlankos mozaikos, turinčios šią morforūšį, atsidurs nurodytoje transektoje ar transektų grupėje. B – tikimybė, jog visos transektos ar jų grupės turės šį požymį. IndVal – morforūšies asociacijos indeksas. A ir B dedamosios bei IndVal indeksas gali kisti nuo 0 iki 1., 42 psl.

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

- 1 pav. Vidutinė mėnesinė Arkties jūros ledyno plitimo riba 1979–2020 m. sausio mėn., kas dešimtmetį rodanti 3,15 % sumažėjimą (modifikuojant pagal NSIDC, 2020), 6 psl.
- 2 pav. Vidutinė mėnesinė Antarkties vandenyno ledyno plitimo riba 1978 – 2016 m., su maža didėjimo tendencija (modifikuojant pagal NSIDC, 2017), 7 psl.
- 3 pav. Vakarų Svalbardo fjordų: Kongsfjordeno, Isfjordeno ir Hornsundo geografinė padėtis, 13 psl.
- 4 pav. Svalbardo tyrimo stočių žemėlapis, 2018 – 2019 m. pažymėtos povandeninės vaizdo medžiagos rinkimo vietos (1 – Borebukta, 2 – Gipsvika, 3 – Burgerbukta, 4 – Adriabukta), 18 psl.
- 5 pav. Besitraukiančio ledyno ir kontrolinės zonos mėginių ėmimo pastangos ir sudarytų video mozaikų skaičius kiekvienai transektai įvardintas skliaustuose, 20 psl.
- 6 pav. Video mozaikų sudarymo etapai, 21 psl.
- 7 pav. Požymių anotavimas naudojantis Labellbox platforma, 23 psl.
- 8 pav. Morforūšių identifikacija iki tam tikro taksonominio rango, 27 psl.
- 9 pav. Vidutinio individų skaičiaus transektose suma suskirstyta įlankomis ir suklasifikuota į dvi funkcinės grupės kategorijas: mitybos būdas, judėjimo tipas. Adriabukta (HA), Burgerbukta (HB), Borebukta (IB), Gipsvika (IG), 31 psl.
- 10 pav. Vidutiniai įvairovės indeksai įlankose su 95 % patikimumo intervalais. Adriabukta (HA), Burgerbukta (HB), Borebukta (IB), Gipsvika (IG), 33 psl.
- 11 pav. Taksonominis morforūšių giminingumas tyrimo vietose. Taksonominio išskirtinumo variacija (VarTD) įlankose ir vidutinis taksonominis išskirtinumas (AvTD) su 95 % patikimumo intervalais. Adriabukta (HA), Burgerbukta (HB), Borebukta (IB), Gipsvika (IG), 34 psl.
- 12 pav. Vidutinis morforūšių individų skaičiaus įlankų transektose, %, 35 psl.
- 13 pav. Tyrimo vietoje dominuojančių morforūšių vidutinis pasiskirstymas įlankose, 37 psl.
- 14 pav. Daugiamatės skalės (MDS) diagrama išskirianti įlankų transektas pagal panašumą. Tikslo paklaida = 0,18, 39 psl.
- 15 pav. Infografikas vaizduojantis santykinį dažniausių morforūšių pasiskirstymą transektose, kairėje nurodomi transektų gyliai. S – morforūšių skaičius transekte, N – vidutinis suminis individų gausumas, 44 psl.
- 16 pav. Hierarchinės klasterinės analizės dendograma pagal morforūšių gausumą. Horizontali punktyrinė linija rodo 6 grupių išsiskyrimą pagal 35 % panašumo lygmenį. Išskirtos grupės pažymėtos mėlyna spalva, 45 psl.

TURINYS

IVADAS	3
I. LITERATŪROS APŽVALGA	5
1.1 Ledyno tirpsmo įtaka poliariniams dugno organizmams ir hidrologiniams procesams	5
1.1.1 Pokyčiai kriosferoje	5
1.1.2 Hidrologiniai procesai besitraukiančio ledyno pakraštyje	8
1.1.3 Ledyno tirpsmo poveikis dugno bestuburiams	10
2.1 Bentosinės bendrijos Vakarų Svalbarde, Špicbergene	12
2.2 Vaizdo fiksavimas po vandeniu	15
2.2.1 Vaizdiniai metodai povandeniniuose tyrimuose	15
2.2.2 Pagrindiniai iššūkiai filmuojant jūros dugną	17
II. TYRIMO METODAI IR MEDŽIAGA	18
2.1 Vaizdo medžiagos rinkimas ir tyrimo vieta	18
2.2 Vaizdo medžiagos apdorojimas	20
2.3 Požymių identifikavimo katalogas, anotavimas, funkcinių grupių ir bendrijų išskyrimas	22
2.4 Statistinė duomenų analizė	24
III. REZULTATAI	27
3.1 Biologinių požymių grupavimas pagal jiems būdingas savybes	27
3.1.1 Biologinė klasifikacija	27
3.1.2 Funkcinės grupės	28
3.2 Makrozoobentos bendrijų struktūra besitraukiančio ledyno pakraštyje ir laisvojoje nuo ledynų zonose	30
3.2.1 Funkcinių grupių pasiskirstymas	30
3.2.2 Makrozoobentos požymių įvairovė	32
3.2.3 Makrozoobentos struktūra Vakarų Svalbardo įlankose	35
3.2.4 Makrozoobentos panašumas įlankose ir transektose	38
3.2.5 Bendrijų įlankose išskyrimas	45
IV. TYRIMO REZULTATŲ APTARIMAS	48
IŠVADOS	53
LITERATŪROS SĄRAŠAS	54
PRIEDAI	62

IVADAS

Paskutinius dešimtmečius vidutinė Žemės temperatūra kilo dramatiškai. Nesustabdomai tirpstantys Arkties ledynai keičia priekrantės reljefą ir vandenynus, darydami ryškų poveikį jūros ir sausumos organizmams. Dėl šiltėjančio klimato ledynai nespėja akumuliuotis, todėl jų koncentracijos Arktyje žiemos metu tendencingai mažėja nuo 1979 m. Apskaičiuota, jog dėl aukštesnės nei įprasta temperatūros žiemos sezono metu Arktyje, žiemos ledo plotas kas dešimtmetį sumažėja apie 10 % (Onarheim et al., 2014). Intensyvaus ledo tirpsmo metu į jūros vandenį išplaunami dideli organinės medžiagos ir gėlo vandens kiekiai (Włodarska-Kowalczuk, Pearson, 2004), o besitraukiant ledynui viršutinėje sublitoralėje, kurioje anksčiau ledo gremžimo poveikis buvo jas limituojantis veiksnys (Węśławski et al., 2010), atsiranda vis naujų, iki tol neprieinamų bentosinių buveinių. Tikėtina, kad dėl šių sąlygų pokyčių jūros dugno bendrijos pereina iš didesnės įvairovės ir sėslių dugno organizmų iki mažesnės įvairovės, judrių, nuosėdomis besimaitinančių organizmų bendrijas (Włodarska-Kowalczuk, et al., 2005).

Dauguma tyrimų Arktyje, įskaitant ir Svalbardą, atliekami didesniuose gyliuose (100–1000 m) naudojant tradicinius bentoso mėginių ėmimo metodus („Van Veen“ tipo gruntotraukis, dragos). Statūs šlaitai ir plūduriuojantis ledas mažose Svalbardo įlankose riboja tradicinius mėginių ėmimo metodus dideliais laivais. Mėginių ėmimas nardant ne tik reikalauja profesionalių narų įgūdžių, bet ir yra ne visada prieinamas dėl atšiaurių klimato sąlygų bei labiau tinkamas naudoti seklesnėse vietose (0–40 m) (Jørgensen, Gulliksen, 2001; Włodarska-Kowalczuk et al., 2009; Al-Hababbeh et al., 2020), tad viršutinėje sublitoralėje reikalingi inovatyvūs mėginių ėmimo metodai. Vienas iš tokių – pastaraisiais dešimtmečiais populiarėjančios povandeninės vaizdinės technologijos, jau ne kartą įrodžiusios savo galimybes sunkiai prieinamose vietose (Laudien, Orchard, 2012; Kędra et al., 2013; Sswat et al., 2015). Nuotoliniu būdu valdomos vaizdo kameros leidžia užfiksuoti organizmus, gyvenančius ant jūros dugno, *in situ*, o iš vaizdo įrašų sudarytos ir transektos atkarpą fiksuojančios mozaikos suteikia galimybę įvertinti didesnę mėginio ėmimo plotą nei įprasti metodai. Visgi iš vaizdo įrašų sudarytos mozaikos kol kas dar nebuvo pritaikytos Svalbarde, o pagrindinis dėmesys įprastiniams makrozoobentoso tyrimams Špicbergene yra skiriamas makrofaunai, esančiai Kongsfjordenio fjorde (Jørgensen and Gulliksen, 2001, Kendall et al., 2003, Kaczmarek, Włodarska-Kowalczuk, 2005, Włodarska-Kowalczuk et al., 2005). Panašūs tyrimai Špicbergeno šiaurėje ir kitose įlankose dažnai yra gana menki arba jų visai nėra. Publikuotų tyrimų apie dugno organizmų pasiskirstymą viršutinėje Hornsundo įlankos sublitoralėje ir Isfjordene rasta mažai (Hald, et al., 1997; Włodarska-Kowalczuk et

al., 2009), o besitraukiančio ledyno poveikis dugno organizmams ir yra didžiausias viršutinėje sublitoralėje, todėl tokių tyrimų poreikis svarbus tiriant galimą tirpstančio ledyno įtaką Vakarų Svalbardo dugno bendrijoms, bei šio poveikio sukeltus bendrijų formavimosi dėsningumus.

Šiame darbe pagal iš vaizdinės medžiagos identifikuotus biologinius požymius apibūdinama bentoso struktūra ir lyginamos įlankos, esančios laisvojoje nuo ledynų zonoje, su įlankomis, esančiomis tirpstančio ledyno zonoje pagal bendrijų ar funkcinių grupių struktūros dėsningumus.

Darbo tikslas:

Nustatyti tirpstančio ledyno poveikyje esančių sublitoralės makrozoobentosos bendrijų struktūros dėsningumus vakarų Svalbardo įlankose;

Hipotezė: tirpstančio ledyno poveikis yra esminis bentoso bendrijų pasiskirstymą lemiantis veiksnys skirtingose geografinėse zonose;

Darbo uždaviniai:

1. Naudojant vaizdinės analizės metodus identifikuoti dugno biologinius ir biofizinius požymius ir juos suklasifikuoti pagal taksonomiją ir funkcines grupes;
2. Ledynų ir tirpstančio ledyno poveikio zonose esančiose įlankose išskirti dominuojančius biologinius požymius, funkcines grupes ir makrozoobentosos bendrijas;
3. Palyginti ledyno ir tirpstančio ledyno poveikio zonose esančių įlankų bendrijas pagal apskaičiuotus pagrindinius įvairovės ir taksonominės įvairovės indeksus, dominuojančias makrozoobentosos bendrijas, funkcines grupes, ir biologinius požymius.

Dėkoju savo darbo vadovui prof. dr. Andriui Šiauliui už pastabas ir idėjas bei ilgametį darbą kartu, vadovui lydėjusiam mane mokslininko keliu nuo pat šios kelionės pradžios – pirmo bakalauro kurso. Dėkoju prof. habil. dr. Sergej Olenin už patarimus rašant šį darbą, taksonomijos specialistų paiešką ir ADMANT projekto vadovui, kurio projekto rėmuose buvo surinkta vaizdo medžiaga, be kurios šis darbas nebūtų įmanomas. Taip pat mokslininkams surinkusiems šią vaizdo medžiagą – A. Šiauliui, D. Dauniui ir A. Šaškovui. Labai dėkoju taksonomijos specialistams, prisidėjusiems prie Svalbardo bentoso organizmų identifikacijos: Rusijos Ekologijos ir Evoliucijos Instituto dr. Yuri Kantor, Kazanės universiteto dr. Alexey V. Golikov, taip pat prof. Vasily A. Spiridonov, dr. Aleksandr I. Kokorin, dr. Vitaly L. Syomin, J. Wiktor, Lenkijos okeanologijos instituto dr. Piotr Balazy ir doktorantui Kajatan Deja.

I. LITERATŪROS APŽVALGA

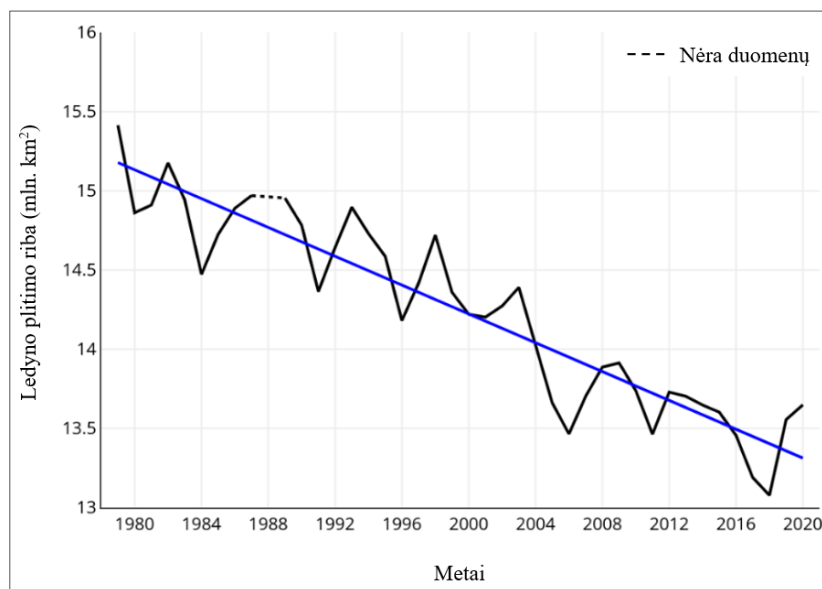
1.1 Ledyno tirpsmo įtaka poliariniams dugno organizmams ir hidrologiniams procesams

1.1.1 Pokyčiai kriosferoje

Kriosferos terminu apibūdinamas žemės paviršius, kurį yra padengęs kietos būsenos vanduo, tai yra, ledas, sniegas, įšalas ar ledynai. Šiauriausioje ir piečiausioje pasaulio dalyse yra išsidėsčiusios dvi sritys, vadinamos ašigaliais, kurių vienas pagrindinių nuo kitų pasaulio vietų skiriamųjų bruožų – žemės ar jūros paviršiaus plotą dengiantys ledynai. Šiaurės ašigalis, arba Arktis, tai Arkties vandenynas su jame esančiomis salomis ir aplink plūduriuojančiais, per ilgus metus susidariusiais ledlaukiais. Kita vertus, pietų ašigalis, arba Antarktida, tai žemyninė dalis, padengta storu ledo sluoksniu. Arkties ir Antarktidos klimato sąlygos dėl šių ašigalių geografinės padėties ir geologinės raidos labai skiriasi, tačiau šios sritys turi vieną labai ryškų klimato kaitos požymį, tai yra, tirpstančius ledynus.

Naudodamiesi šiuolaikinėmis technologijomis mokslininkai gali pasakyti, kad klimatas per visą Žemės istoriją šiltėja ir šaltėja keliasdešimties tūkstančių metų trukmės ciklais. Vienas tokių pavyzdžių – deguonies izotopų analizė jūrinės rūšies *Globigerinoides sacculifera* pirmuonio kriauklėse. Šio tyrimo metu buvo nustatyti 8 pilni ledyniniai/tarpledyniniai temperatūrų ciklai per paskutinius 425 tūkst. m. (Emilliani, 1966) su 10–20 tūkst. m. intervalais, kai temperatūra pakildavo arti to, ką turime šiandien (Begon et al, 2006). Ledynai dengia apie 10 % Žemės teritorijos, tačiau pastaraisiais dešimtmečiais pastebimos jų mažėjimo tendencijos šiaurės ir pietų ašigaliuose (IPCC, 2019). Remiantis pasyvia nuotolinio stebėjimo metodika, naudojama nuo 1981 m., pastebėta, jog Arktyje ledas pasiekia minimumą kiekvienų metų rugsėjo mėnesį, o maksimumą – kovo mėnesį (NSIDC, 2019b). Tam tikri Arkties regionai, anksčiau turėję ledo sluoksnį visus metus, vis dažniau tampa sezoniškai laisvi nuo ledo. Didžiausi pokyčiai stebimi Beauforto, Čiukčių, Rytų Siberijos, Laptevų, Kara jūrose vasarą, o Barentso, Okhotsko, Grenlandijos jūrose ir Baffino įlankoje žiemos laikotarpiu (Onarheim et al., 2018). Paskutiniuosius 40 m. ledo dengiamas plotas mažėja. Nuo 1970-ųjų, kai buvo pradėti rinkti palydoviniai duomenys, pastebėta, jog daugiau ledo ištirpsta vasaros metu ir mažiau ledo formuojasi žiemos laikotarpiu. 2019 m. rugpjūtį ledo sluoksnis pasiekė rekordinį metinį vasaros minimumą (Lindsey, Scott, 2019). Remiantis JAV Nacionaliniu sniego ir ledo duomenų centru (National Snow and Ice Data Center), 2019 m. lapkričio mėn. užfiksuotas ledo plotas (9,33 mln. km²) Arkties jūroje buvo antras mažiausias per 41-erius palydovinių duomenų rinkimo metus. Tai yra 5,02 % mažiau ledo per metus nuo 1981–2010 m. laikotarpio vidurkio. O 2018–aisiais Arkties jūrą dengiantis maksimalus

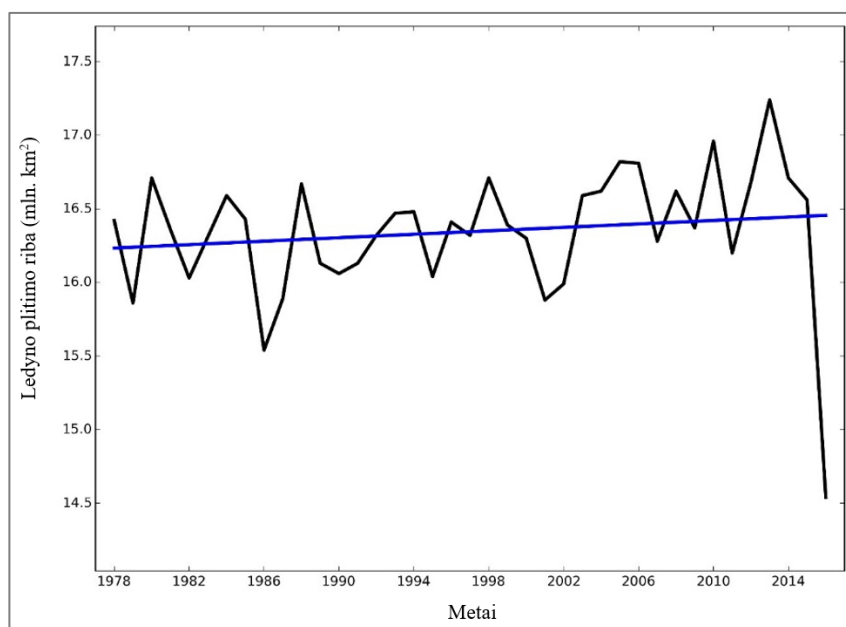
ledo plotas buvo užregistruotas kaip antras mažiausias nuo palydovinių duomenų rinkimo pradžios. Klimatologai tikri, jog ledo plotas tendencingai mažėja nuo 1950-ųjų, tačiau pokyčiai tapo ypač ekstremalūs paskutiniuoju dešimtmečiu (NSIDC, 2019 b) (1 pav.).



1 pav. Vidutinė mėnesinė Arkties jūros ledyno plitimo riba 1979–2020 m. sausio mėn., kas dešimtmetį rodanti 3,15 % sumažėjimą (modifikuojant pagal NSIDC, 2020)

Arkties vandenyne, Svalbardo salyne, taip pat pastebimas ledo ploto sumažėjimas. Šiaurinėje Svalbardo dalyje ledo plotas mažėja kiekvieną mėnesį, o žiemą traukiasi sparčiausiai. Nuo 1979-ųjų žiemos metu ledo plotas Svalbardo šiaurėje sumažėjo apie 10 % per dešimtmetį (Onarheim et al., 2014). Vidutinei oro temperatūrai žiemos metu išliekant ~ -10 °C, klimato šiltėjimas didesnę įtaką turi ne ledo tirpsmui, bet vietinio ledo augimui žiemos metu (Onarheim et al., 2014). Vakarų Svalbarde, Isfjordeno ir Hornsundo įlankose ledo sezonas prasideda rudens pabaigoje–žiemos pradžioje ir tęsiasi iki birželio. Isfjordeno įlankoje didžiausias laikinojo ledo plotas susidaro kovo mėnesį. 2000–2005 m. vidutinis laikinojo ledo sluoksnis kovo mėnesį siekė 57,5 %, tačiau 2006–2014 m. sumažėjo iki 23,2 % maksimumo balandžio mėnesį (Muckenhuber et al., 2016). Didžiausias laikinojo ledo sluoksnis Hornsundo įlankoje susidaro balandžio mėnesį. 2000–2005 m. jis siekė 52,6 %, o 2006–2014 m. sumažėjo iki 35,2 % (Muckenhuber et al., 2016). Tęsiantis panašioms klimato sąlygoms prognozuojama, kad Arkties šelfo jūros bus sezoniskai laisvos nuo ledo šio amžiaus antrajame dešimtmetyje, taip pat manoma, jog nuo 2050-ųjų piečiau esančios jūros nuo ledo bus laisvos visus metus (Notz, Stroeve, 2016).

Pietų ašigalyje ledynai tirpsta lėčiau nei Arktyje, tačiau dėl įvairių ledo padengimo skaičiavimo metodikų mokslininkai pateikia įvairius duomenis, rodančius nežymius ledo ploto Antarktyje pokyčius: vidutinį 183 ± 94 Gt ledo per metus sumažėjimą 2008–2015 m. laikotarpiu (Gardner et al., 2018) ar vidutinį metinį 1,7 % ledynų ploto padidėjimą per dešimtmetį nuo 1979 m. (Comiso et al., 2017). Shepherd et al. 2018 m. sulygino 24 ledo padengimo tyrimus Antarktidoje ir pateikė išvadą, jog Antarktida prarado 2725 ± 1400 Gt ledo 1992–2017 m. laikotarpiu. Įdomu tai, jog 2014 m. rugsėji buvo užfiksuota didžiausia ledyno plitimo riba 1978–2015 m. laikotarpiu (Comiso et al., 2017), tačiau jau 2017 m. lapkričio mėn. Antarktidoje buvo užfiksuotas antras mažiausias ledo plotas iš kosmoso po 2016 m. per visą palydovinių nuotraukų istoriją. 1981–2010 m. laikotarpiu vidutinis ledo plotas lapkričio mėnesį – 15,9 mln. km², o 2017 m., jis buvo 1,01 mln. km² mažesnis (NSIDC, 2019). Sparčiausiai šiame ašigalyje tirpsta Vakarų Antarktida ir Antarktidos pusiasalis, prarandantis 214 ± 51 Gt ledo per metus, o Rytų Antarktida išlieka nežymiai pakitusi su nedideliu ledyno sluoksnio padidėjimu – 61 ± 73 Gt ledo per metus (Gardner et al., 2018). Labiausiai ledyno plotas auga Roso jūroje $4,5\% \pm 0,5$ % per dešimtmetį nuo 1979-ųjų, toliau vakarų Ramiajame vandenyne, Indijos vandenyne ir Vedelio jūroje (Comiso et al., 2017). Vieninteliame Belingshauzeno – Amundseno jūrų sektoriuje, esančiame Antarktidos vakaruose, Comiso et al., 2017 pastebėjo ledyno ploto mažėjimo tendenciją, $2,5\% \pm 0,7$ % per dešimtmetį. Dėl ledo ploto mažėjimo vakaruose ir jo didėjimo rytuose aiškos ledo ploto mažėjimo tendencijos šiame ašigalyje nematyti, netgi priešingai, Antarktidos vidutinis ledo plotas pamažu didėja (2 pav.).



2 pav. Vidutinė mėnesinė Antarkties vandenyno ledyno plitimo riba 1978–2016 m. su maža didėjimo tendencija (modifikuojant pagal NSIDC, 2017)

Nepaisant to, jog Antarktidoje vidutinis ledo plotas pamažu didėja, Arktyje ir kitose pasaulio vietose mažėjantis kriosferos sluoksnis stipriai pralenkia augimą (NASA, 2015). Besikeičiant pasaulio klimatui ašigaliuose esantis ledo sluoksnis mažėja, gausėja gėlo vandens, kyla temperatūra, keičiasi srovės (IPCC, 2019).

1.1.2 Hidrologiniai procesai besitraukiančio ledyno pakraštyje

Pastebėta, jog ledyno plitimo ribos pokyčiai ledo augimo ir traukimosi periodu labai stipriai koreliuoja su vandens paviršiaus temperatūra (Comiso et al., 2017). Antarktidoje, regionuose, kuriuose ledo plotas auga, pastebėta krentanti temperatūra, o vietose, kuriose ledas tirpsta (Belinshauzeno – Amundseno jūrose), pastebėtos kylančios temperatūros tendencijos. Nuo XX a. pradžios vidutinė oro metinė temperatūra žemės paviršiuje, šiaurėje, 2016 m. spalio–2017 m. rugsėjo mėn. buvo užfiksuota kaip antra aukščiausia (po 2015–2016 m.) (Overland et al., 2017). Tikėtina (66–100 % tikimybė pagal IPCC, 2019), jog Arkties oro temperatūra per paskutinius du dešimtmečius pakilo du kartus, lyginant su pasauline temperatūra. Svalbardo šiaurėje vidutinė žiemos temperatūra pakyla 2 °C per dešimtmetį, o tai 20–45 % daugiau nei pakyla vakarų Svalbardo priekrantėje (Onarheim et al., 2014). 1979–2012 m. laikotarpiu Atlanto vandens temperatūra pakilo ~1 °C, o vidutinė žiemos oro temperatūra šiaurės Svalbarde pakilo 7 °C (Onarheim et al., 2014). Gana nuoseklūs oro temperatūros matavimai vakarų Spitsbergene buvo pradėti fiksuoti nuo 1898-ųjų, duomenys gauti iš oro uosto meteorologinės stoties, esančios Isjfordeno įlankoje. Per paskutinius 30–40 metų ši teritorija rodo didžiausią temperatūros kylimo tendenciją Europoje – ~2,6 °C per 100 metų (Nordli et al., 2014). Per paskutinius 30 metų Hornsundo vandens temperatūra 100 m gylyje, netoli dugno, pakilo visoje įlankoje. Vidinėje įlankos dalyje maksimali vasaros temperatūra 100 m gylyje pakilo keletą kartų daugiau nei įlankos centrinėje dalyje (Drewnik et al., 2016). 1975–1985 m. vidinėje įlankos dalyje vasaros maksimumas 100 m gylyje buvo -1,9 °C, centrinėje 0,5 °C, o 2010–2012 m. laikotarpiu vidinėje įlankos dalyje vasaros maksimumas buvo -0,1 °C, centrinėje – -0,1 °C (Urbanski et al., 1980; Drewnik et al., 2016). Hornsunde esančių Adriabuktos ir Burgerbuktos vidinių įlankų dugno vandens temperatūra reikšmingai nesiskyrė, tačiau skyrėsi nuo centrinės ir išorinės Hornsundo įlankos dalių (Drewnik et al., 2016).

Kylanti vandens paviršiaus ir oro temperatūra tirpdo ledynus (Comiso et al., 2017), o jiems tirpstant didėja gėlo vandens debitas. Remiantis 2006–2015 m. duomenimis (IPCC, 2019), Grenlandija vidutiniškai prarado 278 ± 11 Gt per metus, tai atitinka vidutiniškai $0,77 \pm 0,03$ mm pakilusio

pasaulinio vandens lygio per metus. Antarktida vidutiniškai prarado 155 ± 19 Gt per metus arba vidutiniškai $0,43 \pm 0,05$ mm pakilusio pasaulinio vandens lygio per metus. Kiti ledynai 2006–2015 m. laikotarpiu vidutiniškai prarado 220 ± 30 Gt per metus, kitaip tariant, pasaulinis vandens lygis vidutiniškai pakilo $0,61 \pm 0,08$ mm per metus. Didėjant gėlo vandens debitui įlankose mažėja druskingumas (Drewnik et al., 2016; Moskalik et al., 2018). Druskingumas vidiniuose fjorduose yra mažesnis, tačiau laikui bėgant pastebimas vidutinis druskingumo sumažėjimas visose Hornsundo įlankose (Drewnik et al., 2016).

Svalbarde ledynai intensyviausiai tirpsta pavasario–vasaros mėnesiais, o vakarų Svalbarde šio periodo pabaigoje buvo pastebėtas didėjantis suspenduotų dalelių kiekis (Moskalik et al., 2018). Tokiose vietose kaip Svalbardas ar Antarktis sausumoje esantis ir palaipsniui tirpstantis ledas gremžia žemės paviršių ir su susidariusiu gėlo vandens srautu išplauna nuosėdas arba atskilus ledlaukiams ir pradėjus jiems tirpti vandenyje išlaisvina įšalusią žemę (Drewry, Cooper, 1981; Moskalik et al., 2018). Suspenduotų kietųjų dalelių (SKD), organinių ir neorganinių medžiagų koncentracija ir pasiskirstymas tokiose sistemose priklauso nuo abliacijos sezono, gėlo vandens debito, ledynų dinamikos, kietųjų dalelių išplovimo kiekio, vandens stratifikacijos ir apytakos, įlankos batimetrijos, ledo ir šviesos kiekio, sistemos produktyvumo ir sedimentacijos proceso greičio (Moskalik et al., 2018). Hornsunde didžiausi organinės medžiagos kiekiai dėl galimo fitoplanktono nusėdimo užfiksuoti vidinėje įlankos dalyje, kur ledynų tirpimas vyksta intensyviausiai, o Burgerbuktoje stipriau nei Brepolene (Drewnik et al., 2016). Dideli suspenduotų dalelių kiekiai, padidėjęs drumstumas – tai pirmosios ledyno atsitraukimo stadijos. Hornsundo įlankos nuosėdose per pastaruosius 30 metų pastebėtas bendras organinės medžiagos sumažėjimas (Drewnik et al., 2016), kuris aiškinamas tuo, jog dėl ledynų judėjimų pasikeitė batimetrija ir susiformavo daugiau seklių vietų, kuriose ir kaupiasi nuosėdos. Panašūs pokyčiai batimetrijoje fiksuojami Aliaskoje, Grenlandijoje ir kitose Svalbardo vietose (ACIA, 2005; Drewnik et al., 2016).

Vandens šiltėjimui ir gėlo vandens debitui vakarų Svalbarde didelę įtaką turi vakarų Špitsbergeno srovė (VŠS) (Walczowski, Piechura, 2011; Muckenhuber et al., 2016; Nilsen et al., 2016), pratekanti vakarine Svalbardo salyno dalimi. VŠS susidaro iš sūresnio ir šiltesnio vandens, atkeliaujančio iš Atlanto vandenyno (Walczowski, Piechura, 2011). Šiltėjančios klimato sąlygos Svalbarde ir tirpstantys ledynai yra vieni pagrindinių VŠS padarinių. Didžiausią įtaką klimatui VŠS daro žiemos metu, reikšmingai keisdama žiemos oro temperatūrą (Walczowski, Piechura, 2011). Atitekantis šiltas Atlanto vanduo vakarų Špicbergeno srove yra vienintelis veiksnys, tirpdantis ledą žiemos metu, o vasaros metu ledo ploto kaita vyksta dėl intensyvesnės saulės radiacijos, vėjo, vandens tėkmės ir vandenyno šilumos srautų (Walczowski, Piechura, 2011). Yra žinoma, jog bent jau šiaurinėje Špicbergeno dalyje ledas

sparčiausiai traukiasi būtent žiemos metu (Onarheim et al., 2014). Nilsen et al., 2016 susiejo suintensyvėjusį Atlanto vandens įsiveržimą į Isfjordeno įlanką žiemos metu su sustiprėjusiais pietiniais vėjais sausio–vasario mėnesiais, teigdamas, jog vėjas turi įtakos srovės tėkmės greičiui ir jos pločiui. VŠS temperatūros pokyčiai taip pat gali būti veikiami žiemos temperatūros, bei oro–jūros temperatūros mainų (Walczowski, Piechura, 2011). Atlanto vanduo, tekėdamas VŠS, stipriai pakinta pasiekęs Špicbergeno šiaurę: susimaišęs su aplinka jis atvėsta, o druskingumas sumažėja (Walczowski, Piechura, 2011). Daugiametis ledo sluoksnis Hornsunde mažiau veikiamas įtekančio Atlanto vandens ir, panašu, sugeba atsistatyti po didelio Atlanto vandens įtekėjimo (Muckenhuber et al., 2016), tačiau Isfjordeno įlankoje ledynai po tokio įtekėjimo neatsistato keletą metų (Nilsen et al., 2016). Prognozuojama, jog sustiprėjus VŠS ir srovei pasisukus į rytus, šiltas Atlanto vanduo pradės plūsti į Isfjordeno įlanką (Nilsen et al., 2016).

Padidėjęs ledo tirpimas, ledynų atsitraukimas, seklių vietų gausėjimas, sumažėjęs druskingumas, padidėjęs drumstumas ir kiti aplinkos veiksniai, susiję su ledynų pokyčiais poliarinėse sistemose, keičia arktinių/antarktinių ekosistemų struktūrą (Wassmann et al., 2011), galimai sukurdami potencialias buveines bentosiniams organizmams (Drewnik et al., 2016) ar neigiamai veikdami vietinę fauną (Wood et al., 2011).

1.1.3 Ledyno tirpsmo poveikis dugno bestuburiams

Temperatūros, druskingumo ir sedimentacijos pokyčiai ledyno tirpsmo veikiamose įlankose yra mažiausiai stabilūs aplinkos veiksniai fjorduose ir tikėtina, jog būtent jie turės didžiausią įtaką Arkties dugno organizmų struktūrai (Drewnik et al., 2016). Pagrindiniai jūros gyvūnų pokyčių įrodymai surinkti Wassmann et al., 2011 buvo subarktinių rūšių traukimas link šiaurės, gausumo pokyčiai, padidėjęs kai kurių subarktinių rūšių ir pirminės produkcijos augimas, sumažėjęs gausumas tų rūšių, kurių vystymasis priklauso nuo ledynų, pokyčiai elgsenoje dėl pasikeitusio sezoniškumo, taip pat pokyčiai bendrųjų struktūroje. Tyrimai apie klimato kaitos daromą įtaką Arktinėms ekosistemoms yra labiausiai koncentruoti į rūšis, gyvenančias sausumoje, o jūrų ekosistemų tyrimai Arktyje dažnai susiję su žinduolių, baltųjų lokių ar ruonių ekologija (Wassmann et al., 2011). Šiuo metu labai trūksta duomenų apie bentosinių organizmų pokyčius centrinėje Arktikoje ir Sibiro šelfe, tačiau nemažai tyrimų atlikta subarktiniuose regionuose, pietvakarių Grenlandijoje, Beringo ir Barenco jūrose, taip pat Svalbardo salyne (Wassmann et al., 2011).

Węśławski et al. 2011 savo straipsnyje iškėlė keletą galimų bentoso pokyčių scenarijų Svalbarde. Pagal pirmąjį tikimasi, jog priekrantės dugno bendrųjų įvairovė Svalbarde ir Barenco jūroje padidės dėl

tirpstančių ledynų sukeltos advekcijos ir srovių sistemos, kuria atkeliaus propagulės iš rūsėmis turtingų subarktinių regionų į rūšių neturtingą Arktį. Manoma, kad borealinės rūšys sugebės prisitaikyti dėl šiltėjančio klimato ir naujų buveinių susidarymo, kurias sukurs atsitraukiantis ledas (Węślawski et al., 2011). Atvykstančioms borealinėms rūšims Arkties vanduo bus minimalios temperatūros tolerancijos riba, o vietinėms rūšims tai bus toleruojamos temperatūros maksimumas. Tokiomis sąlygomis vietinės rūšys gali susidurti su konkurencija ir patirti fiziologinį stresą, kurio nepatirs atvykusios invazinės rūšys (Wood et al., 2011). Arktinių rūšių prisitaikymas gyventi ekstremaliose sąlygose sumažina jų plastiškumą besikeičiančioms aplinkos sąlygoms. Endeminė poliarinė ofiūrų rūšis *Ophiocten sericeum* geba fiziologiškai adaptuotis vandens temperatūrai pakilus 3,5 °C, o rūgštingumui sumažėjus 0,6 pH, tačiau atsiradęs ofiūrų raumenų nusilpimas yra ženklas, jog ši tolerancija galima tik laikinai pasikeitus aplinkos sąlygoms (Wood et al., 2011).

Visgi Arkties fjordų sistemos gali rodyti kiek kitokią tendenciją: pagal antrą scenarijų prognozuojama, kad biologinė įvairovė didės atokiausioje fjordo dalyje, o vidinėje fjordo dalyje įvairovė mažės dėl ledo tirpsmo, padidėjusio upių nuotėkio sukeltų pokyčių, eufotinio sluoksnio sumažėjimo ir šiltėjančios temperatūros (Węślawski et al., 2011). Ledyno atsitraukimas ir gėlo vandens prietaka sukuria vandens cirkuliaciją, panašią į tą, kuri vyksta upių sistemose gėlam vandeniui ištekančiam į jūrą. Be to jūros ledas sumažina hidrodinaminį poveikį seklesniuose vandens telkiniuose (ar priekrantėje), todėl jo praradimas veiksmingai padidins bangų poveikį, sukels eroziją ir drumstumą pakrančių vandenyse (Rachold et al., 2004). Dėl ledo tirpsmo padidėjus sedimentacijai dumblių fiksuojamos smulkios dalelės sukuria buveines smulkiems organizmams, gyvenantiems smulkios frakcijos sedimentuose (meiofauna, daugiašerės kirmėlės) (Weslawski et al., 2010). Visgi dėl intensyvios sedimentacijos mažėja kieto substrato plotas, kuris reikalingas sėsliems organizmams. Pavyzdžiui, hidragyvai Svalbarde randami ant įvairaus tipo kieto substrato: riedulių, moliuskų, *Buccinum* sp. kriauklių, ūsakojų vėžiagyvių, vėžiagyvių karapakso, ascidijų, dumblių ir kt., tačiau ne ant minkšto substrato (Ronowicz et al., 2013). Bioįvairovės tyrimo rezultatai Antarktidos sublitoralėje taip pat parodė, jog dėl tirpstančių ledynų sukeltos sedimentacijos vidiniuose fjorduose sumažėjo kietą substratą apaugančių organizmų, tokių kaip samangyvai ir daugiašerės kirmėlės (Krzeminska, Kuklinski, 2018). Autoriai taip pat prognozuoja epifaunos rūšių gausumo, bioįvairovės sumažėjimą, taip pat bendrijų pasikeitimus iš filtratorių į nekrofagų dominuojamą bendriją. Stiprus mineralinių dalelių nusėdimas sukuria tiesioginį stresą toms dugno rūšims, kurioms reikia palaikyti sąlytį su nuosėdų paviršiumi, ir kurios efektingai filtruoja organinę medžiagą, todėl maitinimasis joms tampa energetiškai brangesnis (Weslawski et al., 2010). Kita vertus, Antarktidos pusiasalyje didžiulis

hidragyvio *Ptychogastria polaris* populiacijos pagausėjimas dėl didesnio organinės medžiagos kiekio išplovimo taip pat galėtų būti aktyvesnio bentoso produktyvumo rezultatas fjorduose (Grange et al., 2017). Ši rūšis taip pat būdinga Arktikos ekosistemai, o dėl savo gebėjimo gyvuoti pelagialėje ir dugne, didelės šios rūšies populiacijos galėtų reikšmingai prisidėti prie maistmedžiagių ir energijos perdavimo tarp pelaginės ir bentoso sistemų (Grange et al., 2017).

Antarktidos pusiasalyje, kuriame klimato šiltėjimo procesai vyksta bene intensyviausiai pasaulyje, užfiksuoti bentosinių organizmų bendrijų struktūros pokyčiai, nulemti didelių išplaunamo dirvožemio kiekių. Anksčiau teritorijoje dominavusias ascidijas, įvairesnę ir kompleksiškesnę bentoso organizmų bendriją pakeitė labiau sedimentacijai atsparūs organizmai: duobagyviai, pintys, aktinijos, mobilesne fauna, lygiakojai vėžiagyviai, dygiaodžiai (Sahade et al., 2015). Per du dešimtmečius, sedimentacijos paveikta Antarktidos pusiasalio bentosinių bendrijų struktūra pasikeitė į mobilesne, skaidytojų, plėšrūnų, labiausiai filtratorių, dominuojančią bendriją.

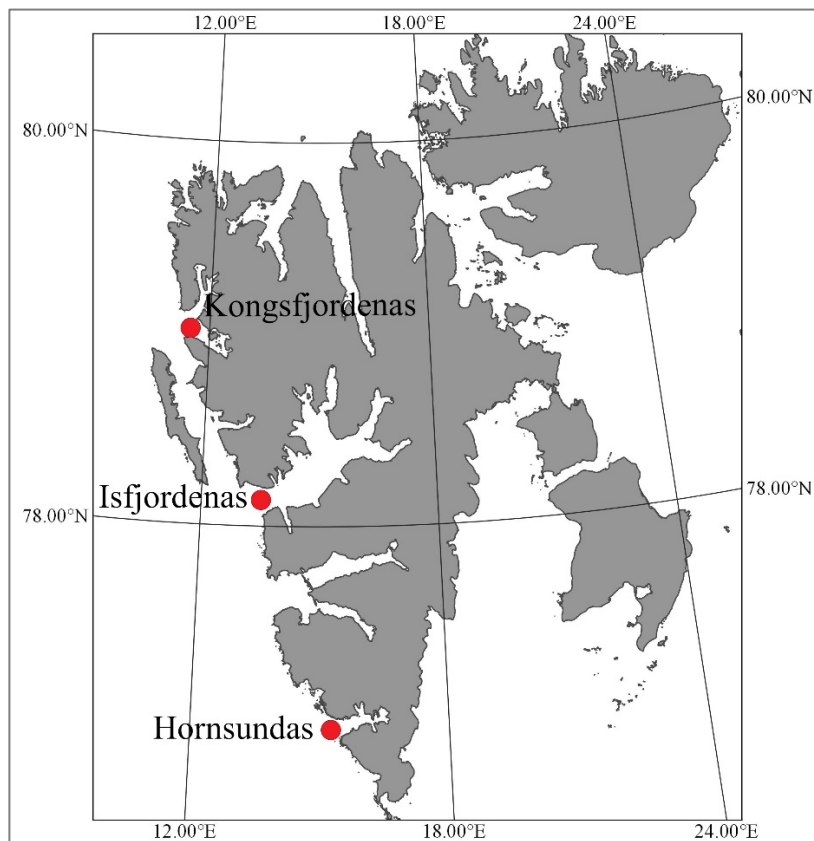
Pagal buveinių heterogeniškumo teoriją, sudėtingesnės struktūros buveinės turėtų sukurti daugiau nišų, skirtingų resursų pasisavinimo galimybių taip padidinant biologinę įvairovę. Šlaitai, susidarę ledynų pakraščiuose, galėtų būti tokių buveinių pavyzdys (Drewnik et al., 2016). Tikėtina, jog šlaitas veikia vietines srovės ir sedimentacijos greitį, substrato tipą, maisto prieinamumą, o šlaite susidariusios buveinės yra palankesnės organizmams, besimaitinantiems vandenyje pakibusiomis dalelėmis, nei mintantiems organine medžiaga, esančia nuosėdose (Jones et al., 2013). Hornsunde šlaitai išsidėstę palei priekrantę, tačiau apskritai dugnas yra homogeniškesnis, palyginti su Kongsfjordeno įlanka, esančia Svalbardo šiaurėje (Drewnik et al., 2016).

Kol kas sunku prognozuoti, kaip ateityje pasikeis Arkties ir Antarktidos bentoso bendrijos, veikiamos ledynų tirpsmo. Tyrimų rezultatai rodo įvairius pokyčius, tačiau daugelis autorių sutinka, jog svarbiausias ledyno tirpsmo veiksnys yra didėjanti sedimentacija, o kai kuriose vietose jau yra matomi tam tikri šio poveikio padariniai. Kita vertus, negalima atmesti kitų dugno organizmus veikiančių pokyčių, nors sąlygos vietinėje įlankų skalėje gali būti labai įvairios (šlaito pokyčiai, gylis, vietinių srovių įtaka, upių nuotėkis ir kiti veiksniai) ir dugno bendrijų pasiskirstymas įlankose ar fjorduose gali skirtis.

2.1 Bentosinės bendrijos Vakarų Svalbarde, Špicbergene

Ne tik ledynų tirpimas, bet ir kiti veiksniai (upių nuotėkis, gylis, substrato tipas, taip pat žmogaus veiklos sukeltas dugno tralavimas) lemia bentosinių bendrijų pasiskirstymą Vakarų Svalbardo fjorduose bei įlankose.

Nuo 1774-ųjų iki 1999-ųjų Isfjordenas buvo daugiausia mėginių ėmimo stočių turinti vieta Svalbarde (Gulliksen et al., 1999) (3 pav.).



3 pav. Vakarų Svalbardo fjordų: Kongsfjordeno, Isfjordeno ir Hornsundo geografinė padėtis

Ši vieta mažai paveikta dreifuojančio ledo, o didžioji dalis gyvenviečių, išsidėsčiusių aplink Isfjordeną, darė šią teritoriją lengviau pasiekiamą mokslininkams. Nepaisant plataus šio regiono tyrinėjimų, jame tuo metu rastos 524 makrobentoso rūšys (dumbliai, bestuburiai, žuvys), o Hornsundas, turintis keliasdešimt kartų mažiau mėginių ėmimo stočių, tuo metu apytiksliai aptikta 120 makrobentoso rūšių. Šiuo metu apskaičiuojama, kad aplink Svalbardą gali būti apie 1500 makrobentoso rūšių, o Hornsundo fjodre daugiau kaip 800 makrozoobentoso organizmų (Węsławski et al., 2011). Pagal Gulliksen et al. (1999) surinktus duomenis, keletas rūšių 1774–1999 m. laikotarpiu buvo dažnai sutinkamos Hornsunde, tačiau tik kartą plačiai ištyrinėtame Isfjordene. Tokių rūšių pavyzdžiai: krevetės *Lebbeus polaris* ir gaubtagyvis *Styela rustica*. Buvo ir tokių rūšių, kurios nebuvo sutiktos Isfjordene, tačiau rastos Hornsundo fjorde: krevetė *Pandalus borealis* ir gaubtagyviai *Boltenia echinata*, *Dendrodoa aggregata*. Hornsunde ir Isfjordene 1774–1999 m. laikotarpiu dažnai aptikta jūrų gilė *Balanus balanus*. Isfjordene vienos iš dažniausiai tuo metu moksliniuose tyrimuose paminėtų rūšių: jūrų ežys *Strongylocentrotus droebachiensis*, duobagyvis *Urticina felina* ir dvigeldis moliuskas

Mya truncata. Šiais laikais Isfjordenas ir toliau išlieka vienas labiausiai tyrinėjamų fjordų Špicbergene, visgi dėl tirpstančių ledynų ir Hornsundo fjordas tampa labiau prieinamas mokslininkams.

Dugno organizmų pasiskirstymas įlankose priklauso nuo gylio ir jūros dugno buveinių struktūros (Sswat et al., 2015). Kietas substratas svarbus sėsliams ir iš dalies sėsliams organizmams – filtratoriams. Svalbardo šiaurėje kieto substrato daugiausia rasta seklesnėse vietose (50–150 m), o minkštas dugnas gilesniuose > 250 m sluoksniuose. Dėl to ofiūros, kaip oportunistinė rūšis, gausiai buvo randamos gilesnėse vietose ir kartu su koralu *Gersemia rubiformis* dominavo šiaurės Svalbarde (Sswat et al., 2015). Visgi Kongsjordeno fjorde viršutinėje sublitoralėje esančioms makrozoobentos rūšims tyrimo rezultatai nerodė jokio vertikalios gylio gradiento poveikio (Kaczmarek et al., 2005). Plačiai tyrinėjamame Kongsfjordene buvo atlikta keletas tyrimų, analizuojančių dugno bendrijas pagal tirpstančio ledyno poveikio gradientą (Włodarska-Kowalczyk and Pearson, 2004; Kaczmarek et al., 2005). Nuosėdų stabilumas, neorganinių dalelių koncentracija, nuosėdų greitis ir organinių medžiagų kiekis nuosėdose laikomi svarbiausiais aplinkos veiksniais, struktūrizuojančiais bentoso bendrijas (Włodarska-Kowalczyk and Pearson, 2004). Makrozoobentos organizmų pasiskirstymui irgi didelę įtaką daro substrato tipas (Kaczmarek et al., 2005), o tirpstančio ledyno nešamos nuosėdos taip pat prisideda prie substrato formavimo. Šalia aktyviai tirpstančio ledyno aptikta nedidelė rūšinė įvairovė, (Włodarska-Kowalczyk et al., 2005; Kaczmarek et al., 2005), veikiausiai dėl to, kad dėl intensyvios sedimentacijos bentoso organizmų filtravimo organai gali užsikimšti, trukdoma kvėpuoti ir maitintis, taip pat stabdomas lervų įsikūrimas. Ledyno veikiamose įlankose taip pat pastebėtas mažesnis Pielou tolygumo indeksas, aukštas taksonominis išskirtinumas (Włodarska-Kowalczyk et al., 2005). Šalia tirpstančio ledyno esančiose Kongsfjordeno įlankose būdingiausia rūšis buvo šoniplauka *Onisimus caricus*, priklausanti maitėdų mitybos būdai (Kaczmarek et al., 2005), taip pat smulkios, detritu besimaitinančios rūšys *Chone paucibranchiata* bei keletas dvigeldžių moliuskų rūšių (Włodarska-Kowalczyk and Pearson, 2004; Włodarska-Kowalczyk et al., 2005). Maitėdų pagausėjimui šalia tirpstančio ledyno įtakos gali turėti masinė zooplanktoninių organizmų žūtis dėl sumažėjusio druskingumo. Pastebėta, jog bentosinių organizmų biomasė taip pat sumažėja bendrijose, esančiose arčiau tirpstančio ledyno (Włodarska-Kowalczyk et al., 2005). Minkšto dugno įlankose, esančiose tranzitinėje tirpstančio ledyno zonoje, sutinkama didesnė rūšinė įvairovė su dominuojančiomis moliuskų ir nameliuose gyvenančiomis daugiašerių kirmėlių rūšimis (Włodarska-Kowalczyk and Pearson, 2004; Kaczmarek et al., 2005; Włodarska-Kowalczyk et al., 2005). Centrinėje įlankos dalyje, už tranzitinės zonos dominuoja vamzdelyje gyvenančios daugiašerės kirmėlės, o išorinėje įlankos dalyje – šelfinės bentosinės rūšys ofiūros *Ophiura robusta* ir pilvakojis *Lepeta caeca* (Włodarska-

Kowalczyk and Pearson, 2004). Kongsfjordene ant minkšto dugno ir smėlio-žvirgždo substrato sutinkama *Mya arenaria* ir *Macoma calcarea* dvigeldžiai moliuskai, o ant kieto substrato viršutinėje sublitoralėje dominuoja vėžiagyviai (įvairios krevetės), keletas moliuskų rūšių, taip pat ypač dažnas jūros ežys *Strongylocentrotus droebachiensis* (Kaczmarek et al., 2005). Rūšys į aplinkos sutrikdymus linkusios reaguoti panašiai: esant dideliems aplinkos sąlygų sutrikdymams sumažėja rūšinė įvairovė, dominuoja smulkesnės rūšys ir būdinga keleto rūšių dominacija, o esant mažiems sutrikdymams bendrijos pasižymi sudėtingesne struktūra, sudaryta iš įvairaus dydžio organizmų ir keleto mitybos būdų.

Apibendrinant, arčiau tirpstančio ledyno dominuoja smulkesnės, judresnės rūšys, besimaitinančios detritu, ir maitėdos, taip pat būdingas biomasės sumažėjimas. Toliau nuo tirpstančio ledyno daromo poveikio esančiose bendrijose randamos didesnės, sėslesnės rūšys, kurioms labiau būdingas filtratorių mitybos būdas.

2.2 Vaizdo fiksavimas po vandeniu

2.2.1 Vaizdiniai metodai povandeniniuose tyrimuose

Pirmoji povandeninė kamera buvo sukurta 1892 m. (Jarvis, 2016), o pirmieji moksliniai tyrimai naudojant po vandeniu darytas nuotraukas buvo pradėti XX a. 4-ajame dešimtmetyje. To meto kameros buvo labai didelės ir nepatogios transportuoti, o užfiksuoti vaizdai – prastos kokybės. Tobulėjant technologijoms gerėjo povandeninių kamerų kokybė ir patikimumas, o šiais laikais bentologai visame pasaulyje plačiai naudoja vaizdo įrašus ir nuotraukas. Dėl spartaus technologinio vystymosi atsirado daugybė skirtingų metodų ir priemonių, nuotoliniu būdu fiksuojančių jūros dugną: kameros, valdomos rankiniu ar nuotoliniu būdu, vaizdo sonarai, nuotoliniu būdu valdomi povandeniniai robotai (Šaškov, 2014; Lim et al., 2018), kameros, reaguojančios į judesį ar šviesą (Weinstein, 2015), ir pan. Priklausomai nuo šių priemonių, povandeninė vaizdinė medžiaga leidžia santykinai greitai apžvelgti šimtų ar net tūkstančių kvadratinų metrų plotus ir suteikia informacijos apie ten gyvenančius organizmus, jų pasiskirstymą, vandenyno ar jūros dugno reljefą bei užfiksuoja informaciją iš vietų, kurios sunkiai prieinamos ar pavojingos žmogui (Šaškov, 2014; Lim et al., 2018). Be viso to, vaizdinių metodų naudojimas ekologiniams ir biologiniams tyrimams nesutrikdo ir nežaloja jūros dugno buveinių (Shahrestani et al., 2017).

Povandeninių nuotraukų, vaizdo įrašų medžiaga teikia biologinę informaciją: pirminės produkcijos įvertinimas (Platt, Sathyendranath, 1988), saugojamų teritorijų monitoringas (Negendra et al., 2013), gyvūnų elgesys, organizmų pokyčiai erdvėje ir laike (Weinstein, 2015), bentosinių

organizmų dydis ir gausumas (Mallet et al., 2012; Sswat et al., 2015), buveinių kartografavimas (Mallet et al., 2012; Sswat et al., 2015; Lim et al., 2018). Akustiniai sonarai ypač aukštos rezoliucijos vaizdais pavaizduoja jūros dugno reljefą, o ši informacija gali būti naudojama atrandant nuskendusius laivus, palaidotus cheminius ginklus, teršalus (Leipe et al., 2005), taip pat nustatant dugno reljefą, kartografuojant buveines po vandeniu (Lim et al., 2018) ar tiriant fizikinių procesų (povandeninių srovių, drumstumo, nuosėdų) įtaką bentosinių buveinių augimui (Dorschel et al., 2009). Sonarų naudojimas dugno analizei yra greitesnis būdas rinkti duomenų informaciją, kadangi jis apima didesnę plotą nei narų atliekami dugno vaizdo analizės tyrimai (Ludtke et al., 2012), o vaizdo įrašų duomenys yra tinkamesni dugno faunos, spalvų, tekstūros atpažinimui (Rimavičius et al., 2018). Šių dviejų vaizdinių metodų, tokių kaip naujausių technologijų vaizdiniai sonarai, kombinacija leistų stebėti jūros dugno organizmus ypač prastomis sąlygomis esant blogam matomumui ir dideliam drumstumui (Shahrestani et al., 2017).

Priekrantėje ir gero matomumo vandenyje mokslininkai dažnai naudoja foto-kvadratų metodą, kurį derina su narų *in situ* stebėjimais. Ypatingai dažnai foto-kvadratų metodai naudojami koralinių rifų monitoringui, kadangi šis metodas yra lengvai apmokomas, o įtraukus visuomenę surenkamas didesnis kiekis duomenų, kurį vėliau apdoroja specialistai (Obura et al., 2019). Neretai yra naudojamos video transektų metodas, kai iš vaizdo įrašo medžiagos yra vertinamas organizmų padengimas, gausumas arba atsitiktinai išrenkami kadrai tolesnei analizei. Sswat et al. (2015) tyrime iš vaizdo medžiagos identifikavo 141 epibentinį organizmą Arktyje, Svalbarde. Tačiau, dideliame nuotraukų ir vaizdo medžiagos kiekyje apdorojimui reikia didelių laiko sąnaudų. Todėl vaizdo mozaikos gali būti puikus šių metodų derinys. Vaizdo mozaikos, tai iš vaizdinės medžiagos gauta daugybės nuotraukų seka, kurios persidengdamos viena su kita sudaro ilgą panoraminį dugno vaizdą. Tokios vaizdo mozaikos sukuria plataus ploto vaizdą, kuris sėkmingai panaudojamas dugno (Rzhanov et al., 2002) ar bentoso buveinių kartografavimui (Gintert et al., 2012) ir bentoso monitoringui (Šaškov et al., 2015, Rende et al., 2015). Dėl vis didėjančio vaizdo medžiagų kiekio atsiranda poreikis vaizdo analizės procesą automatizuoti. Jau ir Lietuvoje galime rasti pavyzdžių, kai jūros dugno vaizdo mozaikos yra naudojamos dirbtinio intelekto algortimams apmokyti (Šiaulys et al., 2021).

Aplinkos ir organizmų aprašymas yra esminis dalykas ekologijoje. Nepriklausomai nuo tyrimo krypties jūrų ekologai susiduria su organizmų kiekybinio įvertinimo problemomis dėl tyrimui būtinų išlaidų, logistikos ir laiko stokos, todėl neretai tenka sumažinti darbo apimtį (Labanauskas, 1999; Andrew, Mapstone, 2006; Weinstein, 2015). Naudojant vaizdo įrašų metodus siekiama sumažinti išlaidas ir padidinti tyrimo našumą ir tikslumą (Weinstein, 2015). Šiuo metu tarp įvairiausių vandenyje

gyvenančių organizmų kiekybinio įvertinimų metodų yra ieškomi patys efektyviausi, turintys geriausią kokybę ir efektyvumo santykį.

2.2.2 Pagrindiniai iššūkiai filmuojant jūros dugną

Populiarėjant vaizdo medžiagos panaudojimui jūriniuose tyrimuose susiduriama su įvairiais tikrovės pasauliui būdingais iššūkiais. Didėjant vaizdinės analizės paklausai kuriamos įvairios programos, algoritmai, galintys automatiškai reguliuoti ir taisyti pakitusį apšvietimą, triukšmą, kameros nestabilumą (Weinstein, 2015), tačiau dauguma įrenginių yra vis dar sunkiai pritaikomi greitai kintančioms sąlygoms po vandeniu (Bianco et al., 2015).

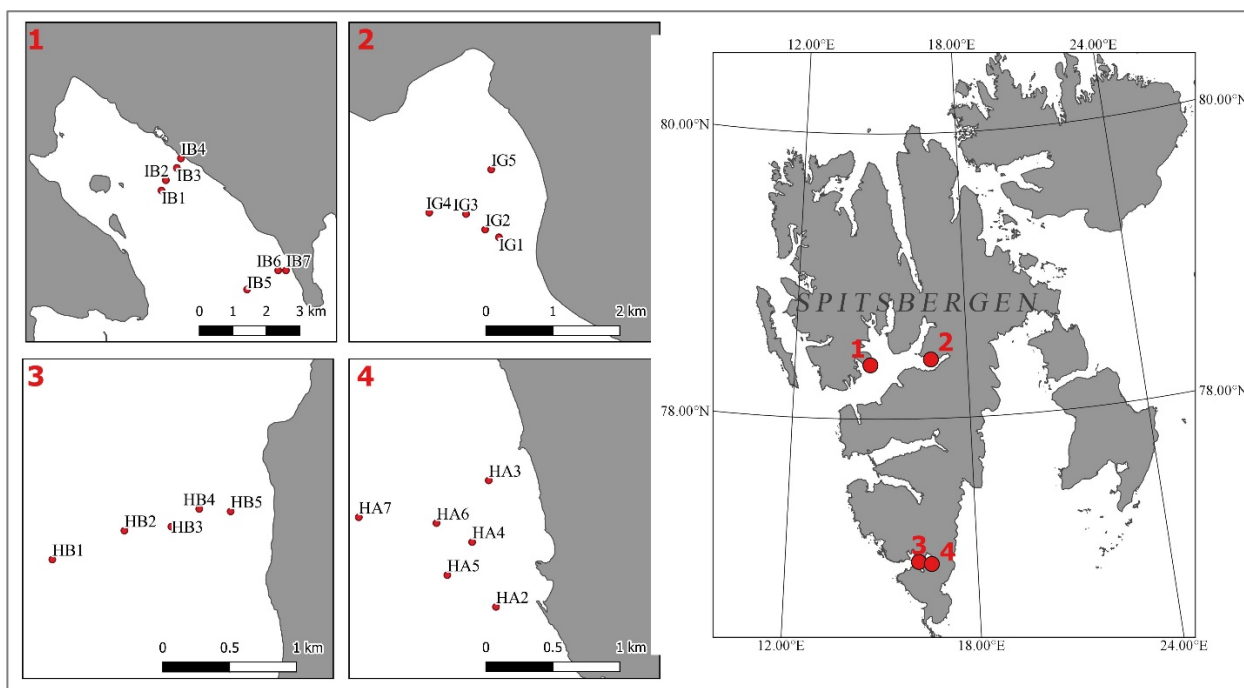
Naudojant įvairią techniką, fiksuojančią jūros dugno vaizdą, labai svarbu atsižvelgti į apšvietimą ir spalvinius pokyčius, kurie po vandeniu, kitaip nei sausumoje, nuolat kinta. Skaitmeninės kameros, naudojamos sausumoje, geba automatiškai reaguoti į plačius apšvietimo pokyčio spektrus (neoninės šviesos, saulės šviesa, prieblanda, pasikeitęs apšvietimas apsiniaukus), tačiau šių kamerų geba dažnai sumenksta jas naudojant po vandeniu ir jos tampa netinkamos jūros dugno vaizdo analizei (Bianco et al., 2015; Es-sadaoui et al., 2017). Dėl fizinių vandens savybių (vandens drumstumo, tankumo, vandens lūžio rodiklio, temperatūros) panardinta į vandenį vaizdo kamera susiduria su daugybe problemų, kurios nebūdingos sausumoje. Po vandeniu veikiančios orbitalinės srovės trukdo narui išlaikyti stabilią kameros padėtį ir palaikyti vienodą aukštį iki tiriamojo objekto, reikalingo sudaryti reprezentatyvias mozaikas (Li et al., 2018). Kitos problemos, su kuriomis susiduriama, yra šviesos trūkumas, mažas kontrastingumas, nepastovus apšvietimas, artefaktai, spalvų silpnėjimas, refrakcija ir triukšmas (Es-sadaoui et al., 2017).

Kita povandenių vaizdų analizei aktuali problema yra ribotos organizmų identifikavimo galimybės. Įmanomas tik epifauninių dugno organizmų identifikavimas, į dugno nuosėdas įsirausę organizmai (dvigeldžiai, daugiašerės kirmėlės ir pan.) lieka kameros nepastebėtos. Nepaisant to, kad kamerų kokybė gerėja, vis dar išlieka ribotas organizmų identifikavimas pagal jų dydį. Megafauna ir kai kurios makrofaunos rūšys gali būti identifikuotos iš vaizdo medžiagos, tačiau ne mikroorganizmai. Pavyzdžiui, Kuhn et al. (2020) abisalėje identifikavo organizmus ne mažesnius nei 1 cm dydžio iki tam tikro taksonominio lygmens ar funkcinų grupių. Dėl sudėtingos organizmų identifikacijos iš vaizdo medžiagos Kai kurie autoriai siekdami išvengti šios problemos naudoja tam tikrus validavimo metodus pvz.: paima keletą mėginių gruntuotratu, draga ar pasinaudoja narų *in situ* vertinimu (Kędra et al., 2013; Kuhn et al., 2020).

II. TYRIMO METODAI IR MEDŽIAGA

2.1 Vaizdo medžiagos rinkimas ir tyrimo vieta

Vaizdo medžiaga buvo surinkta jungtinio Lietuvos ir Lenkijos projekto rėmuose – „Arkties bentoso ekosistemų kaita: ledyno tirpsmo ir borealinių rūšių pernašos makroplastiku poveikis“ (ADAMANT). Šio projekto tikslas apibūdinti deglacijuotų arktinių pakrančių kolonizavimo mechanizmą ir dėsningumus. Darbe naudoti 2018 m. ir 2019 m. vasaros ekspedicijų metu Jūrinių tyrimo instituto mokslininkų surinkti duomenys, kuriuos surinko A. Šiaulys, D. Daunys ir A. Šaškov. vakarų Špicbergene esančiose Borebuktos, Gipvikos, Burgerbuktos, ir Adriabuktos įlankose (4 pav.).



4 pav. Svalbardo tyrimo stočių žemėlapis, 2018 – 2019 m. pažymėtos povandeninės vaizdo medžiagos rinkimo vietos (1 – Borebukta, 2 – Gipsvika, 3 – Burgerbukta, 4 – Adriabukta).

Špicbergenas yra didžiausia Svalbardo salyno sala, esanti šiaurės Norvegijos teritorijoje. Šiaurėje Svalbardas ribojasi su Arkties vandenynu, iš vakarų jį supa Grenlandijos jūra, o rytuose Barenco jūra. Vakarų Špicbergeno priekrantės vandenys stipriai veikia vakarų Špicbergeno srovės bei gėlo vandens nuotėkis iš upių ir tirpstančių ledynų. Vakarų Špicbergeno srovė (VŠS) iš pietų atneša šiltą ir druskėtą Atlanto vandenį, taip prisidėdama prie šiltėjančio Svalbardo klimato. Špicbergeno įlankose esantis vėsesnis ir mažesnio druskingumo vanduo paprastai sukuria natūralų gamtinį barjerą, neleidžiantį VŠS maišytis su įlankos vandeniu, taip įlankose sukurdamas sąlygas sezoniškam ledynų augimui. Vis dėlto,

kartais ši VŠS prasiveržia į fjordus, atnešdama šiltą vandenį ir tirpdydama įlankose susidariusį sezoninį ledą (Muckenhuber et al., 2016). Muckenhuber et al. (2016) taip pat iškėlė prielaidą, jog daugiametis ledyno dangos pokytis Hornsunde yra mažiau veikiamas VŠS, nei Isfjordene. Hornsunde, VŠS paveiktas ledas dengiantis jūros paviršių atsistato po metų, tuo tarpu Isfjordene tam prireikia keleto metų.

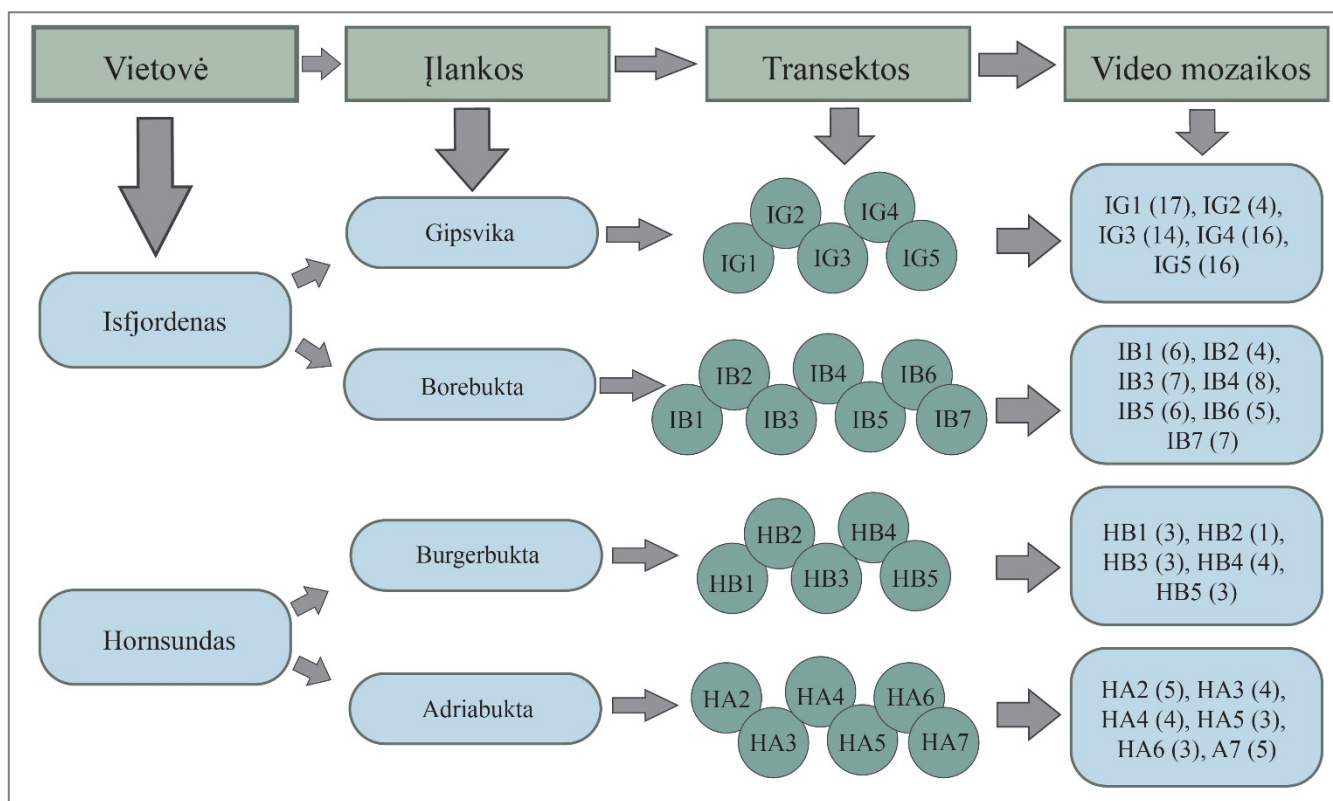
2018 m. vasarą tyrimai buvo vykdomi Hornsundo fjorde, dviejuose rajonuose: Burgerbukta (besitraukiančio ledyno zona) ir Adriabukta (kontrolinė zona). Šios ekspedicijos metu buvo naudojama „drop-down“ tipo povandeninė filmavimo sistema, kurioje įmontuota analoginė vaizdo kamera (700 TVL rezoliucijos) ir skaitmeninė Panasonic HX-A500 kamera. Ši filmavimo sistema įrašydavo aukštos raiškos (1280 x 720 px) vaizdo įrašų failus. 2019 m. vasarą povandeninė vaizdinė medžiaga buvo rinkta vakarų Špicbergene, dviejuose Isfjordeno įlankos rajonuose: Gipsvikoje ir Borebuktoje. Tais metais dugno buveinių filmavimui buvo naudojamas nuotoliniu būdu valdomas povandeninis robotas (ROV) su jame įmontuota aukštos rezoliucijos (1920 x 1080 px) su 3 CCD, Full HD vaizdo kamera aukštos kokybės Leica Dicomar lęšiais ir 10x optiniu padidinimu. Taip pat, ROV filmavimo sistemoje buvo įmontuotas 16 LED apšvietimas. Jūros dugnas buvo filmuojamas 0,4 – 0,5 m atstumu nuo dugno, 2–65 m gylyje. Įlankų mėginių ėmimo pastangos, gylio intervalai bei dugno aprašymai iš vaizdo medžiagos pateikti 1 priede. Dalis dugno vaizdų patalpinti Mendeley duomenų dalinimosi platformoje (Šiaulys et al., 2020): <http://dx.doi.org/10.17632/mmzb4hhptc.1>.

Adriabuktos, Gipsvikos įlankos laikomos esančiomis laisvoje nuo ledyno zonoje, o Burgerbuktos ir Borebuktos įlankos – kaip esančios besitraukiančio ledyno zonoje. Bendrieji šių įlankų bruožai pateikti (1 lentelėje).

1 lentelė. Bendrieji įlankų bruožai

	Adriabukta	Burgerbukta	Gipsvika	Borebukta
Zona	Laisva nuo ledyno	Besitraukiančio ledyno	Laisva nuo ledyno	Besitraukiančio ledyno
Fjordas	Hornsundas	Hornsundas	Isfjorden	Isfjorden
Pagrindinės upės	Nëra	Nëra	Gipsdalselva	Nëra
Pagrindiniai ledynai	Nëra	Paierlbreen	Nëra	Borebreen

Kiekvienoje įlankoje buvo daromos 5–7 transektos, iš kurių vėliau buvo sudarinėjamos mozaikos. Priklausomai nuo vaizdo medžiagos kokybės mozaikų skaičius transekte varijavo nuo 1 iki 17 mozaikų. Iš viso tyrimo rajone buvo padarytos 23 transektos. Darbe, transektų sutrumpinimuose pirmoji raidė žymi vietovės/fjordo pavadinimo pirmąją raidę (I – Isfjordenas, H – Hornsundas), o antroji – nurodo įlankos pavadinimo pirmąją raidę (G – Gipsvika, B – Borebukta, B – Burgerbukta, A – Adriabukta), pvz.: IG1 – pirmoji Gipsvikos, esančios Isfjordene, transektos. Besitraukiančio ledyno ir kontrolinės (laisvoje nuo ledynų) zonoje esančių įlankų mėginių ėmimo pastangų schema (5 pav.).



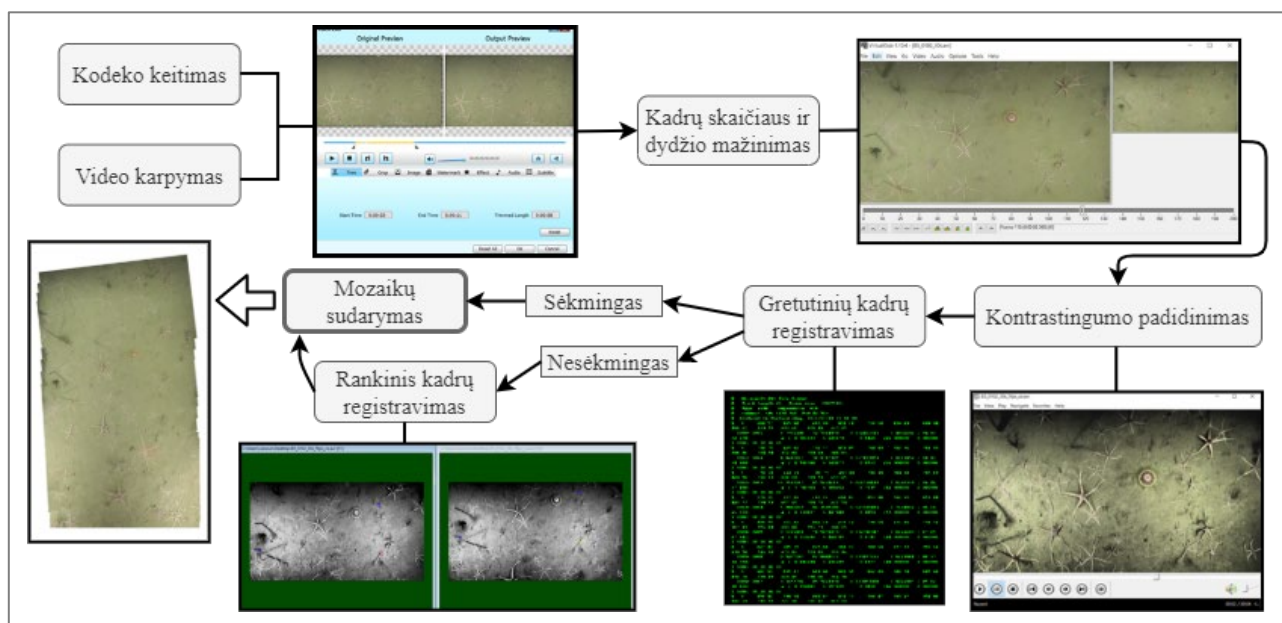
5 pav. Besitraukiančio ledyno ir kontrolinės zonos mėginių ėmimo pastangos ir sudarytų video mozaikų skaičius kiekvienai transektai įvardintas skliaustuose.

2.2 Vaizdo medžiagos apdorojimas

2018 m. vasarą Hornsunde buvo nufilmuota 11 transektų. Vidutiniškai transektos filmavimas Hornsunde truko 4–5 min, o iš viso surinkta 41 min. trukmės vaizdo medžiaga. Isfjordeno įlankoje iš viso buvo nufilmuota 12 transektų, kurių vidutinė trukmė 5–15 min., o bendra 2019 m. vasarą surinktos vaizdo medžiagos trukmė – 136 min. Kadangi nebuvo aiškūs tikslūs filmuotų transektų ilgiai, o vaizdo

įrašo medžiagos trukmė tarp transektų taip pat skyrėsi, buvo nuspręsta medžiagą dalinti į 30 s segmentus siekiant kompensuoti šiuos neatitikimus. Tokių transektų vertinimo praktikos pavyzdžiai: McGonigle et al., 2009; Šaškov et al., 2015. Tikslaus transektų ilgio nepavyko išskaičiuoti, nes daugumoje jų nesimatė lazerių, žyminčių objektų dydį, visgi kai kuriose transektose šie lazeriai matėsi iš kurių išskaičiuota, jog 30 s video mozaikos ilgis yra vidutiniškai apie $505,5 \pm 155,2$ cm arba apie $4,4 \pm 1,3$ m².

Vaizdo medžiaga buvo sukarpyta į 30 s segmentus ir iš .mts formato kodeko konvertuota į .avi naudojant Bigasoft AVCHD Converter programą. Kadrai per sekundę (fps) sumažinami nuo 50 fps ar 29,97 fps (priklausomai su kokia kamera filmuota) iki 3/5 fps priklausomai nuo analizuojamo vaizdo įrašo kokybės (3 fps taikomas aktyviai judantiems dugno organizmams). Kadrių per sekundę sumažinimas padidina vaizdo įrašo analizavimo spartą programoje, taip pat išvengiama tų pačių kadrių persiklojimo, dubliavimosi bei sumažinama vaizdo įrašo apimtis. Kadrių per sekundę mažinimas atliekamas naudojant Virtual Dub programą (A. Lee, 2013). Biologinių ir fizinių požymių identifikacijai buvo sudarytos mozaikos naudojant Priekrantės ir vandenynų kartografavimo centrą (ang. *Center for Coastal and Ocean Mapping*), (Rzhanov et al., 2004) sukurtą specialią mozaikų sudarymo programą. Vaizdo įrašų mozaikų kūrimo etapai pavaizduoti 6 pav.



6 pav. Vaizdo įrašų mozaikų sudarymo etapai

Dėl tam tikrų filmavimo sąlygų ypatumų ne visada pavykdavo sudaryti vientisą 30 s trukmės mozaiką, jeigu kamera:

- a) sukasi;

- b) krenta į dugną;
- c) kyla ir leidžiasi;
- d) prie jos kas nors prikibę (pvz.: makrofitas);
- e) atitolusi nuo dugno;
- f) daugybė nuosėdų, kurias sukėlė pati kamera ar didesnis organizmas;
- g) užfiksuoja reikšmingai judančius organizmus per didžiąją dalį kadro (pvz.: žuvis, krevetės, ofiūros).

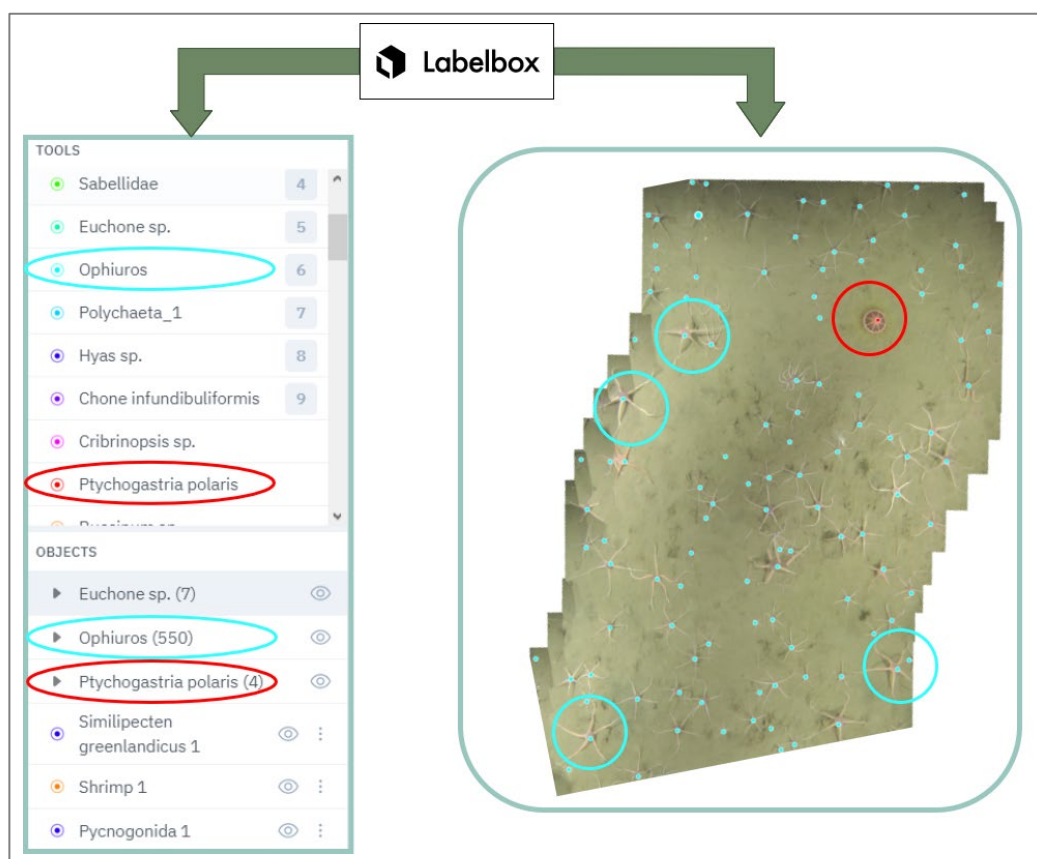
Tokiu atveju šios „problematiškos“ atkarpos mozaikų sudarymui nenaudojamos dėl to, kad mozaikų sudarymo programa nesugeba surasti tapačių taškų arba mozaikose esantis vaizdas išeina iškraipytas. Pagal šias sąlygas iš viso buvo sudarytos 297 mozaikos. 148 iš jų atitiko 30 s laiko intervalą, iš kurių 38 Hornsundo įlankos mozaikos ir 110 iš Istfjordeno įlankų, kurios ir buvo naudojamos tolesnėje analizėje.

2.3 Požymių identifikavimo katalogas, anotavimas, funkcinių grupių ir bendrijų išskyrimas

Organizmų ir požymių identifikacijai buvo sukurtas internetinis požymių identifikavimo katalogas prie kurio galėjo prieiti ir jį redaguoti visi specialistai turintys nuorodą. Kataloge buvo išskirti fiziniai (urvai, substratas, takai ir kt.) ir biologiniai (Annelida, Ascidiacea, Arthropoda, Bryozoa, Cnidaria, Echinodermata, Macrophyte, Mollusca, Nemertea, Pisces, Porifera) ir neidentifikuoti požymiai. Katalogą galima peržiūrėti čia: <https://sites.google.com/view/featuresid/mainpage?authuser=1>. Kiekvienam požymiui buvo įkelta po keletą nuotraukų detalesnei dugno organizmų ir požymių identifikacijai. Prie kiekvienos požymio nuotraukos buvo pateiktas siūlymas identifikacijai, požymio taksonominė klasifikacija pagal Pasaulinę jūrinių rūšių registravimo taksonominę duomenų bazę (WORMS), vaizdo medžiagos rinkimo data, įlanka kurioje rastas požymis, transekta ir gylis. Arkties floros ir faunos taksonomijos ekspertai galėjo nesutikti su pateikta identifikacija ir galėjo pasiūlyti tinkamesnę, pridėdami komentarą prie kiekvienos nuotraukos. Specialistai, prisidėję prie identifikacijos: Rusijos Ekologijos ir Evoliucijos Instituto dr. Yuri Kantor, Kazanės universiteto dr. Alexey V. Golikov, taip pat prof. Vasily A. Spiridonov, dr. Aleksandr I. Kokorin, dr. Vitaly L. Syomin, J. Wiktor, Lenkijos okeanologijos instituto dr. Piotr Balazy ir doktorantas Kajatan Deja. Iš viso identifikuoti 78 biologiniai ir fiziniai dugno organizmų požymiai (2 priedas), tačiau po ekstensyvios taksonomijos specialistų identifikuotų požymių peržiūros buvo nuspręsta analizėje naudoti tik tuos

požymius, kurie nekėlė abejonių. Fiziniai požymiai (dvigeldžių moliuskų kriauklės, takai, urvai bei makrofitalai) nebuvo skaičiuojami. Išimtis taikyta ekskrementų samplos fiziniam požymiui, kadangi jie buvo gausūs ir indikavo apie biologinę faunos aktyvumą. Požymiai, dėl kurių nesutiko ar kurie ekspertams kėlė abejonių, buvo identifikuoti iki aukštesnio taksonominio lygmens, arba požymis priskirtas prie identifikacijos, su kuria sutiko dauguma ekspertų. Pavyzdžiui, Vakarų Svalbardo įlankose buvo identifikuotos kelios vorinių krabų rūšys: *Hyas araneus* ir *Hyas coarctatus*, tačiau dėl kameros filmavimo kampo buvo sudėtinga nuspręsti, kuri būtent rūšis užfiksuota, todėl šie krabai identifikuoti iki aukštesnio taksonominio lygmens, t. y., – genties – *Hyas* sp.

Pagal 33 patikimiausius autorės atrinktus požymius (3 priedas) 30 s intervalą atitikusios mozaikos, buvo sužymėtos naudojant Labelbox.com anotavimo platformą. Platformoje išsirenkamas požymis kurį norima anotuoti, o pažymėjus pasirinktus požymius automatiškai suskaičiuojama kiek tokių požymių suanotuota. Anotavimas atliktas požymius žymint tašku. Ofiūrų ir hidragyvio *Ptychogastria polaris* požymių žymėjimo pavyzdys (7 pav.).



7 pav. Požymių anotavimas naudojant Labelbox platformą

Samangyviai *Alcyonidium* sp. ir Bryozoa undet. kaip kolonijiniai organizmai buvo anotuojami kolonijomis ir darbe vertinami kaip atskiri individai. Dvigeldžių moliuskų sifonų pora buvo taip pat anotuojama kaip vienas individas.

Šiame darbe požymiai neretai įvardijami kaip morforūšys. Šis terminas naudotas apibūdinti taksonus pagal jų išorinę morfologiją, kad būtų galima juos lengvai atskirti neturint taksonominio pasirengimo (Beattie, Oliver, 1994). Kadangi požymiai identifikuoti įvairiuose taksonominiuose lygmenyse, referuoti į juos kaip į rūšys nėra tikslinga, todėl buvo nuspręsta naudoti būtent šį terminą.

Morforūšys buvo suskirstytas pagal judėjimo tipą ir mitybos būdą (Macdonald et al., 2010; Degen, Faulwetter, 2019). Judriam judėjimo tipui priskirtos tokios morforūšys, kurios geba aktyviai judėti ir kurioms aktyvus judėjimo tipas reikalingas mitybai. Iš dalies judrios – tai tokios morforūšys, kurios geba judėti, bet jų judėjimas nėra būtinas mitybai, sėslios – sėsliai gyvenančios morforūšys. Išskirti keturi mitybos būdai, tai morforūšys minančios nuosėdine medžiaga, filtratoriai, plėšrūnai, bei maitėdos. Paprastumo dėlei, maitėdų mitybos būdui buvo priskiriamos rūšys, kurios minta keliais mitybos būdais - plėšrūnai ir detritofagai arba plėšrūnai ir maitėdos. Biofiziniam požymiui ekskrementų sampylai buvo priskirtas iš dalies judrus judėjimo tipas, bei nuosėdine medžiaga mintantis mitybos būdas, kadangi šis požymis būdingas bioturbuojančioms kirmėlėms ir tikėtina priklauso smiltkirmio *Arenicola marina* biologinei veiklai, o ši rūšis taip pat sutinkama Svalbardo regione. Dvigeldžių sifonų požymis darbe įvardijamas kaip dvigeldžiai, o ekskrementų sampylas požymis vadinamas bioturbuojančiomis kirmėlėmis.

Bendrijos išskirtos naudojantis hierarchinės klasterinės analizės rezultatais. Pagal hierarchinės klasterinės analizės išskirtas grupes buvo žiūrima, kuri morforūšis dominuoja sudarytoje grupėje ir jei ši morforūšis ar keletas jų sudarė daugiau nei 70 % bendro santykinio gausumo grupėje, jos laikomos dominuojančiomis. Tokiu būdu išskirtos bendrijos buvo palyginamos su įlankose dominuojančiomis morforūšimis pagal jų santykinį ir vidutinį gausumą, sutinkamumą, SIMPER analizės rezultatus bei morforūšių pasiskirstymą transektose, siekiant nustatyti ar išskirtų bendrijų pasiskirstymas grupėse panašus į įlankose dominuojančias morforūšis. Jei dominuojančios morforūšys panašios į hierarchinės klasterinės analizės grupėse išskirtas dominuojančias morforūšis, tada šios bendrijos laikomos tinkamomis.

2.4 Statistinė duomenų analizė

Video mozaikos, gautos iš vaizdo įrašų, buvo naudojamos kaip mėginių ėmimo vienetai, kurie varijavo nuo 1 iki 17 kiekvienai transektai, taigi iš viso tyrimų vietoje gauti 148 mėginiai. Transektų

analizei buvo vedamas mozaikų vidurkis, o įlankų analizei buvo vidurkinamos analizuojamos įlankos transektos, taip pat nurodoma dimensija - ind. trans⁻¹ (individai transekteje).

Siekiant įvertinti identifikuotų morforūšių rūšių skaičių ir pasiskirstymo tolygumą (angl. *evenness*), buvo apskaičiuoti keturi įvairovės indeksai. Tai buvo bendras vaizdo įrašų mozaikų mėginiuose esančių morforūšių skaičius (S), Shannon-Wiener įvairovės indeksas (H' apskaičiuotas naudojant Log_e), retų rūšių skaičius (skaičiuojamas naudojant Hurlbert indeksą 100-ui individų) ir morforūšių pasiskirstymo stotyse tolygumas vaizdo įrašų mozaikose, matuojamose pagal Pielou tolygumo indeksą. Kadangi mozaikų skaičius transektose buvo įvairus, o rūšių turtingumas labai priklauso nuo mėginių (šiuo atveju mozaikų) skaičiaus, buvo taikoma taksominio giminingumo tarp morforūšių priemonė. Taksonominė morforūšių sąsaja įlankose apskaičiuota naudojant vidutinį taksonominio išskirtinumo (AvTD) ir taksonominio išskirtinumo variacijos (VarTD) indeksus (Clarke, Warwick, 2001). AvTD apibūdina vidutinį taksonominį atstumą tarp 2 morforūšių, esančių visų morforūšių asociacijoje. VarTD parodo taksonominių atstumų dispersiją tarp visų asociacijoje esančių morforūšių porų. Taksonominiams indeksams skaičiuoti buvo naudojami 6 taksonominiai lygmenys: rūšis, gentis, būrys, šeima, klasė ir tipas. Informacija apie morforūšių mitybos būdą ir judėjimo tipą buvo surinkta naudojant internetinę duomenų bazę – Arkties bruožų duomenų bazę (angl. *The Arctic Traits Database*) ir Macdonald et al., 2010.

Transektų panašumui tarp įlankų nustatyti atlikta daugiamatės skalės MDS (angl. *Multidimensional scaling*) analizė. Šiai analizei duomenys transformuoti į morforūšių buvimą – nebuvimą, o įlankų transektoms klasterizuoti taikytas Bray-Curtis panašumo koeficientas, kadangi jis atsparus dvigubo nulio (angl. *double zero*) efektui, kai duomenyse daug nulių. Siekiant išsiaiškinti ar panašumai tarp MDS išskirtų grupių yra statistiškai reikšmingi naudotas panašumų tarp grupių nustatymo metodas ANOSIM (angl. *Analysis of Similarity*). ANOSIM analizės statistiniam patikimumui atlikta 1000 permutacijų. ANOSIM R reikšmės varijuoja nuo 0 (nėra skirtumų tarp įlankų) iki 1 (įlankos visiškai skiriasi tarpusavyje), o statistiškai patikimu skirtumu laikoma kai p reikšmės < 0,05. Morforūšių indėliui (%) į skirtumus tarp grupių apskaičiuoti ir šių skirtumų interpretacijai naudota panašumų procentų SIMPER (angl. *Similarity of Percentages*) analizė. Indikatorinėms morforūšims nustatyti ir jų asociacijai su įlankomis ir transektomis apskaičiuoti buvo naudojamas IndVal indeksas (Cáceres et al., 2010). Šiam indeksui apskaičiuoti naudojamos dvi dedamosios A ir B. Jeigu morforūšies A reikšmė lygi 1, tai reiškia, jog ši morforūšis būdinga tik tai nurodytai transektai ar transektų grupei ir kitose šios įlankos transektose jos aptikta nebuvo. Kai B reikšmė lygi 1, tai rodo jog morforūšis būdinga visose tos įlankos transektose ar transektos grupės

mozaikose. IndVal indeksas apskaičiuojamas panaudojant šias dvi dedamąsias taip pat atsižvelgdamas į morforūšių gausumą ir kuo arčiau jis artėja prie vieneto tuo stipresnė morforūšies asociacija. Bendrijų išskyrimui naudota hierarchinė klasterinė analizė, prieš tai atlikus kvadratinės šaknies duomenų transformaciją. Šiai analizei naudotas Bray-Curtis panašumo koeficientas naudojant vidutinės jungties metodą (angl. *group average*).

Statistinėms analizėms, lyginant dviejų imčių vidurkių lygybę, buvo taikomas t-testas, kadangi duomenys buvo pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį ir dispersijos buvo lygios. Normalumo prielaida tikrinta Shapiro-Wilk kriterijumi, o dispersijų lygumas tikrintas Levene testu. Dviem nepriklausomoms imtims neatitikus normalumo prielaidos taikytas Mano-Vitnio-Vilkoksono kriterijus. Lyginant daugiau nei dviejų imčių vidurkius ir duomenims atitikus normalumo prielaidą bei dispersijų lygumą buvo taikoma vienfaktorinė dispersinė analizė ANOVA. Siekiant nustatyti, tarp kurių imčių vidurkių yra skirtumų, atliktas daugartinio lyginimo (*post hoc*) Tjukio HSD testas, kai dispersijos lygios, arba Holmsio testas, kai dispersijos nelygios (Field, 2012). Jei daugiau nei dvi imtys neatitiko normalumo prielaidos, buvo atliekamas neparametrinis Kruskal-Wallis testas, o siekiant nustatyti, tarp kurių imčių vidurkių yra skirtumų, atliktas daugartinio lyginimo (*post hoc*) Duno testas – atitikus dispersijų lygumo prielaidai (Field, 2012). Darbe aprašinėjant statistinės analizės rezultatus buvo nurodoma p reikšmė, t (t-testas), W (neparametrinis Mano-Vitnio-Vilkoksono testas nepriklausomoms imtims), F (ANOVA) arba H (neparametrinis Kruskal-Wallis testas) statistikos kriterijus, priklausomai nuo atlikto testo pasirinkus $\alpha = 0,05$ statistinio reikšmingumo lygmenį.

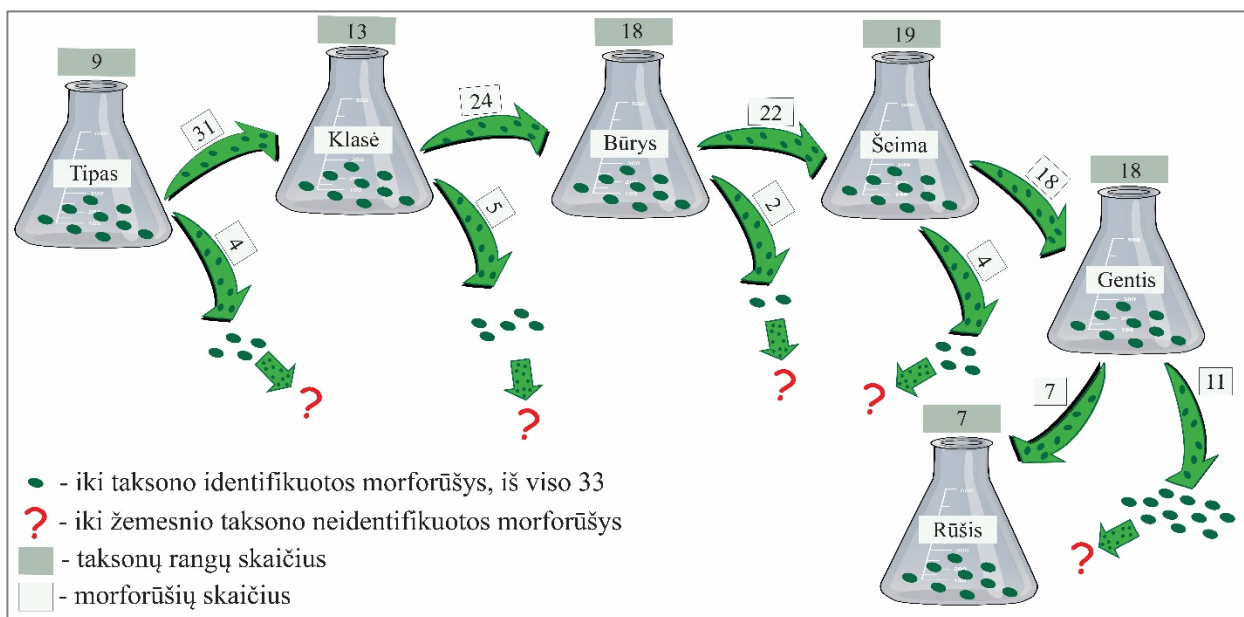
MDS, ANOSIM, SIMPER analizės, įvairovės indeksai, taksonominio išskirtinumo (AvTD) ir taksonominio išskirtinumo variacijos (VarTD) indeksai apskaičiuoti naudojant PRIMER 6 programinę įrangą (Clarke, Gorley, 2006). IndVal indekso apskaičiavimui, diagramų sudarymui ir statistinės analizės atlikimui naudota R Studio 3.6.1, 2019 programa. IndVal indekso apskaičiavimui naudotas Indicspecies 1.7.9 paketas (De Cáceres, Legendre, 2009). Infograma ir kiti procesus ar schemas vizualizuojantys paveikslai sukurti naudojantis Adobe Illustrator, 2019 programa. Darbe pateikti žemėlapiai kurti autorės naudojantis Q GIS 3.4 Madeira geografinės informacinės sistemų kūrimo programa.

III. REZULTATAI

3.1 Biologinių požymių grupavimas pagal jiems būdingas savybes

3.1.1 Biologinė klasifikacija

Tiriamajame rajone, 3–65,2 m gylyje iš viso iš vaizdo medžiagos buvo sužymėti 11 577 objektai. Šie objektai buvo identifikuoti iki patikimiausio taksonominio lygmens ir darbo metu buvo išskirti 33 biologiniai požymiai (morforūšys). Šie požymiai turėjo 9 tipus, iš kurių 4 morforūšys identifikuotos iki tipo ir 31 morforūšis identifikuota iki žemesnio taksonominio rango – klasės (8 pav.).



8 pav. Morforūšių identifikacija iki tam tikro taksonominio rango

Identifikuota 31 morforūšis, kuri turėjo 13 klasių, 5 morforūšys buvo identifikuotos iki šio taksonominio lygmens, o likusios 24 identifikuotos iki būrio. Iš viso identifikuota 18 būrių, kuriems priklausančios 22 morforūšys buvo identifikuotos iki šeimos, o likusios 2 liko identifikuotos iki būrio taksonominio rango. Iš 22 morforūšių priklausančių 19 įvairių šeimų, 18 identifikuotos iki genties. Iš šių 18 genčių 7 morforūšis pavyko identifikuoti iki žemiausio taksonominio rango – rūšies, likusios 11 identifikuotos iki genties taksonominio rango. Daugiausia morforūšių identifikuotos iki genties rango (11). Nors būrio rangas buvo vienas iš gausiausių rangų (18), šiam rangui identifikuotas mažiausias morforūšių skaičius – 2. Panaši situacija su šeima: šiam rangui priklauso 19 taksonų, tačiau iki šeimos identifikuotos 4 morforūšys. Tai rodo, jog esant dideliame taksono rango gausumui nebūtinai identifikuojama daugiau morforūšių iki žemesnio taksonominio lygmens.

Sabellidae morforūšis sudarė didžiausią dalį visų pažymėtų požymių – iš viso mozaikose suanotuoti 4155 individai, Ophiurida (3137) buvo antras pagal dažnumą, bioturbuojančios kirmėlės (1134). 6 morforūšys (Ceriantharia, dvigeldžiai, *Chone infundibuliformis*, *Euchone* sp., *Alcyonidium* sp., Bryozoa undet.) skaičiuotos šimtais, 9 morforūšys – dešimtimis. Likusios 16 morforūšių Vakarų Svalbardo įlankose pasirodydavo pavieniui – iki 10-ies individų visame tyrimų rajone. Nuo 1 iki 9 morforūšių priskirtos vienam iš tipų. Gausiausias tipas – Annelida, kuriam priskirtos 7 morforūšys, antras pagal gausumą Mollusca (6), Arthropoda ir Chordata 5 morforūšys. Visi tyrimų vietoje rasti Cnidaria ir Mollusca tipo atstovai buvo identifikuoti iki genties ar rūšies. Visos jūrų žvaigždės Asteroidea identifikuotos iki rūšies, o visi Gastropoda klasės atstovai identifikuoti iki genties.

3.1.2 Funkcinės grupės

Identifikuotos morforūšys buvo suskirstytos pagal dvi funkcines grupes: judėjimo tipą ir mitybos būdą. Didžioji dalis (16) tyrimo vietoje esančių morforūšių yra judrios, 12 – iš dalies judrios, 5 – sėslios. Dauguma morforūšių yra plėšrūnai (13) ir filtratoriai (13), 5 morforūšys – maitėdos, 2 minta nuosėdine medžiaga (2 lentelė).

2 lentelė. Pagal judėjimo ir mitybos tipą suklasifikuotos darbo metu rastos morforūšys pagal Macdonald et al. (2010) ir Degen, Faulwetter (2019).

	Judėjimo tipas				Mitybos būdas		
	Judrūs	Iš dalies judrūs	Sėslūs	Nuosėdine medžiaga	Filtratoriai	Plėšrūnai	Maitėdos
Cnidaria							
Ceriantharia		+				+	
<i>Halcompa</i> sp.		+				+	
<i>Ptychogastria polaris</i>	+					+	
Mollusca							
<i>Buccinum</i> sp.	+					+	
<i>Dendronotus</i> sp.	+					+	
Dvigeldžiai		+			+		
<i>Mya</i> sp. sifonai		+			+		

2 lentelės tęsinys

	Judrūs	Iš dalies judrūs	Sėslūs	Nuosėdine medžiaga	Filtratoriai	Plėšrūnai	Maitė- dos
<i>Similipecten greenlandicus</i>		+			+		
Panašu į <i>Clinocardium</i>		+			+		
Nemertea	+					+	
Annelida							
Sabellidae		+			+		
<i>Chone infundibuliformis</i>		+			+		
<i>Euchone</i> sp.		+			+		
<i>Bispira fabricii</i>		+			+		
<i>Ampharete</i> sp.		+		+			
<i>Phyllodoce</i> sp.	+						+
Bioturbojančios kirmėlės		+		+			
Arthropoda							
<i>Hyas</i> sp.	+						+
<i>Pagurus pubescens</i>	+						+
Krevetės	+						+
Archaeobalanidae			+		+		
Pycnogonida	+					+	
Bryozoa							
<i>Alcyonidium</i> sp.			+		+		
<i>Bryozoa</i> undet.			+		+		
Porifera			+		+		
Echinodermata							
<i>Urasterias lincki</i>	+					+	
<i>Lophaster furcifer</i>	+					+	
Ophiurida	+						+
Chordata							
Ascidiacea			+		+		
<i>Pleuronectiformes</i>	+					+	
<i>Liparidae</i>	+					+	
<i>Pisces</i>	+					+	
<i>Myoxocephalus</i>	+					+	

Dauguma judrių morforūšių priklauso Arthropoda (25 %) ir Chordata (25 %) tipui, po 4 morforūšis, tai sudaro po 80 % visų judėjimo tipui priskiriamų Arthropoda ir Chordata. Visos Echinodermata ir Nemertea tipui priklausančios morforūšys yra judrios. 6 morforūšys, priklausančios Annelida tipui, sudaro didžiausią santykinę dalį iš dalies judrių morforūšių (50 %), o tai sudaro 85,7 % visų judėjimo tipui priskiriamų Annelida morforūšių. Visos morforūšys priklausančios Bryozoa tipui yra sėslios. Jos taip pat sudaro didžiąją dalį sėsliam judėjimo tipui priskiriamų morforūšių (40 %). Visos nuosėdine medžiaga mintančios morforūšys (2) yra priskiriamos Annelida tipui, tačiau jos sudaro tik 28,6 % tyrimo rajone esančių Annelida morforūšių mitybos būdo. Visos Bryozoa ir Porifera tipui priskiriamos morforūšys yra filtratoriai, tačiau daugelis filtratorių morforūšių priskiriamos Annelida (30,8 %) ir Mollusca tipui (30,8 %), po 4 morforūšis. Visos Cnidaria ir Nemertea tipo morforūšys yra plėšrūnai, tačiau dauguma plėšrūnų morforūšių priklauso Chordata tipui (30,8 %), tai yra, 4 morforūšys. 3 morforūšys, priklausančios Arthropoda tipui, sudaro didžiausią maitėdų mitybos būdo santykinę dalį (60 %).

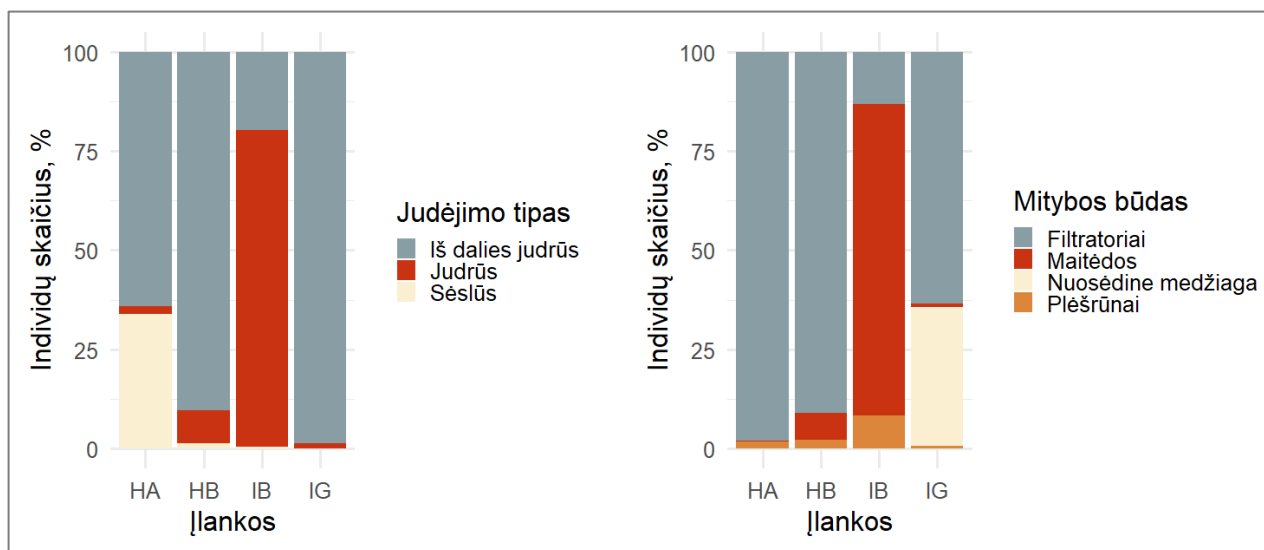
3.2 Makrozoobentos bendrijų struktūra besitraukiančio ledyno pakraštyje ir laisvojoje nuo ledynų zonose

3.2.1 Funkcinių grupių pasiskirstymas

Makrozoobentos struktūra buvo lyginama įlankose esančiose besitraukiančio ledyno (Burgerbuktos, Borebuktos) ir laisvosiose (Gipsvikos, Adriabuktos) nuo ledyno zonose. Vidutinio individų skaičiaus mozaikose suma kiekvienoje transekteje ir suklasifikuota į dvi funkcinės grupės kategorijas: mitybos būdą, judėjimo tipą pateikta 4 priede.

Morforūšis suskirstytas į funkcinės grupės ir atlikus neparametrinę statistinę analizę Borebuktos, Gipsvikos, Burgerbuktos ir Adriabuktos įlankoms pastebėta, jog tyrimo rajone yra statistiškai reikšmingas skirtumas tarp judėjimo tipo (Kruskal-Wallis testas $H = 40,4$ $p < 0,05$) ir mitybos būdo (Kruskal-Wallis testas $H = 21,2$ $p < 0,05$) funkcinių grupių. Pagal judėjimo tipą statistiškai reikšmingai skiriasi iš dalies judrių organizmų gausumas nuo judrių ir sėslių nuo iš dalies judrių (Duno testas, $p < 0,05$). Pagal mitybos būdą statistiškai reikšmingai skiriasi visi mitybos būdai išskyrus plėšrūnus ir maitėdas (Duno testas, $p < 0,05$). Dauguma individų yra iš dalies judrūs ir sudaro 59,6 % visų individų. Iš dalies judrių organizmų gausumas tarp įlankų statistiškai reikšmingai nesiskyrė (Kruskal-Wallis

testas $H = 1,52$ $p > 0,05$). Dauguma iš dalies judrių organizmų yra Adriabuktos įlankoje (62 ± 69 ind. trans^{-1}), kurie sudarė 21,2 % visų morforūšių tyrimo rajone, o pačioje įlankoje – 64,2 % (9 pav.).



9 pav. Vidutinio individų skaičiaus transektose suma suskirstyta įlankomis ir suklasifikuota į dvi funkcinės grupės kategorijas: mitybos būdas, judėjimo tipas. Adriabukta (HA), Burgerbukta (HB), Borebukta (IB), Gipsvika (IG).

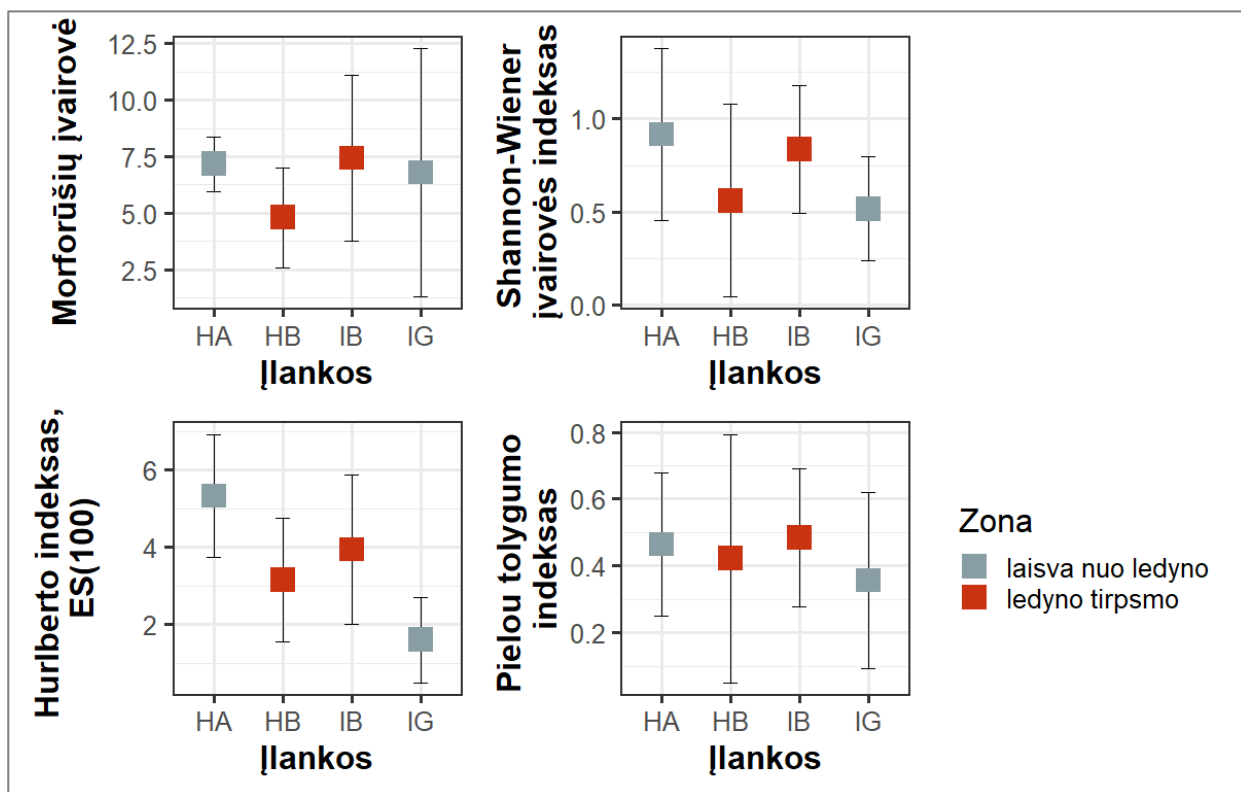
Gipsvikos įlankoje iš dalies judrūs organizmai vidutiniškai siekė 39 ± 37 ind. trans^{-1} , o tai sudarė 98,8 % individų šioje įlankoje, Burgerbuktos įlankoje vidutiniškai 54 ± 84 ind. trans^{-1} – 90,4 %. Mažiausias iš dalies judrių individų skaičius transekte (22 ± 22 ind. trans^{-1}) Borebuktoje – 19,7 %. Visgi Borebukta – judriais individais gausiausia įlanka, vidutinė judrių individų skaičiaus transektose suma 77 ± 170 ind. trans^{-1} , tai sudaro 26,4 % visų individų skaičiaus tarp šių 4 įlankų. Borebuktoje judrūs individai sudaro 79,8 %. Kitose įlankose judrūs individai įlankose nesudaro daugiau kaip 8,4 %. Statistiškai reikšmingas skirtumas (Kruskal-Wallis testas $H = 13,2$, $p < 0,05$) tarp judrių dugno organizmų įlankose yra tarp Borebuktos, Gipsvikos ir tarp Burgerbuktos, Gipsvikos įlankų (Duno testas, $p < 0,05$). Gipsvikoje judri makrofauna sudarė 1,2 % pačioje įlankoje ir tik 0,2 % tyrimo rajone, o Burgerbuktoje 8,4 % įlankoje ir 1,7 % tyrimo rajone. Skirtumas tarp sėslių individų įlankose yra statistiškai reikšmingas (Kruskal-Wallis testas $H = 15,71$, $p < 0,05$) tarp Adriabuktos ir kitų dviejų įlankų: Borebuktos ir Gipsvikos (Duno testas, $p < 0,05$). Daugiausia sėslių individų Adriabuktoje – 33 ± 26 vidutiniškai transekte, kurie sudarė 11,2 % visų individų tyrimo rajone ir 34,0 % Adriabuktoje, o sėslių individų kitose įlankose nebuvo daugiau nei 1,3 %. Borebuktoje vidutiniškai apskaičiuota $0,6 \pm 0,9$ ind. trans^{-1} sėslių dugno organizmų, kurie sudarė 0,5 % pačioje įlankoje ir 0,2 %

tyrimo rajone. Gipsvikoje sėsli makrofauna ($0,01 \pm 0,03$ ind. trans⁻¹) sudarė 0,03 % pačioje įlankoje ir 0,004 % tyrimo rajone.

Palyginus santykinį individų gausumą pagal jų mitybos būdą pastebėta, jog tyrimo rajone statistiškai reikšmingas skirtumas yra tarp visų mitybos būdų išskyrus tarp plėšrūnų ir maitėdų mitybos būdo (Duno testas, $p < 0,05$). Filtratoriai tyrimo rajone sudarė didžiausią dalį – 64 %, o skirtumas tarp įlankų buvo statistiškai reikšmingas (ANOVA $F = 5,95$, $p < 0,05$). Adriabuktos ir Borebuktos įlankos ($p < 0,05$, Holmsio testas) statistiškai reikšmingas skyrėsi. Dauguma morforūšių individų su šiuo mitybos būdu yra Adriabuktoje – vidutinė individų skaičiaus suma transekte 95 ± 53, įlankoje tai sudarė 98,1 %. Burgerbuktoje, antroje pagal filtratorių individų gausumą 55 ± 84 ind. trans⁻¹, įlankoje 91,1 %. Gipsvikoje vidutiniškai filtratorių transekte 25 ± 34 ind. trans⁻¹ t.y., 63,5 % įlankoje ir Borebuktoje - 13 ± 17 ind. trans⁻¹ t.y., 13,2 % įlankoje. Burgerbuktoje esantys filtratoriai sudarė didžiąją dalį visų tyrimo rajone esančių filtratorių, tarp visų mitybos būdų sudarydami 18,6 %. Skirtumas tarp plėšrūnų mitybos būdo įlankose buvo statistiškai reikšmingas (ANOVA $F = 9,33$, $p < 0,05$), visos įlankos statistiškai reikšmingai skyrėsi nuo Borebuktos (Duno testas, $p < 0,05$), nes plėšrūnai kitose įlankose sudarė ne daugiau kaip 2,2 %: Adriabuktoje (1,7 %), Burgerbuktoje (2,2 %), Gipsvikoje (0,6 %). Dauguma plėšrūnų (10 ± 7 ind. trans⁻¹) ir maitėdų (89 ± 182 ind. trans⁻¹) rasti Borebuktos įlankoje, tai tyrimų rajone atitinkamai sudarė 2,7 % ir 25,9 % visų mitybos būdų. Plėšrūnai Borebuktoje sudarė 8,2 %, o maitėdų mitybos būdas šioje įlankoje dominavo – 78,5 %. Maitėdų skaičius įlankose statistiškai reikšmingai skyrėsi (Kruskal-Wallis testas $H = 13,91$, $p < 0,05$). Statistiškai reikšmingi skirtumai buvo tarp Borebuktos ir kitų įlankų (Duno testas, $p < 0,05$), išskyrus Burgerbuklą, kurioje maitėdos sudarė vidutiniškai 4 ± 4 transekte – 6,8 % įlankoje ir 1,4 % tyrimo rajone. Tyrimų rajone, nuosėdinių medžiagų absorbcijos mitybos būdą organizmai naudoja rečiausiai – šiuo mitybos būdu mintantys organizmai sudarė tik 4,8 %. Didžioji dalis šių nuosėdine medžiaga mintančių dugno organizmų yra Gipsvikoje (4,8 %) – jie transekte vidutiniškai sudarė 14 ± 24 ind. trans⁻¹, Borebuktoje rasta tik keletas jų ($0,1 \pm 0,1$ ind. trans⁻¹), – jie tyrimo vietoje sudarė 0,02 %.

3.2.2 Makrozoobentosos požymių įvairovė

Makrozoobentosos struktūra buvo lyginama besitraukiančio ledyno (Burgerbuktos, Borebuktos) ir laisvosiose (Gipsvikos, Adriabuktos) nuo ledyno zonose. Morforūšių įvairovė ir pagrindiniai įvairovės indeksai tarp įlankų pavaizduoti 10 pav.



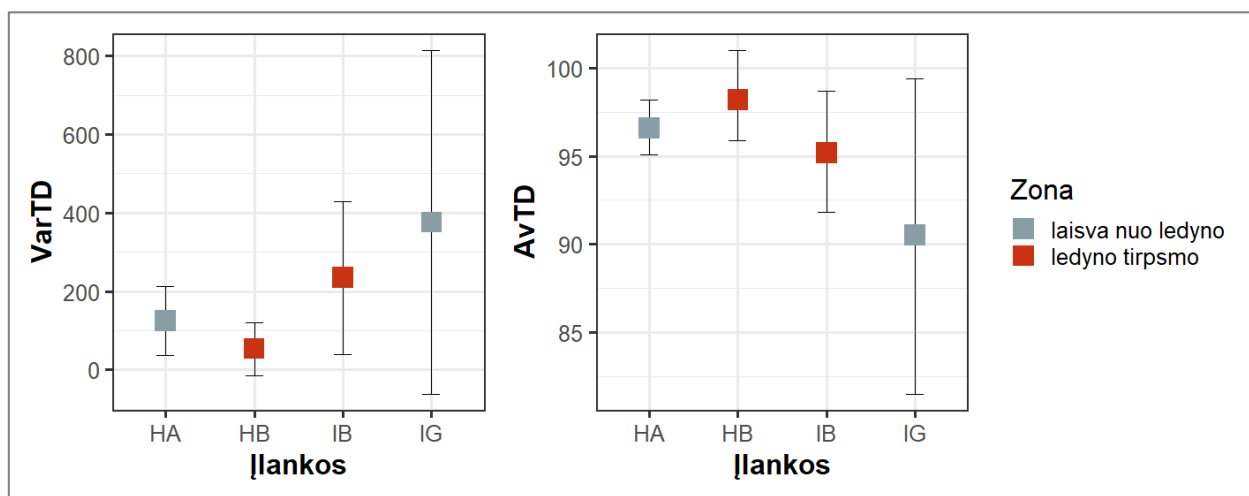
10 pav. Vidutiniai įvairovės indeksai įlankose su 95 % patikimumo intervalais. Adriabukta (HA), Burgerbukta (HB), Borebukta (IB), Gipsvika (IG).

Vidutinis morforūšių skaičius buvo aukštesnis laisvoje nuo ledyno zonoje esančiose įlankose (7 ± 3 transekte) nei ledyno tirpsmo zonoje esančiose įlankose (6 ± 3 transekte), tačiau šis skirtumas buvo statistiškai nereikšmingas ($t = -0,51$, $p > 0,05$). Borebuktoje vidutinis morforūšių skaičius didžiausias – 7 ± 4 morforūšys rastos per transektą. Panašiai morforūšių rasta Adriabuktoje (7 ± 2 transekte). Burgerbuktoje morforūšių įvairovė buvo mažiausia (5 ± 2 transekte), o Gipsvikoje transekte vidutiniškai rastos 7 ± 4 morforūšys. Vis dėlto daugiausia morforūšių rasta Isfjordenio įlankose, Borebuktoje – 23, Gipsvikoje – 18 morforūšių. Hornsundo fjorde esančioje Adriabuktos įlankoje rasta 12 morforūšių, o Burgerbuktoje – 9. Maksimaliai daugiausia, tai yra, iki 13 morforūšių rasta Borebuktos ir Gipsvikos transektose, Adriabuktoje didžiausia įvairovė transekte siekė iki 9 morforūšių, o Burgerbuktoje – 6. Visgi morforūšių skaičiaus skirtumai tarp įlankų statistiškai nereikšmingi (Kruskal-Wallis testas $H = 2,91$, $p > 0,05$). Shannon-Wiener įvairovės indeksas vidutiniškai buvo aukštesnis laisvoje nuo ledyno zonoje esančiose įlankose ($0,73 \pm 0,4$), nei ledyno tirpsmo zonoje ($0,72 \pm 0,4$), tačiau šis skirtumas buvo statistiškai nereikšmingas ($t = -0,08$, $p > 0,05$). Pagal Shannon-Wiener indeksą didžiausia vidutinė įvairovė Adriabuktoje ($0,92 \pm 0,44$) ir

Borebuktoje ($0,85 \pm 0,37$). Mažesnė įvairovė – Burgerbuktos ($0,56 \pm 0,42$) ir Gipsvikos ($0,52 \pm 0,23$) įlankose, tačiau šie skirtumai tarp įlankų yra statistiškai nereikšmingi (ANOVA $F = 1,55$, $p > 0,05$).

Vidutinės Hurlberto indekso reikšmės buvo aukštesnės laisvoje nuo ledyno zonoje esančiose įlankose ($3,64 \pm 2,3$), nei ledyno tirpsmo zonoje ($3,62 \pm 1,8$). Šis skirtumas buvo statistiškai nereikšmingas ($t = -0,02$, $p > 0,05$). Vis dėlto Hurlberto indeksas parodė statistiškai reikšmingus skirtumus tarp įlankų (Kruskal-Wallis testas $H = 11,68$, $p < 0,05$). Adriabukta, turėdama aukščiausią įvairovės indeksą ($5,33 \pm 1,52$), statistiškai reikšmingai skyrėsi nuo mažiausią ($1,6 \pm 0,89$) Hurlberto įvairovės indeksą turinčios Gipsvikos (Duno testas, $p < 0,05$). Borebuktos ($3,94 \pm 2,09$) ir Burgerbuktos ($3,16 \pm 1,29$) įlankos pagal šį indeksą statistiškai reikšmingai nesiskyrė (Duno testas, $p > 0,05$). Vidutinės Pielou indekso reikšmės buvo aukštesnės ledyno tirpsmo zonoje esančiose įlankose ($0,46 \pm 0,25$), nei laisvoje nuo ledyno zonoje ($0,41 \pm 0,21$), tačiau šis skirtumas buvo statistiškai nereikšmingas ($t = 0,47$, $p > 0,05$). Pagal Pielou indeksą morforūšys įlankose statistiškai reikšmingai nesiskiria (ANOVA $F = 0,33$, $p > 0,05$). Pielou tolygumo indeksas yra aukščiausias Borebuktoje ($0,48 \pm 0,22$), o žemiausias Gipsvikoje ($0,36 \pm 0,21$).

Taksonominei įvairovei įlankose nustatyti buvo pasitelkti vidutinio taksonominio išskirtinumo (AvTD) ir taksonominio išskirtinumo variacijos (VarTD) indeksai (11 pav.).



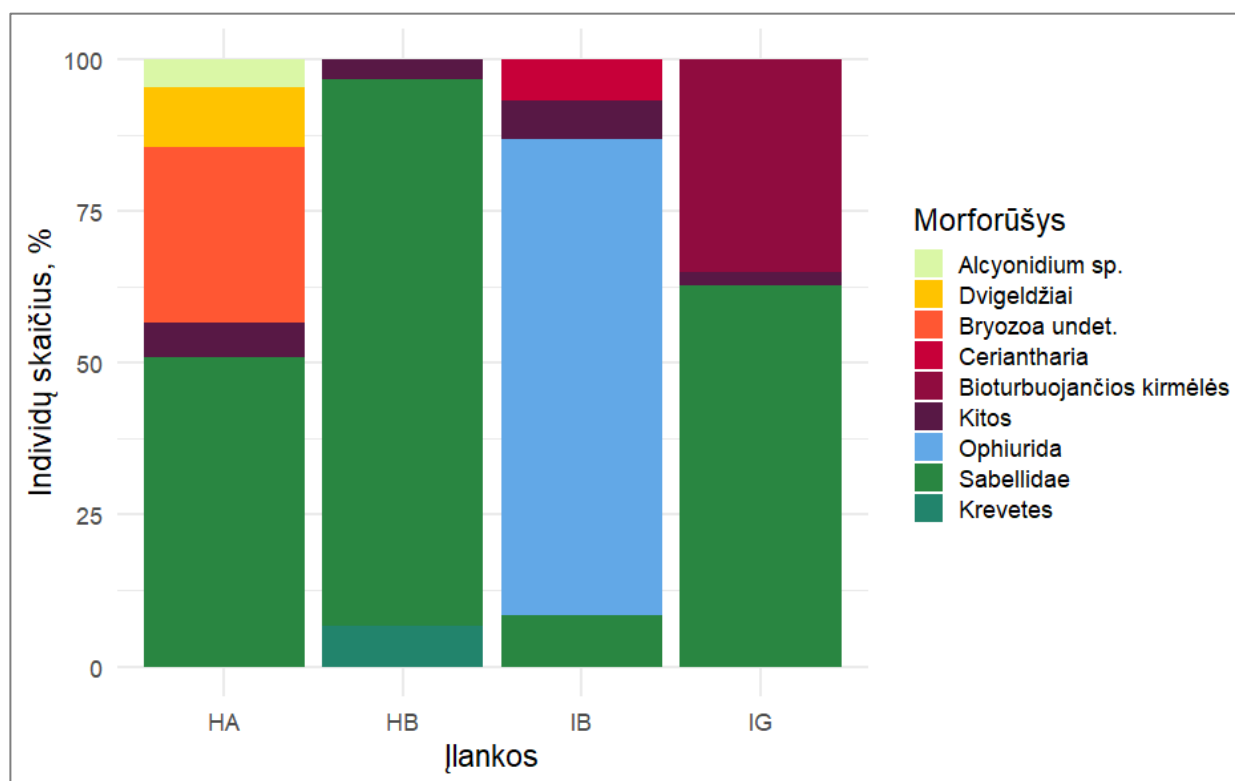
11 pav. Taksonominis morforūšių panašumas tyrimo vietose. Taksonominio išskirtinumo variacija (VarTD) įlankose ir vidutinis taksonominis išskirtinumas (AvTD) su 95 % patikimumo intervalais. Adriabukta (HA), Burgerbukta (HB), Borebukta (IB), Gipsvika (IG).

VarTD vidutinės indekso reikšmės buvo aukštesnės laisvoje nuo ledyno zonoje esančiose įlankose ($239,0 \pm 265,4$), nei ledyno tirpsmo zonoje ($159,2 \pm 184,7$), tačiau šis skirtumas buvo statistiškai nereikšmingas ($W = 48$, $p > 0,05$). Visgi VarTD indekso reikšmės statistiškai reikšmingai

skyrėsi tarp įlankų (Kruskal-Wallis testas $H = 2,91$, $p < 0.05$). Daugumoje įlankų taksonominė variacija buvo panaši, tačiau Gipsvika turėdama aukščiausias variacijos indekso reikšmes ($376,3 \pm 352,5$) statistiškai reikšmingai skyrėsi nuo Burgerbuktos (Duno testas, $p < 0.05$) turinčios žemiausias VarTD reikšmes ($53,3 \pm 54,4$). AvTD vidutinės indekso reikšmės buvo aukštesnės ledyno tirpsmo zonoje esančiose įlankose ($96,5 \pm 3,36$), nei laisvoje nuo ledyno zonoje ($93,8 \pm 5,7$), tačiau šis skirtumas buvo statistiškai nereikšmingas ($W = 89$, $p > 0,05$). Vis dėlto AvTD reikšmės statistiškai reikšmingai skyrėsi tarp įlankų (Kruskal-Wallis testas $H = 7,90$, $p < 0,05$). Skirtumas buvo tarp Gipsvikos ($90,5 \pm 7,2$) ir Burgerbuktos ($98,2 \pm 1,9$) įlankų (Duno testas, $p < 0.05$). Visi analizėje naudoti įvairovės indeksai kiekvienoje transekte pateikti 5 priede.

3.2.3 Makrozoobentos struktūra Vakarų Svalbardo įlankose

Vakarų Svalbardo tyrimo rajone pagal gausumą dominuoja 8 morforūšys: duobagyvių poklasio atstovas *Ceriantharia*, dvigeldžiai, kirmelių atstovės *Sabellidae*, ofiūros, bioturbuojančios kirmėlės, krevetės, samangyviai *Alcyonidium* sp. ir iki žemesnio taksonominio lygmens neidentifikuoti individai (*Bryozoa* undet.) (12 pav.).

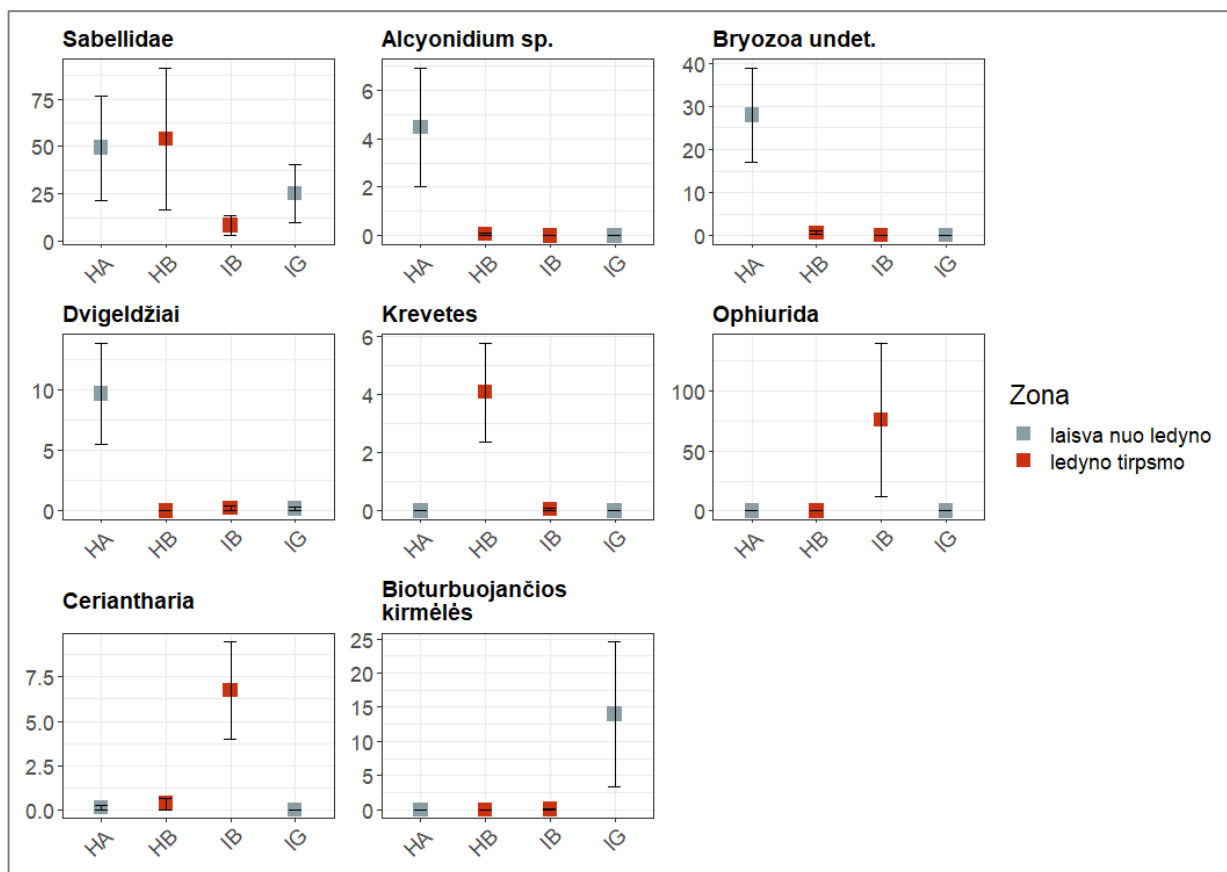


12 pav. Vidutinis morforūšių individų skaičiaus įlankų transektose, procentais.

Adriabuktos, Burgerbuktos ir Gipsvikos įlankose pagal individų santykinį gausumą dominuoja daugiašerės Sabellidae, šiose įlankose sudarydamos daugiau nei 50 % bendro gausumo. Adriabuktoje Sabellidae sudaro 50,8 % (33,1 % $\pm$ 37,6 % transekte), Burgerbuktoje 89,8 % (77,9 % $\pm$ 13,9 % transekte) ir Gipsvikoje 62,8 % (64,7 % $\pm$ 35,4 % transekte) santykinio gausumo tose įlankose. Borebuktos įlankoje dominuoja ofiūros sudarydamos 78,4 % (48,8 % $\pm$ 39,3 % transekte) bendro santykinio individų gausumo šioje įlankoje. Gipsvikoje bioturbuojančios kirmėlės yra antras pagal santykinį gausumą – 35,1 % (29,1 % $\pm$ 39,0 % transekte), o iki smulkesnio taksonominio lygmens neidentifikuoti samangyviai Bryozoa undet. Adriabuktoje sudaro 28,8 % (36,3 % $\pm$ 37,6 % transekte) ir taip pat yra antras pagal santykinį gausumą požymis šioje įlankoje. Borebuktos ir Burgerbuktos įlankose antri pagal dominavimą požymiai nesudaro daugiau nei 8 %: Borebuktoje Sabellidae – 8,4 % (15,8 % $\pm$ 21,7 % transekte), Burgerbuktoje krevetės – 6,8 % (10,9 % $\pm$ 8,9 % transekte). Visų morforūšių santykinis gausumas įlankose pateiktas 6 priede.

Dažniausiai tyrimo rajone sutinkama morforūšis – tai daugiašerės, plunksnažiaunių būrio atstovės Sabellidae, gyvenančios vamzdelio formos namelyje. Jų sutinkamumo dažnis – 79,2 %. Įlankose šios kirmėlės dažniausiai sutinkamos Gipsvikos ir Burgerbuktos transektose 100 %, o Borebuktoje – 71,4 %. Adriabuktoje Sabellidae morforūšis sutinkama rečiausiai – 57,1 %. Tyrimo rajone dažnai randamos gleiviažuvės Liparidae kurių sutinkamumo dažnis – 54,2 %, bei samangyviai – 45,8 %. Gleiviažuvės Liparidae ir samangyviai dažniausiai sutinkami Hornsundo fjordų įlankų transektose, Adriabuktoje (71,4 % ir 85,7 % atitinkamai), Burgerbuktoje (po 60,0 %). Gana dažnai tyrimų rajone randami nežymiai išsikišę dvigeldžiai – 41,7 %, kurie dažniausiai sutinkami Gipsvikos (80 %) ir Adriabuktos transektose (71,4 %). Kitos tyrimų rajone dažnai sutinkamos morforūšys: žuvis Pleuronectiformes (37,5 %), plunksnažiaunės *Chone infundibuliformis* (33,3 %), kirmėlinės aktinijos Ceriantharia (29,2 %), krabas atsiskyrėlis *Pagurus pubescens* (29,2 %), krevetės (29,2 %), samangyviai *Alcyonidium* sp. (29,2 %), ofiūros (29,2 %). Tik vienoje transekte buvo rasta 10 morforūšių iš 23: koralinis polipas aktinija *Halccampa* sp., hidragyvis *Ptychogastria polaris*, dvigeldžiai moliuskai *Similipecten greenlandicus*, daugiašerės kirmėlės *Bispira fabricii*, *Ampharete* sp., ir *Phyllodoce* sp., jūrų žvaigždės *Urasterias lincki*, ir *Lophaster furcifer*, skorpenžuvė *Myoxocephalus* ir kitos žuvis. Ofiūros (Ophiurida) buvo sutinkamos visose Borebuktos transektose. Adriabuktoje nebuvo morforūšių kurios būtų sutinkamos visose transektose, tačiau dažniausiai sutinkami (85,7 % sutinkamumas) samangyviai Bryozoa undet., ir *Alcyonidium* sp. Visose Gipsvikos įlankos transektose buvo sutinkamos Sabellidae, taip pat dažnai sutinkami dvigeldžiai ir bioturbuojančios kirmėlės (80 %). Krevetės ir Sabellidae morforūšys rastos visose Burgerbuktos transektose (8 priedas).

Bendras vidutinis individų gausumas didžiausias Borebuktos (97 ± 53 ind. trans^{-1}) ir Adriabuktos įlankose (97 ± 56 ind. trans^{-1}). Burgerbuktoje bendras individų gausumas siekė 60 ± 88 ind. trans^{-1} , o Gipsvikoje buvo mažiausias – 40 ± 37 ind. trans^{-1} . Šiose Vakarų Svalbardo įlankose 8 dominuojančios morforūšys pasiskirsto netolygiai ir dauguma jų dominuoja vienoje iš įlankų (13 pav.).



13 pav. Tyrimo vietoje dominuojančių morforūšių vidutinis pasiskirstymas įlankose

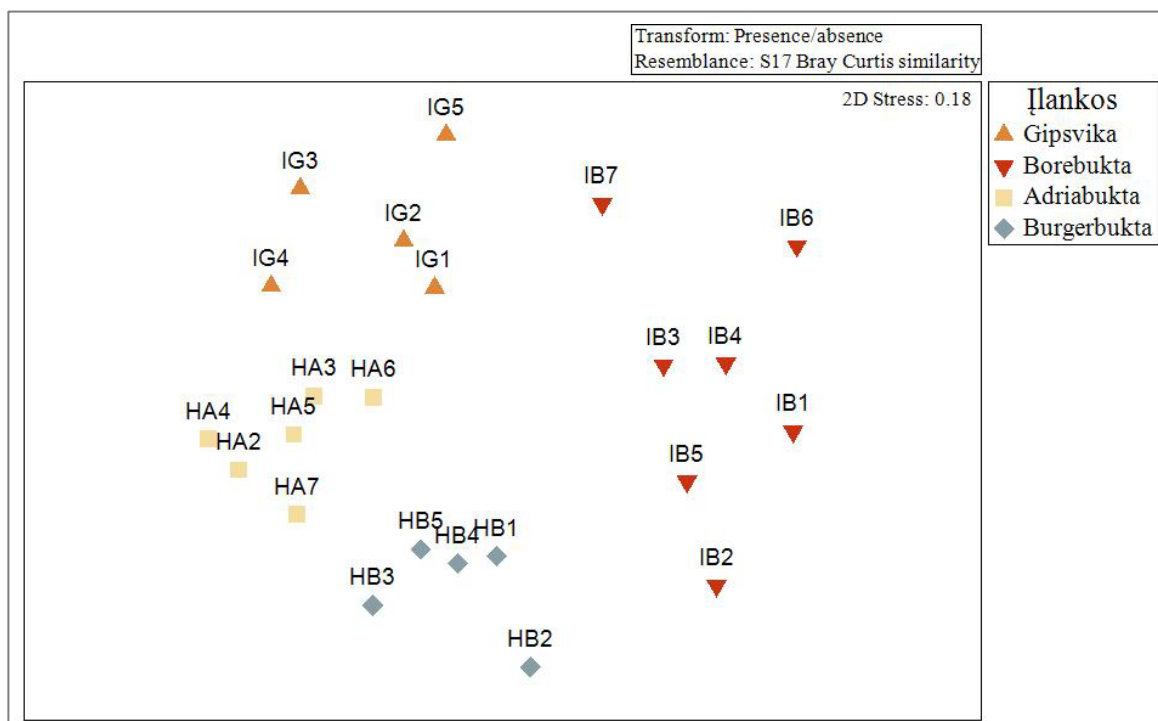
Išimtis – Sabellidae rūšis, kuri dominuoja Adriabuktos, Burgerbuktos ir Gipsvikos įlankose. Burgerbuktoje ši daugiašerė sudaro didžiausią vidutinį gausumą (54 ± 84 ind. trans^{-1}), palyginti su kitomis įlankomis: Adriabukta (49 ± 68 ind. trans^{-1}), Gipsvika (25 ± 34 ind. trans^{-1}), mažiausias Sabellidae gausumas Borebuktoje (8 ± 14 ind. trans^{-1}), tačiau skirtumai tarp įlankų yra statistiškai nereikšmingi (Kruskal-Wallis testas $H = 4,2$ $p > 0,05$). Sabellidae gausumas šių įlankų transektose kito nuo 0 iki 204 individų. Sėklių samangyvių *Alcyonidium* sp. (Kruskal-Wallis testas $H = 18,6$ $p < 0,05$) ir kitų neidentifikuotų Bryozoa undet. (Kruskal-Wallis testas $H = 16,7$ $p < 0,05$) individų gausumas statistiškai reikšmingai skyrėsi tarp įlankų – ir buvo didžiausias ledyno tirpsmo neveikiamoje Adriabuktoje. Pagal *Alcyonidium* sp. morforūšies individų gausumą (5 ± 6 ind. trans^{-1}) Adriabuktos

įlanka statistiškai reikšmingai skyrėsi nuo visų likusių įlankų (Duno testas, $p < 0,05$). Adriabuktoje šių samangyvių individų gausumas varijavo nuo 0 iki 14, palyginimui Bryozoa undet. gausumas šioje įlankoje varijavo nuo 2 iki 68 individų transekte. Neidentifikuotų Bryozoa undet. individų gausumas statistiškai reikšmingai skyrėsi tarp Adriabuktos (28 ± 27 ind. trans⁻¹) ir dviejų Isfjordenio įlankų: Borebuktos ($0,02 \pm 0,05$ ind. trans⁻¹), ir Gipsvikos ($0,01 \pm 0,03$ ind. trans⁻¹) (Duno testas, $p < 0,05$). Dvigeldžių gausumas taip pat statistiškai reikšmingai skyrėsi (Kruskal-Wallis testas $H = 12,9$ $p < 0,05$). Adriabuktos įlankoje dvigeldžių gausumas buvo didžiausias (10 ± 10 ind. trans⁻¹) ir kito nuo 0 iki 25 individų transekte. Duno testas, $p < 0,05$ parodė, jog statistiškai reikšmingas skirtumas buvo tarp Adriabuktos ir šalia tirpstančio ledyno esančių Borebuktos ($0,2 \pm 0,6$ ind. trans⁻¹) ir Burgerbuktos (dvigeldžių neaptikta) įlankų. Judrios morforūšys krevetės ir ofiūros buvo gausiausios šalia tirpstančio ledyno esančiose įlankose. Vidutinis krevečių gausumas buvo statistiškai reikšmingai (Kruskal-Wallis testas $H = 17,9$ $p < 0,05$) didžiausias Burgerbuktoje (4 ± 4 ind. trans⁻¹) daugiausia jų iki 10 transekte. Burgerbuktos įlanka statistiškai reikšmingai skyrėsi nuo kitų tyrimo rajone esančių įlankų (Duno testas, $p < 0,05$). Ofiūrų gausumas statistiškai reikšmingai skyrėsi tarp įlankų (Kruskal-Wallis testas $H = 12,9$ $p < 0,05$). Statistiškai reikšmingas skirtumas pagal ofiūrų gausumą buvo tarp Borebuktos ir kitų tyrimo rajone esančių įlankų (Duno testas, $p < 0,05$). Vidutinis ofiūrų gausumas Borebuktoje (76 ± 169 ind. trans⁻¹) – jų gausumas kito nuo 0 iki 458 ofiūrų transekte, o kitose įlankose ofiūrų buvo visai neaptikta. Kirmėlinės aktinijos Ceriantharia gausumas statistiškai reikšmingai skyrėsi (Kruskal-Wallis testas $H = 9,1$ $p < 0,05$). Ceriantharia buvo gausiausios Borebuktos įlankoje, jų vidutinis gausumas – 7 ± 7 ind. trans⁻¹ – kuris kito nuo 0 iki 17 individų transekte. Statistiškai reikšmingas skirtumas buvo tarp Borebuktos (7 ± 7 ind. trans⁻¹) ir Gipsvikos įlankos, kurioje Ceriantharia individų nebuvo sutikta (Duno testas, $p < 0,05$). Bioturbuojančios kirmėlės buvo gausiausios Gipsvikos įlankoje (14 ± 24 ind. trans⁻¹) ir kito nuo 0 iki 55 individų transekte. Bioturbuojančių kirmėlių gausumas statistiškai reikšmingai skyrėsi tarp įlankų (Kruskal-Wallis testas $H = 11,8$ $p < 0,05$). Statistiškai reikšmingi skirtumai pastebėti tarp Gipsvikos ir Burgerbuktos bei Adriabuktos įlankų esančių Hornsundo fjorde, kuriose šis požymis nebuvo aptiktas. Visų morforūšių vidutinis ir maksimalus individų gausumas pateiktas 9 priede.

3.2.4 Makrozoobentosos panašumas įlankose ir transektose

Panašumui tarp Vakarų Svalbardo stočių nustatyti atlikta daugiamatės skalės analizė (MDS). Šios analizės rezultatai parodė, jog visos 4 įlankos pagal morforūšių buvimą-nebuvimą skiriasi viena nuo

kitos pagal 4 grupes, kurios taip pat atitinka tirtas įlankas: Gipsvika, Borebukta, Adriabukta ir Burgerbukta (14 pav.).



14 pav. Daugiamatės skalės (MDS) diagrama išskirianti įlankų transektas pagal panašumą. Tikslų paklaida = 0,18.

Dugno organizmų skirtumus nulemtus įlankų taip pat patvirtina neparametrinio testo ANOSIM rezultatai, kurie parodė jog įlankos tarpusavyje statistiškai reikšmingai skiriasi (Global ANOSIM R: 0,758, $p = 0,001$) (3 lentelė).

3 lentelė. Tirtų įlankų panašumo pagal dugno organizmų pasiskirstymą įlankų transektose neparametrinio testo ANOSIM rezultatai (R – ANOSIM statistinė reikšmė, p – tikimybė).

Įlankos	R	p
Gipsvika, Borebukta	0,803	0,001
Gipsvika, Adriabukta	0,608	0,002
Gipsvika, Burgerbukta	0,778	0,008
Borebukta, Adriabukta	0,952	0,003
Borebukta, Burgerbukta	0,825	0,001
Adriabukta, Burgerbukta	0,895	0,002

Nepaisant to, kad 3 lentelėje matomi skirtumai tarp įlankų yra statistiškai reikšmingi, panašiausios įlankos pagal jose esančias morforūšis (R reikšmė arčiausiai 0) yra laisvojoje nuo ledyno zonoje esančios Gipsvikos ir Adriabuktos įlankos (Global ANOSIM R: 0,608; $p = 0,002$). Labiausiai skiriasi Adriabuktos įlankoje esančios morforūšys su morforūšimis įlankose, esančiose tirpstančio ledyno zonoje: Borebuktos (Global ANOSIM R: 0,952; $p = 0,003$) bei Burgerbuktos įlankų morforūšys (Global ANOSIM R: 0,895; $p = 0,002$). Atlikus ANOSIM panašumo analizę pagal įlankų išsidėstymą fjorduose, rezultatai parodė jog geografiniai skirtumai tarp Hornsundo ir Isfjordenų fjordų yra taip pat statistiškai reikšmingi, nors ir silpni (Global ANOSIM R: 0,398; $p = 0,001$), ir skirtumas tarp įlankų esančių laisvojoje nuo ledynų ir esančių besitraukiančio ledyno zonoje yra vidutinis ir statistiškai reikšmingas (Global ANOSIM R: 0,501; $p = 0,001$).

Dominuojančių morforūšių įvertinimui, MDS analizės metu išskirtose grupėse, atlikta SIMPER panašumų procentų analizė, kuri parodė, jog 12 morforūšių yra atsakingos už 9 pav. pavaizduotus grupių išsiskyrimus. Vidutinis Bray Curtiso panašumas tarp Gispvikos įlankos transektų yra 44,3. Šis panašumas daugiausia sudarytas iš 3 morforūšių: Sabellidae (17,47, t.y., 39,4 %), dvigeldžių (11,82, t.y., 26,7 %) ir bioturbuojančių kirmėlių (8,84, t.y., 19,9 %) (4 lentelė).

4 lentelė. SIMPER analizės rezultatai pagal morforūšių buvimą-nebuvimą keturiose Vakarų Svalbardo įlankose.

	Vidutinis sutinkamumas	Vidutinis panašumas	Indėlis, %	Sukauptasis indėlis, %
Gipsvika				
Sabellidae	1	17,47	39,4	39,4
Dvigeldžiai	0,8	11,82	26,65	66,05
Bioturbuojančios kirmėlės	0,8	8,84	19,94	85,99
Borebukta				
Ophiurida	1	15,1	33,6	33,6
<i>Euchone</i> sp.	0,86	10,22	22,73	56,33
Ceriantharia	0,71	6,53	14,54	70,87
Sabellidae	0,71	5,77	12,85	83,71
Adriabukta				
<i>Alcyonidium</i> sp.	1	14,4	19,89	19,89
Bryozoa undet.	1	14,4	19,89	39,79
Dvigeldžiai	0,83	9,61	13,28	53,06
<i>Chone infundibuliformis</i>	0,83	9,61	13,28	66,34
Liparidae	0,83	9,61	13,28	79,62
Pleuronectiformes	0,67	5,56	7,68	87,3

4 lentelės tęsinys

	Vidutinis sutinkamumas	Vidutinis panašumas	Indėlis, %	Sukauptasis indėlis, %
Burgerbukta				
Sabellidae	1	23,63	36,14	36,14
Krevetės	1	23,63	36,14	72,28
Bryozoa undet.	0,6	6,44	9,86	82,14

Tarp Borebuktos transektų yra 44,9 % panašumas. Šioje įlankoje tipinės morforūšys: Ophiurida (15,1, t.y., 33,6 %), *Euchone* sp. (10,2, t.y., 22,7 %), Ceriantharia (6,5, t.y., 14,5 %), Sabellidae (5,8, t.y., 12,9 %). Hornsundo fjorde panašumas tarp transektų yra kiek didesnis, Adriabuktoje – 72,4 %, o Burgerbuktoje – 65,4 %. Adriabuktoje vyrauja 6 morforūšys – tai kiek daugiau nei kitose įlankose. Samangyviai *Alcyonidium* sp. ir Bryozoa undet. sudarė 14,4 panašumo, tai yra, 19,9 %, toliau ėjo dvigeldžiai sudarydami 9,6 panašumo (13,3 %), daugiašerės *Chone infundibuliformis* sudarė 13,3 %, žuvis gleiviažuvės taip pat sudarė (13,3 %), plekšniažuvės Pleuronectiformes (7,7 %). Burgerbuktoje kaip ir Gipsvikoje viena iš tipinių morforūšių apibūdinančių šią įlanką yra Sabellidae (36,1 %). Krevetės taip pat yra viena tipiškiausių morforūšių Burgerbuktoje (36,1 %), kartu su Bryozoa undet. (9,9 %). Sabellidae rūšis buvo sutinkama visose Gipsvikos ir Burgerbuktos stotyse, Ophiurida sutikta visose Borebuktos stotyse, samangyviai *Alcyonidium* sp. ir Bryozoa undet. visose Adriabuktos stotyse, o krevetės – sutiktos visose Burgerbuktos stotyse.

Rūšių asociacijai su kiekvienu klasteriu ir transekta įvertinti apskaičiuotas IndVal indeksas. IndVal analizės metu aptikta 15 potencialių morforūšių indikatorių iš 33 tyrimo vietoje aptiktų morforūšių, kurios vieną iš įlankų ar keletą jų laiko priimtinesne buveine. 12 morforūšių statistiškai reikšmingai asocijuojamos su viena iš įlankų. Su Gipsvikos įlanka vidutiniškai stipriai asocijuojamos bioturbuojančios kirmėlės (0,634, $p < 0,05$). Keturios morforūšys statistiškai reikšmingai asocijuojamos su Borebuktos transekta, labai stipriai Ophiurida (0,902, $p < 0,05$) asocijuojamos su šia įlanka, stipri *Euchone* sp. (0,742, $p < 0,05$) ir Ceriantharia (0,664, $p < 0,05$), ir silpna su *Ptychogastria polaris* rūšimi (0,305, $p < 0,05$). Su Adriabuktos įlanka statistiškai reikšmingai asocijuojamos 6 morforūšys: labai stipri asocijacija su samangyviais *Alcyonidium* sp. (0,810, $p < 0,05$) ir kitais neidentifikuotais Bryozoa undet. individais (0,944, $p < 0,05$), taip pat dvigeldžiais (0,819, $p < 0,05$), stipriai asocijuojamos su *C. infundibuliformis* (0,709, $p < 0,05$), silpnė nei vidutinė asocijacija Porifera (0,408, $p < 0,05$) ir silpna asocijacija su iki smulkesnio taksono neidentifikuotomis Pisces (0,289, $p < 0,05$). Vienintelė krevečių morforūšis labai stipriai asocijuojama su Burgerbuktos įlanka, ši asocijacija statistiškai reikšminga (0,921, $p < 0,05$). Dvi morforūšys asocijuojamos su dviem

Adriabuktos ir Burgerbuktos įlankom – tai Liparidae šeimos (0,672, $p < 0,05$) ir Pleuronectiformes būrio žuvys (0,466, $p < 0,05$). Sabellidae labai stipriai asocijuojama su Gipsvikos, Adriabuktos ir Burgerbuktos įlankomis, ši asociacija statistiškai reikšminga (0,895, $p < 0,05$).

Atlikus IndVal analizę kiekvienai įlankai gauti rezultatai parodė, jog tam tikros morforūšys statistiškai reikšmingai asocijuojamos su viena ar keletu transektų (5 lentelė).

5 lentelė. Morforūšys indikatorės, kurios turėjo statistiškai reikšmingą asociaciją su viena ar keletu transektų. A – tikimybė, jog visos įlankos mozaikos, turinčios šią morforūšį, atsidurs nurodytoje transektoje ar transektų grupėje. B – tikimybė, jog visos transektos ar jų grupės turės šį požymį. IndVal – morforūšies asociacijos indeksas. A ir B dedamosios bei IndVal indeksas gali kisti nuo 0 iki 1.

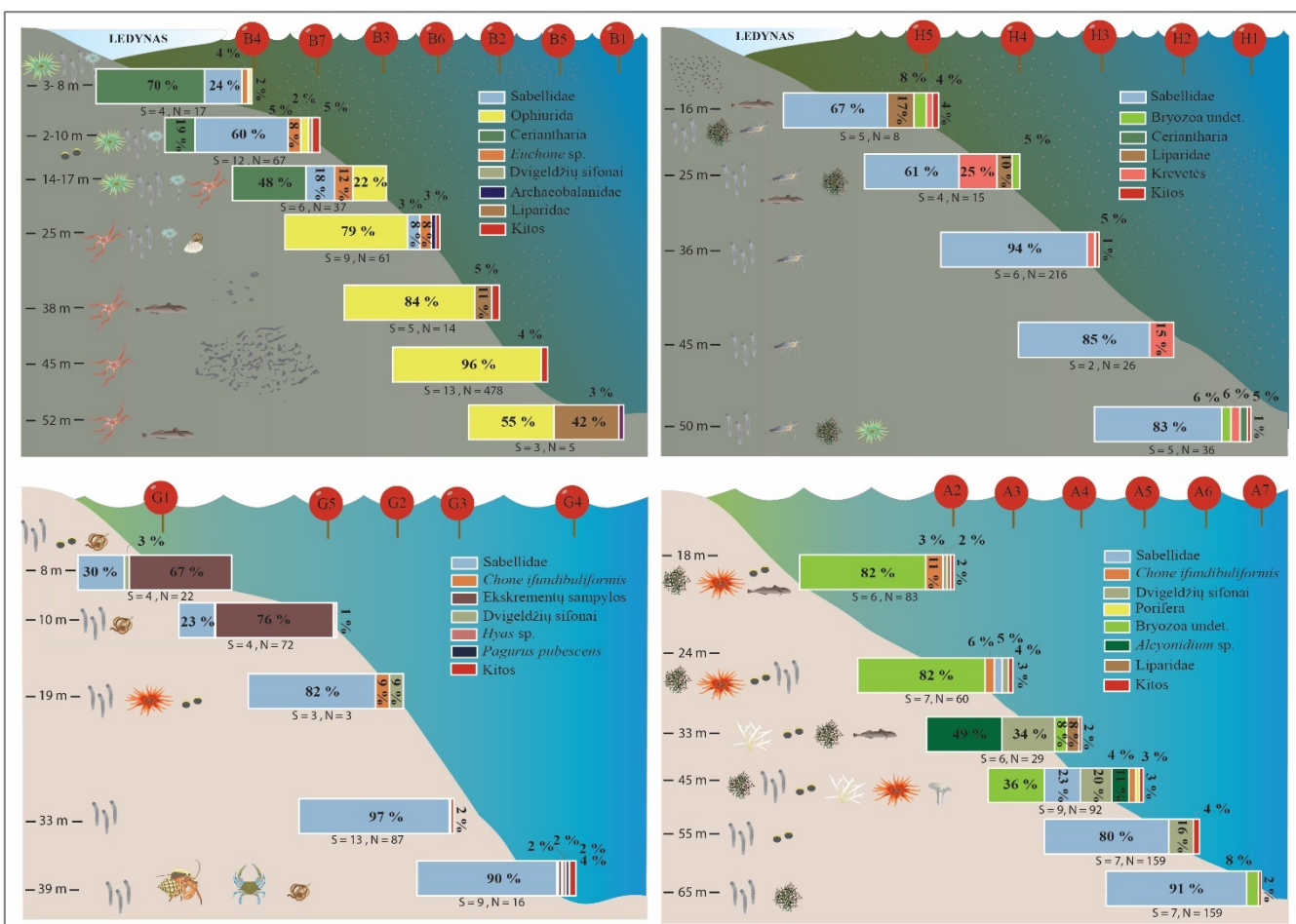
Įlanka	Transektos	Morforūšis	A	B	IndVal
Gipsvika	G5	Bioturbuojančios kirmėlės	0,788	1	0,888
	G5	<i>Halcampa</i> sp.	1	0,25	0,5
	G3	Sabellidae	0,684	1	0,827
	G3+G4	<i>Hyas</i> sp.	1	0,3	0,548
	G3+G5	<i>Pagurus pubescens</i>	1	0,3	0,548
Borebukta	B5	<i>Similipecten greenlandicus</i>	1	0,667	0,816
	B5	<i>Ptychogasteria polaris</i>	1	0,667	0,816
	B6	<i>Urasterias lincki</i>	1	0,8	0,894
	B7	Dvigeldžiai	1	0,857	0,926
	B1+B2	Liparidae	0,88	0,9	0,89
	B3+B4+B7	Ceriantharia	0,903	0,818	0,859
	B3+B6+B7	Sabellidae	0,902	1	0,95
	B2+B5+B6+B7	Ophiurida	0,979	1	0,99
	B3+B5+B6+B7	<i>Euchone</i> sp.	0,961	0,88	0,912
Adriabukta	A5	Pisces	1	0,667	0,816
	A2+A4+A5	<i>Alcyonidium</i> sp.	0,956	1	0,978
	A4+A5+A6	Dvigeldžiai	0,924	1	0,961
	A5+A6+A7	Sabellidae	0,99	1	0,995
	A2+A3+A5+A6	<i>Chone ifundibuliformis</i>	0,987	0,8	0,889
	A2+A4+A5+A7	Liparidae	0,965	0,824	0,891
Burgerbukta	H1+H2+H3+H4	Krevetės	0,984	1	0,992

Gipsvikoje stipriausia statistiškai reikšminga asociacija buvo bioturbuojančių kirmėlių su G5 transekta (0,888, $p < 0,05$) bei Sabellidae morforūšis, kurios stipriausia asociacija su G3 transekta (0,827, $p < 0,05$). Borebuktoje Sabellidae morforūšis labai stipriai statistiškai reikšmingai asocijavosi su B3, B6, B7 transektų grupe (0,95, $p < 0,05$). Ophiurida morforūšis su B2, B5, B6, B7 transektų grupe sieja labai stipri statistiškai reikšminga asociacija (0,99, $p < 0,05$), taip pat ir *Euchone* sp. morforūšis

stipriai statistiškai reikšmingai asocijuojasi su B3, B5, B6 ir B7 (0,912, $p < 0,05$) transektų grupe. Adriabuktoje labai stipri asociacija yra *Alcyonidium* sp. A2, A4, A5 transektų grupėje (0,978, $p < 0,05$), dvigeldžių A4, A5, A6 (0,961, $p < 0,05$) ir Sabellidae A5, A6, A7 (0,995, $p < 0,05$) transektų grupėse. Burgerbuktoje vienintelė, tačiau labai stipri ir statistiškai reikšminga asociacija yra krevečių H1, H2, H3, H4 transektų grupėje (0,992, $p < 0,05$).

Taip pat šis indeksas parodo indikatorines morforūšis, kurios retai pasitaiko įlankoje ir tyrimų rajone. Tokių morforūšių pavyzdys yra *Halcompa* sp, kuri buvo sutinkama tik G5 Gipsvikos transekte (A = 1), tačiau ne visose tos transektos mozaikose (B = 0,25). Keletas retai tyrimų rajone sutinkamų morforūšių buvo aptiktos tik vienoje iš Borebuktos transektų, *Similipecten greenlandicus* ir *Ptychogastria polaris* aptiktos tik B5 transekte, *Urasterias lincki* aptikta tik B6 transekte, o dvigeldžiai Borebuktoje rasti tik B7 transekte (A = 1). Visos Adriabuktoje rastos neidentifikuotos žuvys Pisces buvo rastos A5 transekte (A = 1). Kai kurios morforūšys sutinkama tik tam tikroje įlankos transektų grupėje ir niekur kitur toje įlankoje: *Hyas* sp, sutinkama G3 ir G4 transektose, *Pagurus pubescens* sutinkama tik G3 ir G5 transektose (A = 1).

IndVal indeksas yra gana glaudžiai susijęs su rūšių gausumu. Borebuktos indikatorinė morforūšis Ophiurida yra pagal santykinį gausumą dominuojanti morforūšis B6 (79 %), B2 (84 %), B5 (96 %), B1 (55 %) transektose 25 – 52 metrų gylyje (15 pav.).

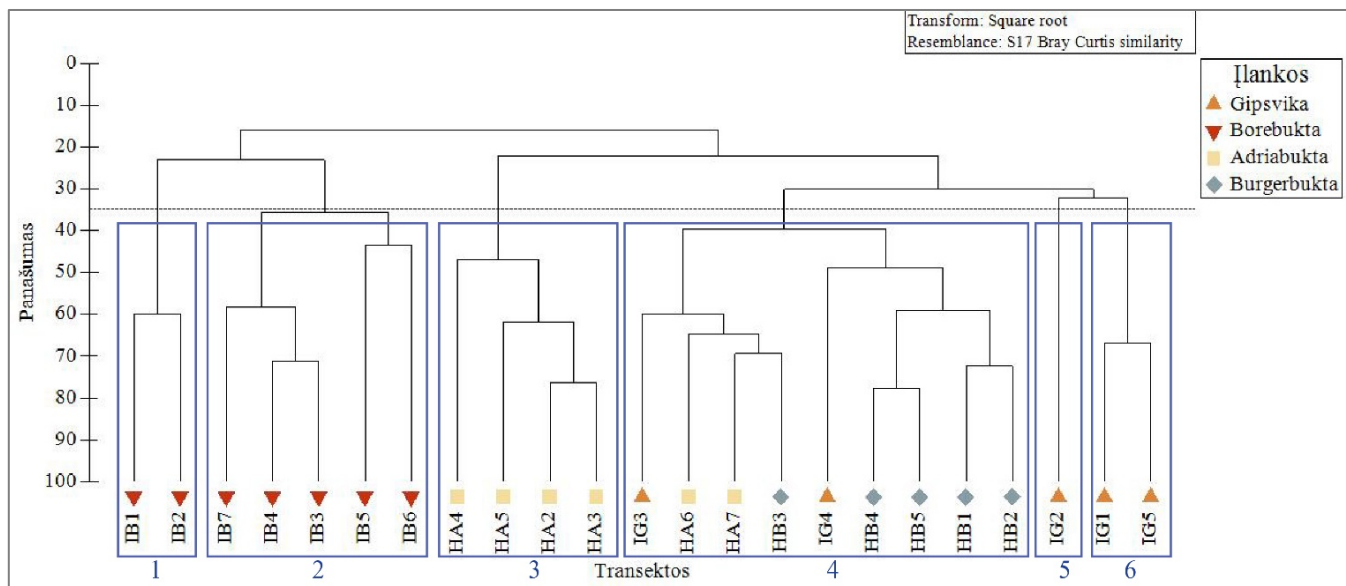


15 pav. Infografikas, vaizduojantis santykinę dažniausių morforūšių pasiskirstymą transektose, kairėje nurodomi transektų gyliai. S – morforūšių skaičius transekte, N – vidutinis suminis individų gausumas.

Ceriantharia morforūšis Borebuktos stotyje dominavo seklesniame gylyje 3 – 8 m esančioje B4 transekte (70 %), tačiau panašiam gylyje (2 – 10 m), toliau nuo tirpstančio ledyno esančioje B7 transekte dominuoja Sabellidae (60 %). Burgerbuktoje Sabellidae morforūšis dominuoja visose transektose H5 (67 %), H4 (61 %), H3 (94 %), H2 (85 %), H1 (83 %). Sekliau esančiose (8 – 10 m) Gipsvikos transektose dominuoja bioturbuojančios kirmėlės G1 (67 %), G5 (76 %). Nuo 19 m gylio Gipsvikos transektose pradeda dominuoti Sabellidae morforūšis G2 (82 %), G3 (97 %), G4 (90 %). Adriabuktoje iki 45 m gylio didžiausią santykinę gausumą sudaro sėslūs samangyviai, neidentifikuoti Bryozoa undet. individai A2 ir A3 transektose sudaro po 82 %. A4 transekte dominuoja *Alcyonidium* sp., sudarydami 49 %, ir dvigeldžiai (34 %). 45 m gylyje esančioje A5 transekte dominuoja neidentifikuoti Bryozoa undet. individai (36 %), Sabellidae (23 %) ir dvigeldžiai (20 %). Giliausiose Adriabuktos įlankos transektose dominuoja Sabellidae A6 (80 %), A7 (91 %).

3.2.5 Bendrijų įlankose išskyrimas

Pagal hierarchinės klasterinės analizės rezultatus, transektos išsiskyrė į 6 grupes, o jose dominavo 4 pagrindinės bendrijos (16 pav.).



16 pav. Hierarchinės klasterinės analizės dendrograma pagal morforūšių gausumą. Horizontali punktyrinė linija rodo 6 grupių išsiskyrimą pagal 35 % panašumo lygmenį. Išskirtos grupės pažymėtos mėlyna spalva.

Morforūšys, sudarančios bendriją buvo laikomos tos, kurios hierarchinėje klasterinėje dendogramoje išsiskyrusiose grupėse sudarė daugiau nei 70 % bendro santykinio gausumo grupėje. Hierarchinė klasterinė analizė išskyrė 1 ir 5 grupes, kurios pasižymėjo mažu individų kiekiu, todėl išskyrinėjant bendrijas jos buvo prijunktos prie tų grupių, kurios buvo panašiausios savo morforūšine sudėtimi. Išskiriant bendrijas taip pat buvo atsižvelgta į morforūšių sutinkamumą, SIMPER analizę (4 lentelė), bei santykinį jų gausumą tiriamajame rajone. Vakarų Svalbardo tiriamąjį rajoną kolonizuojančios 4 bendrijos: ofiūrų, Samangyvių ir dvigeldžių, Sabellidae ir bioturbuojančių kirmėlių.

Ofiūrų bendrija

Pagal šią bendriją dendogramoje išsiskyrė 1 – 2 grupės – tai visos Borebuktos įlankoje esančios transektos, kuriose dominuoja ofiūros. Ofiūrų bendrijoje 1 grupėje ofiūros vidutiniškai sudarė 75,4 % viso makrozoobentos santykinio gausumo, o transektose varijavo nuo 53,1 % iki 84,9 %. Kitos

morforūšys šios grupės transektose sudarė nuo 46,9 % iki 61,1 % santykinio gausumo. 2 grupėje Ofiūrų bendrijoje ofiūros vidutiniškai sudarė 78,5 % viso makrozoobentosos santykinio gausumo ir varijavo nuo 1,4 % iki 95,9 %. Kitos morforūšys 2 grupės transektose sudarė nuo 4,1 % iki 98,6 % santykinio gausumo. Seklesnėse 2 grupės transektose, kuriose yra mažas ofiūrų gausumas (B4 ir B3) dominuoja Ceriantharia šiose transektose atitinkamai sudarydama 70,3 % ir 47,5 % ir Sabellidae B7 transekte sudarydama 60 % bendro gausumo. 2 grupė pasižymi didesniu vidutiniu ophiūrų individų skaičiumi (104 ± 199 ind. trans^{-1}), nei 1 grupė (7 ± 6 ind. trans^{-1}). Ofiūrų bendrijai būdinga *Euchone* sp.morforūšis, nors negausiai ($3,3 \pm 3$ ind. trans^{-1}), tačiau sutinkama visose transektose išskyrus vieną – B2, taip pat Ceriantharia morforūšis ($6,7 \pm 7,3$ ind. trans^{-1}) sutinkama visose transektose išskyrus B1 ir B6 ir Pycnogonida, kurios sutinkamumo dažnis – 57,1 % šioje bendrijoje. Vienintelėje visame tyrimo rajone, B5 transekte, sutinkamas dvigeldis *Similipecten greenlandicus* ir hidragyvis *Ptychogastria polaris*, kurių vidutiniai gausumai šioje transekte 2 ± 2 ind. trans^{-1} ir $2,3 \pm 2,4$ ind. trans^{-1} atitinkamai. Taip pat, daugelyje B6 transektos mozaikose sutikta jūros žvaigždė *Urasterias lincki* $0,8 \pm 0,5$ ind. trans^{-1} .

Samangyvių ir dvigeldžių

Sekliau esančiose Adriabuktos transektose (iki 55 m) dominuoja Bryozoa undet. ir dvigeldžių bendrija, kurioje Bryozoa undet. ir dvigeldžiai sudarė 70,5 % bendro santykinio gausumo trečioje dendogramos grupėje. Transektose Bryozoa undet. ir dvigeldžiai varijavo nuo 41,7 % iki 86,5 % santykinio gausumo. Bryozoa undet. ir dvigeldžių gausumas – 46 ± 24 ind. trans^{-1} . Kitos morforūšys samangyvių ir dvigeldžių bendrijos transektose sudarė nuo 13,5 % iki 58,3 % santykinio gausumo. Visose šios bendrijos transektose sutinkamas samangyvis *Alcyonidium* sp., kurio vidutinis gausumas bendrijoje 6 ± 7 ind. trans^{-1} . Taip pat visose bendrijos transektose aptinkama *Chone infundibuliformis* 4 ± 4 ind. trans^{-1} ir Liparidae $1 \pm$ ind. trans^{-1} .

Sabellidae bendrija

Beveik pusė tyrimo rajone esančių transektų pateko į 4 grupę, kuri išsiskyrė Sabellidae bendrija. Į šią grupę pateko po dvi giliausias transektas iš laisvose nuo ledynų zonose esančių Gipsvikos ir Adriabuktos įlankų bei visos Burgerbuktos transektos. Sabellidae bendrijoje Sabellidae morforūšis šioje grupėje sudarė 88,8 % viso santykinio gausumo, o transektose varijavo nuo 61,7 % iki 98,0 % santykinio gausumo. Vidutinis Sabellidae bendrijos gausumas – $71,2 \pm 72,3$ ind. trans^{-1} . 5 grupėje esanti Gipsvikos G2 transekta taip pat išsiskyrė pagal Sabellidae gausumą, kuris šioje transekte

sudarė 81,8 %, tačiau ši transekta taip pat pasižymėjo mažu individų kiekiu, kurių bendras gausumas transekte – 3 individai. Kitos morforūšys bendrijos transektose sudarė nuo 2,0 % iki 39,3 % santykinio gausumo. Dažnai tačiau negausiai šioje bendrijoje aptinkamos žuvis, *Pleuronectiformes* 77 % aptinkamumas bendrijoje ($0,3 \pm 0,3$ ind. trans⁻¹) ir *Liparidea* morforūšis, kurios aptinkamumas 66,7 % ($0,5 \pm 0,6$ ind. trans⁻¹).

Bioturbuojančių kirmėlių bendrija

Sekliausiose, iki 10 m gylyje esančiose Gipsvikos transektose dominuoja bioturbuojančios kirmėlės apie kurias indikuoja biofizinis ekskrementų sampylos požymis. Bioturbuojančių kirmėlių bendrijoje bioturbuojančios kirmėlės sudarė 74,3 % viso santykinio gausumo 6 grupėje, o transektose variavo nuo 66,8 % iki 76,5 % santykinio gausumo. Vidutinis bioturbuojančių kirmėlių gausumas – 35 ± 29 ind. trans⁻¹. Kitos morforūšys bendrijos transektose sudarė nuo 23,5 % iki 33,9 % santykinio gausumo. Visose bioturbuojančių kirmėlių bendrijos transektose sutinkama *Sabellidae* (12 ± 7 ind. trans⁻¹) ir dvigeldžiai ($0,3 \pm 0,4$ ind. trans⁻¹).

IV. TYRIMO REZULTATŲ APTARIMAS

Vienas pagrindinių bendrijų ekologijos tikslų – išskirti bendrijas, jas charakterizuoti ir interpretuoti gautus rezultatus pagal galimus pokyčius aplinkoje. Ekologai naudoja keletą skirtingų būdų apibūdinti bendrijas: 1) fiziškai, apibūdinant buveinių ribas, 2) taksonomiškai, apibūdinant dominuojančias indikatorines rūšis, 3) interaktyviai, pagal egzistuojančias sąveikas tarp rūšių ir 4) statistiškai, analizuojant aplinkos sąveiką tarp rūšių (Morin, 2009). Kol kas nėra tokios analizės, kurią atliekant būtų atsižvelgta į visus šiuos būdus, todėl neretai naudojama keletas tokių analizių kombinacijų. Šiame darbe naudojant hierarchinės klasterinės analizės dendrograma buvo išskirtos 4 bendrijos (ofiūrų; samangyvių ir dvigeldžių; Sabellidae; bioturbuojančių kirmėlių), kurios figūravo ir kitose bendrijų analizės rezultatuose (SIMPER, santykinis ir vidutinis morforūšių pasiskirstymas įlankose ir sutinkamumas). Rezultatai parodė morforūšių skirtumus ir panašumus tarp įlankų ir tarp jų transektų, o išskirtos 4 pagrindinės morforūšys buvo charakteringiausios nulemiant šiuos skirtumus ir panašumus. Vidutinio aplinkos sutrikdymo hipotezėje teigiama, jog vidutinis aplinkos sutrikdymas padidina rūšinę įvairovę, kadangi esant stabilioms aplinkos sąlygoms dominuojančios rūšys nustelbia kitas rūšis, o per dideli aplinkos sutrikdymai veda prie vietinių rūšių išnykimo (Grime et al., 1973). Vienas tokių sutrikdymų yra tirpstančio ledyno poveikis Vakarų Svalbardo įlankose gyvenantiems dugno organizmams. Neįvertinus aplinkos sąlygų ir nesurinkus apie juos duomenų negalima teigti apie tirpstančio ledyno poveikį, tačiau yra galima rezultatų interpretacija pagal 4 išskirtų bendrijų pasiskirstymo dėsningumus. Esant vidutinio lygio aplinkos sutrikdymui Arkties fjorde dominuoja daugiašerės, gyvenančios vamzdelio formos nameliuose, ir judrios įvairaus dydžio rūšys (Włodarska-Kowalczuk, Pearson, 2004). Burgerbuktoje, veikiamoje tirpstančio ledyno, dominuoja daugiašerių klasės šeima Sabellidae, kurioje taip pat dažniau (lyginant su kitomis įlankomis) sutinkamos krevetės. Borebuktoje, taip pat veikiamoje tirpstančio ledyno, dominuoja ofiūros Ophiurida. Pagal Włodarska-Kowalczuk et al. (2005) Kogsfjorden fjorde gautus rezultatus, ofiūros būdingos fjordo išorinėje dalyje, o bendras individų skaičius mažėjo tolstant nuo tirpstančio ledyno. Borebuktoje ofiūros labiausiai dominavo išorinėje įlankos dalyje, gilesnėse transektose, kita vertus, Borebuktos ir Burgerbuktos įlankų individų skaičius toliau nuo ledyno esančiose transektose buvo didesnis nei arčiau ledyno. Dėl tirpstančio ledyno sukeltos intensyvios sedimentacijos sumažėja sėslių organizmų (Krzeminska, Kuklinski, 2018), dėl to daugumoje laisvojoje nuo tirpstančio ledyno zonoje esančių Adriabuktos transektų dominuoja sėslesnė fauna – Bryozoa undet. ir dvigeldžių bendrija. Gilesnėse Adriabuktos ir Gipsvikos transektose dominuoja Sabellidae bendrija, veikiausiai dėl to, kad natūraliomis sąlygomis ištirpusi organinė medžiaga yra linkusi akumuliuotis gilesniuose vandens

sluoksniuose. Sekliausiose Gipsvikos transektose dominuoja bioturbuojančios kirmėlės, kurios, tikėtina, indikuoja apie smiltkirmio *A. marina* biologinę veiklą. Šis smiltkirmis gyvena įsirausęs į nuosėdas, kuriomis ir maitinasi į paviršių išmesdamas spiralės pavidalo ekskrementus. *A. marina* rūšis yra žinoma, kaip gebanti toleruoti žemą druskingumą (iki 10 ‰), temperatūrą (-1 °C) ar deguonies trūkumą (Sveshnikov, 1963). Ši rūšis įprastai gyvena netoli upių ar upelių potvynių atoslūgių zonoje, ten, kur gausu organinės medžiagos ir vandenilio sulfido (Alyakrinskaya, 2003), o Gipsvikos dugno spalva galimai rodo perteklinį vandenilio sulfido kiekį nuosėdose. Taigi labai tikėtina, kad būtent ši rūšis galėjo įsikurti Gipsvikos potvynių atoslūgio zonoje, su gėlo vandens prietaka iš netoliese ištekantios Gipsdalselvos upės. Vakarų Svalbardo tiriamose įlankose dominuojančios morforūšys išsidėsto tam tikruose gylio intervaluose, kurie skiriasi kiekvienoje įlankoje ir greičiausiai atspindi sedimentacijos procesų intensyvumą, o ne gylio gradiento daromą poveikį. Tai patvirtintų ir Kongsfjordenso fjorde atliktas tyrimas, kurio rezultatai parodė, jog viršutinėje sublitoralėje esančioms makrozoobentos rūšims nėra jokio vertikalios gylio gradiento poveikio (Kaczmarek et al., 2005), todėl morforūšių išsidėstymo pagal gylį negalima apibendrinti visam Vakarų Svalbardo tiriamajam rajonui.

Identifikuotų organizmų suskirstymas į juos apibūdinančias funkcinės grupes gali būti geras būdas įžvelgti bendrijų pokyčius sutrikdytose ekosistemose. Darbo metu buvo iškelta hipotezė, jog ledyno poveikis dugno organizmams bus pastebimas nepaisant įlankos geografinės padėties, ir jog šie pokyčiai bus matomi per dominuojančias morforūšis arba per jų funkcinės grupes. Todėl darbe lygintas makrozoobentos bendrijų pasiskirstymas tarp įlankų, veikiamų geografiškumo ir ledyno tirpsmo. Hornsundo fjordas yra pietinėje Svalbardo dalyje, bet jame būdingesnės Arkties klimato sąlygos dėl Isfjordenso fjordą veikiančios šiltos Vakarų Špicbergeno srovės. Gauti rezultatai parodė, jog Isfjordenso ir Hornsundo fjordų geografinė padėtis vis dėlto lemia didesnius panašumus tarp įlankų, nei tirpstančio ledyno zona. Hornsundo fjorde esančių įlankų (Burgerbuktos, Adriabuktos) individų funkcinės grupės gana aiškiai išsiskiria pagal jiems daromą tirpstančio ledyno poveikį. Adriabuktos įlankoje buvo aptikta santykinai daugiausiai sėslių-filtratorių individų (samangyvių, dvigeldžių), o Burgerbuktoje santykinai daugiau judrių-maitėdų, dešimtkojų vėžių (krevečių, krabų, neaptiktų Adriabuktoje). Panaši tendencija pastebėta Wlodarska-Kowalczuk, et al. (2005) tyrime – ledyno veikiamoje įlankoje, sublitoralėje, dominavo mobilūs organizmai mintantys detritu. Pereinamoje ir išorinėje įlankos dalyse, toliau nuo tirpstančio ledyno poveikio, sėslių filtratorių buvo daugiausia, tačiau nedaug vidinėje įlankos dalyje veikiamoje ledyno (Wlodarska-Kowalczuk, et al., 2005). Isfjordene esanti, ledyno veikiamą Borebukta taip pat gausiausia judriais individais, maitėdomis (pvz. ofiūromis). Visgi, Gipsvikoje daugiausia iš

dalies judrių individų, minančių nuosėdine medžiaga. Ši įlanka nėra veikiamą tirpstančio ledyno, tačiau į ją išteka Gipsdalselvos upė, išnešdama nuosėdas ir gėlą vandenį, taip bentoso organizmams sudarydama panašias į tirpstančio ledyno sąlygas. Taip pat tikėtina, jog funkcinų grupių pasiskirstymui gali turėti įtakos šlaito nuolydis, dėl kurio pakinta lokalių srovių ir sedimentacijos greitis, dėl to gali pasikeisti substrato tipas ir maisto prieinamumas (Jones et al., 2013). Šlaite susidariusios buveinės yra palankesnės organizmams, besimaitinantiems vandenyje pakibusiomis dalelėmis, nei mintantiems organine medžiaga, esančia nuosėdose. Hornsunde šlaitai išsidėstę palei priekrantę, tačiau apskritai dugnas yra homogeniškesnis, palyginti su Kongsfjordenų įlanka, esančia Svalbardo šiaurėje (Drewnik et al 2016). Nėra aišku, koks šlaito tipas yra Isfjordenų įlankose, tačiau tikėtina, kad jis taip pat gali turėti įtakos funkcinų grupių pasiskirstymui. Yra žinoma, kad dugno organizmų pasiskirstymas priklauso nuo gylio ir jūros dugno buveinių struktūros (Sswat et al., 2015). Iš vaizdinės medžiagos buvo matyti, jog Hornsundo fjorde vietomis pasitaikydavo rieduliai. Rieduliai ant kurių dažnai aptikti įvairūs samangyviai, dažnesni Adriabuktoje. Burgerbukto įlankoje šių riedulių buvo matyti mažiau, tačiau tikėtina, kad tirpstančio ledyno sukelta intensyvi sedimentacija galėjo juos užnešti.

Analizuojant bendrijas atsižvelgus tik į dominuojančių funkcinų grupių ir rūšių gausumą prarandama informacija apie retas rūšis, rūšių pasiskirstymo tolygumą ir rūšinę įvairovę. Kongsfjordenų fjorde esančios stotys arčiau tirpstančio ledyno turėjo mažesnę rūšinę įvairovę, Hulberto indeksą, tolygumą ir Shannon-Wiener įvairovės indeksą (Włodarska-Kowalczyk et al., 2005). Vakarų Svalbardo įlankos, veikiamos ledyno tirpsmo, pagal rūšinę įvairovę, Shannon-Wiener įvairovės indeksą ir Hulberto indeksą parodė panašią tendenciją, tačiau Pielou tolygumo indekso reikšmės buvo didesnės ledyno tirpsmo zonoje. Šalia aktyviai tirpstančio ledyno sutinkama nedidelė rūšinė įvairovė (Włodarska-Kowalczyk et al., 2005; Kaczmarek et al., 2005) veikiamiausiai dėl to, kad dėl ledyno tirpsmo sukeltos intensyvios sedimentacijos bentoso organizmų filtravimo organai gali užsikimšti, jiems trukdoma kvėpuoti ir maitintis, taip pat stabdomas lervų įsikūrimas. Taksonominės įvairovės indeksai naudojami nustatyti rūšių taksonominės sąsajos mėginiuose ir yra vertinami kaip Shannon-Wiener įvairovės indekso papildymas (Clarke, Warwick, 2003). Nustatyta, kad arčiausiai ledyno tirpsmo esančių Kongsfjordenų stočių vidutinio taksonominio išskirtinumo indeksas didžiausias, o taksonominės variacijos išskirtinumo indeksas mažiausias (Włodarska-Kowalczyk et al., 2005). Tai rodo, jog arčiausiai ledyno esančios bendrijos yra taksonomiškai panašesnės. Vakarų Svalbardo tiriamosiose įlankose taksonominiai indeksai sutapo su Włodarska-Kowalczyk et al. (2005) tyrimo rezultatais, tačiau indekso vertės nebuvo statistiškai reikšmingos.

Tam tikros rūšys ar jų grupės, vadinamosios indikatorinės rūšys, yra ekologiniai indikatoriai, kurie reaguoja į biologinių ar fizinių aplinkos veiksnių pasikeitimus ir gali padėti mokslininkams įžvelgti šiuos pokyčius. Indikatorinių rūšių nustatymui naudojamas IndVal indeksas, kuris taip pat yra jautrus retesnėms rūšims. Pavyzdžiui, Borebuktoje pagal šį indeksą išsiskyrė hidragyvio *Ptychogastria polaris* rūšis, kuri nebuvo gausi įlankoje ar tyrimų rajone, bet būdinga vienoje iš Borebuktos transektų, tikėtina, indikuoja apie unikalias sąlygas toje transekte. Antarktidos pusiasalyje didžiulis hidragyvio *Ptychogastria polaris* populiacijos pagausėjimas, atsiradęs dėl didesnio organinės medžiagos kiekio išplovimo, vertinamas kaip aktyvesnio bentoso produktyvumo rezultatas fjorduose (Grange et al., 2017), o Borebuktoje tai galėtų būti atsakas į tirpstančio ledyno sukeltus aplinkos pokyčius. IndVal indeksas taip pat atsižvelgia į galimą rūšies asociaciją su daugiau nei viena vietų grupe, kadangi yra žinoma, jog nišų dydis varijuoja tarp rūšių, o toks IndVal rūšių sugrupavimas gali turėti ekologinę prasmę (Caceres et al., 2010). Borebuktoje trys sekiausiai esančios transektos (3 – 17 m) pagal Indval indeksą stipriai asocijavosi su koraliniais polipais Ceriantharia, gyvenančiais vamzdelio formos namelyje. Ceriantharia auga plačiame gylio diapazone ir randama iki 2000 m gylyje, ši rūšis sutinkama ant smulkaus substrato (aleuritingo smėlio), o dideli Ceriantharia gausumai pastebėti vietose, kuriose daug organinės medžiagos (Shepard et al., 1986). Veikiausiai, tirpstančio ledyno atnešamos aleuritingo smėlio sąnašos ir organinių medžiagų pagausėjimas galėtų paaiškinti šių koralinių polipų pasiskirstymą Borebuktoje.

Identifikuojant dugno organizmus iš vaizdinės medžiagos susiduriama su tam tikrai iššūkiais. Požymių identifikavimas iki mažiausio taksonominio lygmens iš vaizdo medžiagos yra sudėtingas ir kai kuriais atvejais neįmanomas netgi su specialistų pagalba, tačiau vis dažniau taikomas analizuojant bentoso bendrijas (Meyer et al., 2014; Al-Hababeh et al., 2020). Identifikuotų morforūšių skaičius taip pat priklauso nuo tyrimų vietos. Šiame darbe Vakarų Svalbardo įlankose (2-65 m gylyje) identifikuotos 33 morforūšys, palyginimui Framo sąsiauryje į vakarus nuo Svalbardo, 1796 – 2373 m gylyje iš vaizdo medžiagos identifikuota 60 morforūšių (Meyer et al., 2014). Bentoso identifikacija iš vaizdinės medžiagos dažnai apsiriboja epifauniniais organizmais, o infauniniai organizmai, gyvenantys įsirausę į dugną dažnai lieka nepastebėti. Ši problema galėtų būti sprendžiama į mėginių ėmimo procesą įtraukiant gruntotraukio mėginius, kurie leistų įvertinti, kiek rūšių yra neapskaičiuota naudojant informaciją gautą iš vaizdo medžiagos. Kita vertus, organizmų identifikavimo iki rūšies būtinumas keletui autorių kelia abejonių, pavyzdžiui, Brind'Amour et al. (2014) rezultatai parodė, jog organizmų identifikavimas iki stambesnio taksonominio lygmens (genties, šeimos) ar morforūšies yra pakankamas bendrijų analizėms. Kituose tyrimuose funkcinės grupės ir morforūšys naudojamos stebėti ilgalaikius

pokyčius bendrijose (Kuhn et al., 2020), vertinti aplinkos sutrikdymų sukeltus pokyčius dugno organizmams (Włodarska-Kowalczyk et al., 2005) ar tiesiog aprašyti bentoso įvairovę ir pasiskirstymą (Meyer et al., 2014). Taigi organizmų identifikavimas iki stambesnio taksonominio lygmens turi ekologinę prasmę ir priklauso nuo tyrimų tikslų.

Vaizdo medžiagos panaudojimas bentosiniuose tyrimuose yra platus ir naudingas. Vaizdinėje medžiagoje galima užfiksuoti gyvūnų išsidėstymą erdvėje bei kai kurių gyvūnų elgseną, tačiau svarbiausia, kad naudojant povandeninius robotus su įmontuotomis kameromis gaunama informacija apie vietas, kurios yra sunkiai pasiekiamos dideliais laivais, ar yra per gilios narams. Tokių vietų pavyzdys yra Svalbardo įlankų sublitoralė, kurioje iki šiol trūksta bentosinių tyrimų, nes didžioji dalis jų pagrindinį dėmesį teikia dideliais laivais lengviau pasiekiamoms vietoms, viena tokių – Kongsfjordenio fjordas (Jørgensen, Gulliksen, 2001; Kendall et al., 2003; Kaczmarek, Włodarska-Kowalczyk, 2005; Laudien, Orchard, 2012 ir kt.) arba gilesniems jūrų, vandenynų zonoms (Meyer et al., 2014 ir kt.). Vaizdo medžiaga neretai naudojama kartu su sonarais bentoso buveinių kartografavimui (Smith et al., 2015), video mozaikų kūrimui, kurios taip pat naudojamos buveinių ar jūros dugno kartografavimui (Gintert et al., 2012, Lim et al., 2018), bentoso stebėsenai (Šaškov et al., 2015) ar populiacijų vertinimui (Corrigan et al., 2018).

Klimato kaitos sukelti bentoso bendrijas veikiantys pokyčiai Arktyje ir menkas šių bendrijų ištirtumas smulkesnėse įlankose demonstruoja tolesnių tyrimų Svalbarde būtinybę. Dėl klimato kaitos Arkties priekrančių ekosistemos gali visiškai pasikeisti, jau dabar stebimas smulkesnių ir trumpiau gyvenančių bestuburių pagausėjimas ir ilgaamžių organizmų sumažėjimas (Al-Hababeh et al., 2020). Kiekviena darbe nagrinėta įlanka yra unikali pagal jas veikiančias aplinkos sąlygas (geografinę padėtį, sroves, šlaito statumą, gylį, upės nuotėkį, tirpstančio ledyno daroma įtaką), kurios lemia įvairių bentosinių organizmų pasiskirstymą ir gausumą. Tai rodo aplinkos duomenų rinkimo svarbą siekiant įvertinti, kurie kintantys aplinkos veiksniai labiausiai lemia šiuos bentoso organizmų pasiskirstymo dėsningumus. Būtent tai leistų prognozuoti bendrijų pokyčius ateityje bei pirmą kartą Svalbarde išskirti dugno biotopus. Surinktos vaizdo medžiagos validavimas gruntotraukio padėtų įvertinti prarastos informacijos kiekį ir galbūt įrodytų ekologinės prasmės išliekamąją vertę vaizdo medžiagoje. Vaizdo įrašų mozaikos panaudojamos kuriant jūros dugno žemėlapius, kurie yra naudingi jūrų teritoriniam planavimui ir jų aplinkosauginiam vertinimui, tačiau žemėlapių kūrimas ir povandeninių vaizdų ekspertinė analizė reikalauja didelių laiko sąnaudų. Dėl naujausių technologijų vystymosi spartos šios laiko sąnaudos galėtų būti sumažintos automatizuojant mozaikų kūrimo procesą, o povandeninių vaizdų ekspertinei analizei pasitelkiant dirbtinio intelekto apmokymo algoritmus.

IŠVADOS

1. Vakarų Svalbardo įlankose iš vaizdo medžiagos identifikuoti 33 požymiai (morforūšys): 4 morforūšys identifikuotos iki tipo, 5 iki klasės, 2 – būrio, 4 – šeimos, 11 – genties ir 7 iki žemiausio – rūšies taksonominio lygmens. Dauguma tyrimo vietoje esančių morforūšių pagal judėjimo tipą yra judrios, o pagal mitybos būdą plėšrūnai ir filtratoriai.
2. Bentoso bendrijoms šalia tirpstančio ledyno būdingas didesnis judrių – maitėdų individų gausumas, nei laisvojoje nuo ledyno zonoje, kurioje labiau būdinga įvairesnė fauna: sėslūs ir iš dalies judrūs filtratoriai, bei nuosėdine medžiaga mintantys organizmai.
3. Tirtose vakarų Svalbardo įlankose dominuoja 8 morforūšys: *Ceriantharia*, dvigeldžiai, *Sabellidae*, ofiūros, bioturbuojančios kirmėlės, krevetės, samangyviai *Alcyonidium* sp. ir *Bryozoa* undet. individai. Burgerbuktos (54 ± 84 ind. trans^{-1}), Adriabuktos (49 ± 68 ind. trans^{-1}) ir Gipsvikos (25 ± 34 ind. trans^{-1}) įlankose dominuoja daugiašerės *Sabellidae*, įlankose sudarydamos $> 50 \%$ bendro santykinio individų gausumo įlankoje, o Borebuktoje – ofiūros (76 ± 169 ind. trans^{-1}), sudarydamos $78,4 \%$ bendro santykinio individų gausumo įlankoje.
4. Makrozoobentoso įvairovė tirtose įlankose nesiskyrė: penki įvairovės indeksai statistiškai reikšmingo skirtumo neparodė, tik pagal Hulberto indeksą nustatyta didesnė įvairovė Adriabuktoje ($5,33 \pm 1,52$) nei Gipsvikoje ($1,6 \pm 0,89$).
5. *Sabellidae* bendrija dominavo ledyno tirpsmo veikiamose Burgerbuktos ir upės nuotėkio veikiamose Gipsvikos transektose. Bioturbuojančių kirmėlių bendrija dominavo sekiausiose Gipsvikos transektose, ofiūrų bendrija dominavo ledyno veikiamoje Borebuktoje, o samangyvių ir dvigeldžių bendrija dominavo laisvoje nuo ledynų Adriabuktos įlankoje.
6. Tirpstantys ledynai daro įtaką bendrijų struktūros pasiskirstymui skirtingose geografinėse zonose (Global ANOSIM R: 0,501; $p = 0,001$).

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. ACIA. 2005. Arctic Climate Impact Assessment. ACIA Overview report. *Cambridge University Press*. p. 1-1020.
2. Al-Hababeh, A.K., Kortsch, S., Bluhm, B.A., Beuchel, F., Gulliksen, B., Ballantine, C., Cristini, D. and Primicerio, R. 2020. Arctic coastal benthos long-term responses to perturbations under climate warming. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 378 (2181), p. 20190355.
3. Alyakrinskaya, I.O. 2003. Some ecological features of the lugworm *Arenicola marina* L.(Annelida, Polychaeta) and its morphological and biochemical adaptations to burrowing. *Biology Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 30 (4), p. 411-418.
4. Begon M., Townsend C.R., Harper J.L. 2006. *Ecology: from individuals to ecosystems*. United Kingdom: „Blackwell Publishing Ltd“, p. 1-759.
5. Bianco G., Muzzupappa M., Bruno F., Garcia R., Neumann L. 2015. A new color correction method for underwater imaging. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40 (5), p. 25.
6. Brind'Amour, A., Laffargue, P., Morin, J., Vaz, S., Foveau, A. and Le Bris, H. 2014. Morphospecies and taxonomic sufficiency of benthic megafauna in scientific bottom trawl surveys. *Continental Shelf Research*, 72, p. 1-9.
7. Cáceres, M.D., Legendre, P. 2009. Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology*, 90 (12), p. 3566-3574.
8. De Cáceres, M., Legendre, P. and Moretti, M., 2010. Improving indicator species analysis by combining groups of sites. *Oikos*, 119 (10), p. 1674-1684.
9. Comiso J.C., Gersten R.A., Stock L.V., Turner J., Perez G.J., Cho K. 2017. Positive trend in the Antarctic sea ice cover and associated changes in surface temperature. *Journal of Climate*, vol. 30 (6), p. 2251-2267.
10. Corrigan, D., Sooknanan, K., Doyle, J., Lordan, C. and Kokaram, A. 2018. A low-complexity mosaicing algorithm for stock assessment of seabed-burrowing species. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 44 (2), p. 386-400.
11. Degen R & Faulwetter S. 2019. The Arctic Traits Database – a repository of Arctic benthic invertebrate traits. *Earth System Science Data* 11. p. 301-322. <https://doi.org/10.5194/essd-11-301-2019>

12. Drewnik A., Węśławski J.M., Włodarska-Kowalczyk M., Łacka M., Promińska A., Zaborska, A., Gluchowska M. 2016. From the worm's point of view. I: Environmental settings of benthic ecosystems in Arctic fjord (Hornsund, Spitsbergen). *Polar Biology*, 39 (8), p.1411-1424.
13. Drewry D.J., Cooper A.P.R. 1981. Processes and models of Antarctic glaciomarine sedimentation. *Annals of Glaciology*, 2, p. 117-122.
14. Duxbury A. C., Byrne R. H., Mackenzie F. T. 2018. Seawater. Encyclopaedia Britannica, inc. Prieiga internetu: <https://www.britannica.com/science/seawater/Optical-properties> [žiūrėta 2020 m. balandžio 4 d.].
15. Dorschel B., Wheeler A. J., Huvenne V. A. I., de Haas H. 2009. Cold-water coral mounds in an erosive environmental setting: TOBI side-scan sonar data and ROV video footage from the northwest Porcupine Bank, NE Atlantic. *Marine Geology*, 264 (3-4), p. 218-229.
16. Emiliani C. 1966. Paleotemperature analysis of Caribbean cores P6304-8 and P6304-9 and a generalized temperature curve for the past 425,000 years. *The Journal of Geology*, 74 (2), p.109-124.
17. Es-sadaoui R., El Bouazzaoui I., Azergui L., Khallaayoune J. 2017. Underwater Image Processing: *Technical Study and Experiments*.
18. Field, A., Miles, J. and Field, Z. 2012. *Discovering Statistics Using R*. London: Thousand Oaks, Calif, p. 1-957.
19. Gardner A.S., Moholdt G., Scambos T., Fahnestock M., Ligtenberg S., Van Den Broeke M., Nilsson J. 2018. Increased West Antarctic and unchanged East Antarctic ice discharge over the last 7 years. *Cryosphere*, 12 (2), p. 521-547.
20. Gintert, B., Gleason, A.C.R., Cantwell, K., Gracias, N., Gonzalez, M. and Reid, R.P. 2012, July. Third-generation underwater landscape mosaics for coral reef mapping and monitoring. *In Proceedings of the 12th international coral reef symposium*, Cairns, Australia p. 9-13.
21. Grange L.J., Smith C.R., Lindsay D.J., Bentlage B., Youngbluth M.J. 2017. High abundance of the epibenthic trachymedusa *Ptychogastria polaris* Allman, 1878 (Hydrozoa, Trachylina) in subpolar Fjords along the West Antarctic Peninsula. *PloS one*, 12 (1), p.e0168648.
22. Grime, J.P. 1973. Competitive exclusion in herbaceous vegetation. *Nature*, 242 (5396), p. 344-347.
23. Gulliksen, B., Palerud, R., Brattegard, T. and Snæli, J.A. 1999. Distribution of marine benthic macro-organisms at Svalbard (including Bear Island) and Jan Mayen: figures and tabulated

- catalogues of species-distributions, literature and synonyms. Utredning for DN= *Directorate for Nature Management Research report*, (4).
24. Hald, M. and Korsun, S. 1997. Distribution of modern benthic foraminifera from fjords of Svalbard, European Arctic. *The Journal of Foraminiferal Research*, 27 (2), p. 101-122.
 25. Pörtner H.-O., Roberts D.C., Masson-Delmotte V., Zhai P., Tignor M., Poloczanska E., Mintenbeck K., Alegria A., Nicolai M., Okem A., Petzold J., Rama B., Weyer N.M. 2019. IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. In press.
 26. Jarvis O. 2016. Pioneer Of The Week: Louis Boutan. *Dive history*.
 27. Jones D.O., Mrabure C.O., Gates A.R. 2013. Changes in deep-water epibenthic megafaunal assemblages in relation to seabed slope on the Nigerian margin. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 78, p. 49-57.
 28. Jørgensen, L.L. and Gulliksen, B., 2001. Rocky bottom fauna in arctic Kongsfjord (Svalbard) studied by means of suction sampling and photography. *Polar Biology*, 24 (2), p. 113-121.
 29. Kaczmarek, H., Włodarska-Kowalczyk, M., Legeżyńska, J. and Zajączkowski, M., 2005. Shallow sublittoral macrozoobenthos in Kongsfjord, west Spitsbergen, Svalbard. *Polish Polar Research*, p. 137-155.
 30. Kędra, M., Renaud, P.E., Andrade, H., Goszczko, I. and Ambrose, W.G. 2013. Benthic community structure, diversity, and productivity in the shallow Barents Sea bank (Svalbard Bank). *Marine Biology*, 160 (4), p. 805-819.
 31. Kendall, M.A., Widdicombe, S. and Weslawski, J.M., 2003. A multi-scale study of the biodiversity of the benthic infauna of the high-latitude Kongsfjord, Svalbard. *Polar Biology*, 26 (6), p. 383-388.
 32. Krzeminska, M. and Kuklinski, P. 2018. Biodiversity patterns of rock encrusting fauna from the shallow sublittoral of the Admiralty Bay. *Marine environmental research*, 139, p. 169-181.
 33. Kuhnz, L.A., Ruhl, H.A., Huffard, C.L. and Smith, K.L. 2020. Benthic megafauna assemblage change over three decades in the abyss: Variations from species to functional groups. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 173, p. 104761.
 34. Labelbox: The leading training data platform for data labelling. Prieiga internetu: <http://labelbox.com> [žiūrėta 2021 m. gegužės 4 d.].

35. Laudien, J. and Orchard, J.B. 2012. The significance of depth and substratum incline for the structure of a hard bottom sublittoral community in glacial Kongsfjorden (Svalbard, Arctic)—an underwater imagery approach. *Polar biology*, 35 (7), p. 1057-1072.
36. Lee A. 2013. *VirtualDub*. Prieiga internetu: <http://www.virtualdub.org/index.html> [Žiūrėta 2020 m, gegužės 4 d.].
37. Leipe T., Kersten M., Heise S., Pohl C., Witt G., Liehr G., Tauber F. 2005. Ecotoxicity assessment of natural attenuation effects at a historical dumping site in the western Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 50 (4), p. 446-459.
38. Li Y., Zhang Y., Xu X., He L., Serikawa S., Kim H. 2017. Dust removal from high turbid underwater images using convolutional neural networks. *Optics & Laser Technology*
39. Lim A., Kane A., Arnaubec A., Wheeler A. J. 2018. Seabed image acquisition and survey design for cold water coral mound characterisation. *Marine Geology*, 395, p. 22-32.
40. Lindsey R., Scott M. 2019. *Climate Change: Arctic sea ice summer minimum*. Prieiga internetu: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-minimum-arctic-sea-ice-extent> [Žiūrėta 2020 m, balandžio 7 d.].
41. Lüdtke A., Jerosch K., Herzog O., Schlüter M. 2012. Development of a machine learning technique for automatic analysis of seafloor image data: Case example, Pogonophora coverage at mud volcanoes. *Computers & Geosciences*, 39, p. 120-128.
42. Macdonald, T.A., Burd, B.J., Macdonald, V.I. and Van Roodseelaar, A. 2010. Taxonomic and feeding guild classification for the marine benthic macroinvertebrates of the Strait of Georgia, British Columbia. *Fisheries and Oceans Canada= Pêches et océans Canada*. p. 1-69.
43. Mallet D., Pelletier D. 2014. Underwater video techniques for observing coastal marine biodiversity: a review of sixty years of publications (1952-2012). *Fisheries Research*, 154, p. 44-62.
44. McGonigle, C., Brown, C., Quinn, R. and Grabowski, J. 2009. Evaluation of image-based multibeam sonar backscatter classification for benthic habitat discrimination and mapping at Stanton Banks, UK. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81 (3), p. 423-437.
45. Meyer, K.S., Soltwedel, T. and Bergmann, M. 2014. High biodiversity on a deep-water reef in the eastern Fram Strait. *PloS one*, 9 (8), p.e105424.
46. Morin, P.J. 2009. *Community ecology*. New Jersey: Department of Ecology, Evolution and Natural Resources, p. 1-409.

47. Moskalik M., Ćwiakała J., Szczuciński W., Dominicza, A., Głowacki O., Wojtysiak K., Zagórski P. 2018. Spatiotemporal changes in the concentration and composition of suspended particulate matter in front of Hansbreen, a tidewater glacier in Svalbard. *Oceanologia*, 60 (4), p. 446-463.
48. Muckenhuber S., Nilsen F., Korosov A., Sandven S. 2016. Sea ice cover in Isfjorden and Hornsund, Svalbard (2000–2014) from remote sensing data. *High resolution sea ice monitoring using space borne Synthetic Aperture Radar*.
49. NASA. 2015. *NASA Study Shows Global Sea Ice Diminishing, Despite Antarctic Gains*. Prieiga internetu: <https://www.nasa.gov/content/goddard/nasa-study-shows-global-sea-ice-diminishing-despite-antarctic-gains>. [Žiūrėta 2020 m, gegužės 17 d.].
50. National Snow and Ice Data Center. 2017. *Image of the Week – Understanding Antarctic Sea Ice Expansion*. Prieiga internetu: <https://blogs.egu.eu/divisions/cr/2017/12/15/image-of-the-week-understanding-antarctic-sea-ice-expansion/>. [Žiūrėta 2020 m, gegužės 16 d.].
51. National Snow and Ice Data Center. 2019. *Low, but steady growth*. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. Prieiga internetu: <https://nsidc.org/arcticseaicenews/category/analysis/>. [Žiūrėta 2020 m, sausio 3 d.].
52. National Snow and Ice Data Center. 2019. *SOTC: Sea Ice*. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. Prieiga internetu: https://nsidc.org/cryosphere/sotc/sea_ice.html. [Žiūrėta 2020 m, kovo 2 d.].
53. Nilsen F., Skogseth R., Vaardal-Lunde J., Inall M. 2016. A simple shelf circulation model: intrusion of Atlantic Water on the West Spitsbergen Shelf. *Journal of Physical Oceanography*, 46 (4), p. 1209-1230.
54. Nordli Ø., Przybylak R., Ogilvie A.E., Isaksen K. 2014. Long-term temperature trends and variability on Spitsbergen: the extended Svalbard Airport temperature series, 1898–2012. *Polar research*, 33 (1), p. 21349.
55. Norwegian Polar Institute. 2014. Kartdata Svalbard 1:100 000 (S100 Kartdata) / Map Data [Data set]. Norwegian Polar Institute. Prieiga internetu: <https://doi.org/10.21334/npolar.2014.645336c7> [Žiūrėta 2020 m, gegužės 19 d.].
56. Notz D., Stroeve J. 2016. Observed Arctic sea-ice loss directly follows anthropogenic CO₂ emission. *Science*, 354 (6313), p. 747-750.
57. Obura, D.O., Aeby, G., Amorntthammarong, N., Appeltans, W., Bax, N., Bishop, J., Brainard, R.E., Chan, S., Fletcher, P., Gordon, T.A. and Gramer, L. 2019. Coral reef monitoring, reef

- assessment technologies, and ecosystem-based management. *Frontiers in Marine Science*, 6, p. 580.
58. Oliver, I. and Beattie, A.J., 1996. Invertebrate morphospecies as surrogates for species: a case study. *Conservation biology*, 10 (1), p. 99-109.
 59. Onarheim I.H., Smedsrud L.H., Ingvaldsen R.B., Nilsen F. 2014. Loss of sea ice during winter north of Svalbard. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 66 (1), p. 23933.
 60. Onarheim I.H., Eldevik T., Smedsrud L.H., Stroeve J.C. 2018. Seasonal and regional manifestation of Arctic sea ice loss. *Journal of Climate*, 31 (12), p. 4917-4932.
 61. Overland J. E., Hanna E., Hanssen-Bauer I., Kim S. J., Walsh J. E., Wang M., Bhatt U. S., Thoman R. L. 2017. 2017: *Surface Air Temperature* [in Arctic Report Card 2017]. Prieiga internetu: https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_FullReport.pdf. [Žiūrėta 2020 m, gegužės 9 d.].
 62. Platt T., Sathyendranath S. 1988. Oceanic Primary Production: Estimation by Remote Sensing at Local and Regional Scales. *American Association for the Advancement of Science*, vol. 241, No. 4873 (Sep. 23, 1988), p. 1613-1620.
 63. Šaškov, A., Dahlgren, T.G., Rzhannov, Y. and Schläppy, M.L. 2015. Comparison of manual and semi-automatic underwater imagery analyses for monitoring of benthic hard-bottom organisms at offshore renewable energy installations. *Hydrobiologia*, 756 (1), p. 139-153.
 64. Shahrestani S., Bi, H., Lyubchich V. Boswell K. M. 2017. Detecting a nearshore fish parade using the adaptive resolution imaging sonar (ARIS): An automated procedure for data analysis. *Fisheries research*, p. 190-199.
 65. Shepard, A.N., Theroux, R.B., Cooper, R.A. and Uzmann, J.R. 1986. ecology of ceriantharia (coelenterata, anthozoa) of. fishery bulletin, 84(3), p.625.
 66. Smith, J., O'Brien, P.E., Stark, J.S., Johnstone, G.J. and Riddle, M.J., 2015. Integrating multibeam sonar and underwater video data to map benthic habitats in an East Antarctic nearshore environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 164, p. 520-536.
 67. Sswat, M., Gulliksen, B., Menn, I., Sweetman, A.K. and Piepenburg, D. 2015. Distribution and composition of the epibenthic megafauna north of Svalbard (Arctic). *Polar Biology*, 38 (6), p. 861-877.
 68. Sveshnikov, V.A. 1963. Biocenotic Connections and Living Conditions of Some Food Invertebrates of the Littoral Infauna of Kandalaksha Bay, White Sea, Tr. Kandalakshsk. Gos. Zap, no. 4, p. 114–134.

69. Šiaulys, A., Vaičiukynas, E., Medelytė, S., Olenin, S., Šaškov, A., Buškus, K., Verikas, A. 2020. A fully-annotated imagery dataset of sublittoral benthic species in Svalbard, Arctic. *Mendeley Data*, V1, doi: 10.17632/mmzb4hhptc.1
70. Šiaulys, A., Vaičiukynas, E., Medelytė, S., Olenin, S., Šaškov, A., Buškus, K. and Verikas, A. 2021. A fully-annotated imagery dataset of sublittoral benthic species in Svalbard, Arctic. *Data in brief*, 35, p. 106823.
71. Rachold, V., Are, F.E., Atkinson, D.E., Cherkashov, G. and Solomon, S.M. 2005. Arctic coastal dynamics (ACD): An introduction. *Geo-Marine Letters*, 25 (2-3), p. 63-68.
72. Rende, S.F., Irving, A.D., Bacci, T., Parlagreco, L., Bruno, F., De Filippo, F., Montefalcone, M., Penna, M., Trabucco, B., Di Mento, R. and Cicero, A.M. 2015. Advances in micro-cartography: A two-dimensional photo mosaicing technique for seagrass monitoring. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 167, p. 475 – 486.
73. Richter-Menge J., Overland J. E., Mathis J. T., Osborne E. 2017. *Arctic Report Card 2017*. Prieiga internetu: https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_FullReport.pdf. [Žiūrėta 2020 m, gegužės 19 d.].
74. Ronowicz M., Włodarska-Kowalczyk M., Kukliński P. 2013. Depth-and substrate-related patterns of species richness and distribution of hydroids (Cnidaria, Hydrozoa) in Arctic coastal waters (Svalbard). *Marine Ecology*, 34, p. 165-176.
75. Rzhano, Y., Huff, L. and Cutter, G.R. 2002. Seafloor video mapping: modeling, algorithms, apparatus. In *Proceedings. International Conference on Image Processing* (Vol. 1, pp. I-I). IEEE.
76. Rzhano, Y., Mayer L., Fornari D. 2004. Deep-sea image processing. *Proceedings of Oceans '04*, Kobe: p. 647–652
77. Shackleton N. 1967. Oxygen isotope analyses and Pleistocene temperatures re-assessed. *Nature*, 215 (5096), p. 1-15.
78. Shahrestani S., Bi, H., Lyubchich V. Boswell K. M. 2017. Detecting a nearshore fish parade using the adaptive resolution imaging sonar (ARIS): An automated procedure for data analysis. *Fisheries research*, p. 190-199.
79. Shepherd A., Ivins E., Rignot E., Smith B., Van Den Broeke M., Velicogna I., Whitehouse P., Briggs K., Joughin I., Krinne, G., Nowicki S. 2018. Mass balance of the Antarctic Ice Sheet from 1992 to 2017. *Nature*, 558, p. 219-222.

80. Šaškov A. 2014. *Application of underwater remote imagery and acoustic data for quantitative benthic biotopes identification, predictive mapping and building of explanatory models*. Doktoro disertacija. Klaipėda, p. 140.
81. Šiaulys, A., Vaičiukynas, E., Medelytė, S., Olenin, S., Šaškov, A., Buškus, K. and Verikas, A. 2021. A fully-annotated imagery dataset of sublittoral benthic species in Svalbard, Arctic. *Data in brief*, 35, p. 106823.
82. Urbański J., Neugebauer E., Spacjer R., Falkowska L. 1980. Physico-chemical characteristic of the waters of Hornsund Fjord on south-west Spitsbergen (Svalbard Archipelago) in the summer season 1979. *Polish Polar Research*, p. 43-52.
83. Walczowski W., Piechura J. 2011. Influence of the West Spitsbergen Current on the local climate. *International journal of climatology*, 31 (7), p. 1088-1093.
84. Wassmann P., Duarte C.M., Agusti S., Sejř M.K. 2011. Footprints of climate change in the Arctic marine ecosystem. *Global change biology*, 17 (2), p. 1235-1249.
85. Weinstein B. G. 2015. Motion Meerkat: integrating motion video detection and ecological monitoring. *Methods in Ecology and Evolution*, 6 (3), p. 357-362.
86. Węławski, J.M., Kendall, M.A., Włodarska-Kowalczyk, M., Iken, K., Kędra, M., Legezyska, J. and Sejř, M.K. 2011. Climate change effects on Arctic fjord and coastal macrobenthic diversity—observations and predictions. *Marine Biodiversity*, 41 (1), p. 71-85.
87. Włodarska-Kowalczyk, M., Kukliński, P., Ronowicz, M., Legeżyńska, J. and Gromisz, S. 2009. Assessing species richness of macrofauna associated with macroalgae in Arctic kelp forests (Hornsund, Svalbard). *Polar Biology*, 32 (6), p. 897-905.
88. Włodarska-Kowalczyk, M., Pearson, T.H. and Kendall, M.A. 2005. Benthic response to chronic natural physical disturbance by glacial sedimentation in an Arctic fjord. *Marine Ecology Progress Series*, 303, p. 31-41.
89. Wood H.L., Spicer J.I., Kendall M.A., Lowe D.M., Widdicombe S. 2011. Ocean warming and acidification; implications for the Arctic brittlestar *Ophiocten sericeum*. *Polar Biology*, 34 (7), p. 1033-1044.

PRIEDAI

1 priedas. Įlankų mėginių ėmimo pastangos, gylio intervalai, bei dugno aprašymas iš vaizdo medžiagos

Įlanka	Transeкта	Mozaikų No	Gylio intervalai, m	Dugno aprašymas
Gipsvika	G1	17	8	molis/dumblas 80 %; akmenys/uolos 20 %; laminaria sp. 5 %; siūliniai 2 %
	G2	4	19.2	molingas, daug urvų
	G3	14	33.5	molingas, dumblių sąnašos (laminarijų, puvančių su bakterijom)
	G4	16	39.1	dugnas homogeniškas, molingas
	G5	16	10.1	molingas, daugybė ekskrementų sampylų
Borebukta	B1	6	54-45	dumblas/molis su ofiūrom
	B2	4	33-39.6	dugnas panašus, ofiūros ir urvai
	B4	8	3-17.5	Nuo 3 m laminarijos, ties 6 m laminarijos dingo, prasidėjo kirmelės (vėduoklinės arba hidroidai). Giliau 10m kirmelės ir pavienės laminarijos
	B4b	7	14-17	Nuo 3 m laminarijos, ties 6 m laminarijos dingo, prasidėjo kirmelės (vėduoklinės arba hidroidai). Giliau 10m kirmelės ir pavienės laminarijos
	B5	6	46-52	molingas, l. daug ofiūrų
	B6	5	23-27	ofiūrų mažiau
	B7	7	2-10	molingas, bet padengtas, laminarios kirmelės
	T2	5	40-49	dugnas panašus, pavieniai urvai
	T3	4	15-19	dugnas panašus, mažai požymių
Burgerbukta	H1	3	50	molingas dugnas be kieto substrato su mobilios faunos pėdaskais, "jūrinis sniegas", krevetės, urvai
	H2	1	44.5-46	dugnas panašus
	H3	3	36-37	panašus dugnas, pasirodo vamzdelio formos nameliuose gyvenančios kirmelės

1 priedo tęsinys

Įlanka	Transekta	Mozaikų No	Gylio intervalai, m	Dugno aprašymas
	H4	4	25	dugnas panašus, pavieniai akmenys, matomas status kraštas vienoje atkarpoje
	H5	5	15-16	molingas dugnas be kieto substrato mažiau urvų, išnyksta vamzdeliuose gyvenančios kirmelės
Adriabukta	A1	1	14.9	molingas, daug inf polychaeta urvelių, viena kita nukritusios laminarios dalis
	A2	5	18	nemažai akmenukų, daug augančių samangyvių, viena kita nukritusios laminarios dalis
	A3	4	22.5-24	pradžioje daugiau akmenukų, vienoje atkarpoje matomas labai status kraštas, matomas stiprus "jūrinis sniegas", atkarpa be kieto substrato, vėl pasirodo smulkūs akmenukai
	A4	4	33-34	molingas dugnas, be akmenukų, daug tuščių moliuskų kriauklių, pasklidusios laminarijos dalys, vėliau ant pavienių akmenų matomi prisitvirtinę <i>Alcyonidium</i> sp.
	A5	3	45	mažiau matomo kieto substrato, tačiau pavieniui auga samangyviai, <i>Alcyonidium</i> sp., pasirodo neidentifikuoti Porifera
	A6	3	55	
	A7	5	64.5-65.2	

2 priedas. Biologiniai ir fiziniai požymiai identifikuoti specialistų iki rūšies ar aukštesnio taksono.

Nr.	Feature	Approved by	Phylum	Class	Order	Family	Genus
1.	Porifera	S. Medelyte, A. Šiaulys, K. Deja	Porifera				
2.	Axinellidae	S. Medelyte	Porifera	Demospongiae	Axinellida	Axinellidae	
3.	<i>Beroe cucumis</i>	V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Ctenophora	Nuda	Beroida	Beroidae	Beroe
4.	Ctenophora	V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Ctenophora				
5.	Nemertea	K. Deja, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Nemertea				
6.	<i>Ptychogastria polaris</i>	K. Deja, A. V. Golikov, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Cnidaria	Hydrozoa	Trachymedusae	Ptychogastridae	<i>Ptychogastria</i>

2 priedo tęsinys

Nr.	Feature	Approved by	Phylum	Class	Order	Family	Genus
7.	<i>Ceriantharia</i>	K. Deja, A. V. Golikov, P. Balazy	Cnidaria	Anthozoa	Spirularia	Cerianthidae	<i>Cerianthus</i>
8.	<i>Cerianthus lloydi</i>	P. Balazy	Cnidaria	Anthozoa	Actiniaria	Halcampidae	<i>Halcampa</i>
9.	<i>Halcampa</i> sp.	K. Deja, A. V. Golikov	Cnidaria	Anthozoa	Actiniaria	Halcampidae	<i>Halcampa</i>
10.	<i>Cribrinopsis</i> sp.	A. V. Golikov	Cnidaria	Anthozoa	Actiniaria	Actiniidae	<i>Cribrinopsis</i>
11.	<i>Bryozoa</i> sp.	S. Medelytė	Bryozoa				
12.	<i>Alcyonidium</i> sp.	K. Deja, P. Balazy	Bryozoa	Gymnolaemata	Ctenostomatida	Alcyonidiidae	<i>Alcyonidium</i>
13.	<i>Buccinum</i> sp.	K. Deja, Y. Kantor, A. V. Golikov	Mollusca	Gastropoda	Neogastropoda	Buccinidae	<i>Buccinum</i>
14.	<i>Buccinum scalariforme</i>	Y. Kantor	Mollusca	Gastropoda	Neogastropoda	Buccinidae	<i>Buccinum</i>
15.	<i>Dendronotus</i> sp.	A. V. Golikov	Mollusca	Gastropoda	Nudibranchia	Dendronotidae	<i>Dendronotus</i>
16.	<i>Dendronotus frondosus</i>	S. Medelyte	Mollusca	Gastropoda	Nudibranchia	Dendronotidae	<i>Dendronotus</i>
17.	<i>Dendronotus robustus</i>	K. Deja	Mollusca	Gastropoda	Nudibranchia	Dendronotidae	<i>Dendronotus</i>

2 priedo tęsinys

Nr.	Feature	Approved by	Phylum	Class	Order	Family	Genus
18.	<i>Cryptonatica</i> sp.	K. Deja, Y. Kantor, A. V. Golikov	Mollusca	Gastropoda	Littorinimorpha	Naticidae	<i>Cryptonatica</i>
19.	Dvigeldžių sifonai	K. Deja	Mollusca	Bivalvia			
20.	<i>Mya</i> sp. sifonai	K. Deja, A. V. Golikov	Mollusca	Bivalvia	Myida	Myidae	<i>Mya</i>
21.	<i>Arctica islandica</i>	A. V. Golikov	Mollusca	Bivalvia	Venerida	Arcticidae	<i>Arctica</i>
22.	<i>Similipecten greenlandicus</i>	K. Deja, A. V. Golikov, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Mollusca	Bivalvia	Pectinida	Propeamussiidae	<i>Similipecten</i>
23.	<i>Astartidae</i>	A. V. Golikov	Mollusca	Bivalvia	Carditida	Astartidae	
24.	Dvigeldis (pan. į <i>Clinocardium</i>)	A. V. Golikov	Mollusca	Bivalvia	Cardiida	Cardiidae	<i>Clinocardium</i>
25.	<i>Hiatella arctica</i>	A. V. Golikov	Mollusca	Bivalvia	Adapedonta	Hiatellidae	<i>Hiatella</i>
26.	Sipuncula?	A. V. Golikov	Sipuncula				

2 priedo tęsinys

Nr.	Feature	Approved by	Phylum	Class	Order	Family	Genus
27.	<i>Sabellidae</i>	K. Deja, A. V. Golikov, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Annelida	Polychaeta	Sabellida	Sabellidae	
28.	<i>Chone infundibuliformis</i>	K. Deja, A. V. Golikov, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Annelida	Polychaeta	Sabellida	Sabellidae	<i>Chone</i>
29.	<i>Euchone</i> sp.	A. V. Golikov	Annelida	Polychaeta	Sabellida	Sabellidae	<i>Euchone</i>
30.	<i>Bispira fabricii</i>	A. V. Golikov	Annelida	Polychaeta	Sabellida	Sabellidae	<i>Bispira</i>
31.	<i>Ampharete</i> sp.	A. V. Golikov	Annelida	Polychaeta	Terebellida	Ampharetidae	<i>Ampharete</i>
32.	Opheliidae	A. V. Golikov	Annelida	Polychaeta		Opheliidae	
33.	<i>Phyllodoce</i> sp.	A. V. Golikov, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Annelida	Polychaeta	Phyllodocida	Phyllodocidae	<i>Phyllodoce</i>
34.	Polynoidae	A. V. Golikov, P. Balazy, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Annelida	Polychaeta	Phyllodocida	Polynoidea	
35.	Polychaeta	S. Medelytė	Annelida	Polychaeta			

2 priedo tęsinys

Nr.	Feature	Approved by	Phylum	Class	Order	Family	Genus
36.	Ekskrementų sampyla	A. V. Golikov, P. Balazy, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Annelida	Polychaeta			
37.	Inf. polychaeta	A. Šiaulys	Annelida	Polychaeta			
38.	Pycnogonida	K. Deja, A. V. Golikov	Arthropoda	Pycnogonida			
39.	Archaeobalanidae	K. Deja, A. V. Golikov	Arthropoda	Hexanauplia	Sessilia	Archaeobalanidae	
40.	Munnopsidae	K. Deja, A. V. Golikov, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Arthropoda	Malacostraca	Isopoda	Munnopsidae	
41.	Krevetės	K. Deja	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda		
42.	Pandalidae	K. Deja, A. V. Golikov	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Pandalidae	<i>Pandalus</i>
43.	<i>Eualus gaimardii</i>	K. Deja, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Thoridae	<i>Eualus</i>
44.	Thoridae	K. Deja, A. V. Golikov	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Thoridae	
45.	Crangonidae	Kajatan Deja	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Crangonidae	

2 priedo tęsinys

Nr.	Feature	Approved by	Phylum	Class	Order	Family	Genus
46.	<i>Hyas</i> sp.	K. Deja, A.V. Golikov, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Oregoniidae	<i>Hyas</i>
47.	<i>Hyas araneus</i>	K. Deja, A. V. Golikov	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Oregoniidae	<i>Hyas</i>
48.	<i>Hyas coarctatus</i>	K. Deja	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Oregoniidae	<i>Hyas</i>
49.	Oregoniidae	A. Šiaulys	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Oregoniidae	
50.	<i>Pagurus pubescens</i>	K. Deja, P. Balazy, A. V. Golikov	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Paguridae	<i>Pagurus</i>
51.	<i>Urasterias lincki</i>	K. Deja, A. V. Golikov, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Echinodermata	Asteroidea	Forcipulatida	Asteriidae	<i>Urasterias</i>
52.	<i>Lophaster furcifer</i>	A. V. Golikov	Echinodermata	Asteroidea	Valvatida	Solasteridae	<i>Lophaster</i>
53.	Ophiuridae	K. Deja, A.V. Golikov, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Echinodermata	Ophiuroidea	Ophiurida	Ophiuridae	
54.	<i>Stegophiura nodosa</i>	K. Deja	Echinodermata	Ophiuroidea	Ophiurida	Ophiopyrgidae	<i>Stegophiura</i>
55.	<i>Ophiura robusta</i>	K. Deja	Echinodermata	Ophiuroidea	Ophiurida	Ophiuridae	<i>Ophiura</i>
56.	<i>Ophiura sarsii</i>	K. Deja	Echinodermata	Ophiuroidea	Ophiurida	Ophiuridae	<i>Ophiura</i>

2 priedo tęsinys

Nr.	Feature	Approved by	Phylum	Class	Order	Family	Genus
57.	<i>Ophiocten sericeum</i>	K.Deja	Echinodermata	Ophiuroidea	Ophiurida	Ophiuridae	<i>Ophiocten</i>
58.	Ascidiacea	A. V. Golikov, P. Balazy	Chordata	Ascidiacea			
59.	<i>Styela rustica</i>	A. V. Golikov	Chordata	Ascidiacea	Stolidobranchia	Styelidae	<i>Styela</i>
60.	Pisces	S. Medelyte	Chordata				
61.	Perciformes	V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Chordata	Actinopterygii	Perciformes		
62.	<i>Leptoclinus maculatus</i>	V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Chordata	Actinopterygii	Perciformes	Stichaeidae	<i>Leptoclinus</i>
63.	Zoarcidae	V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Chordata	Actinopterygii	Perciformes	Zoarcidae	
64.	<i>Hippoglossoides platessoides</i>	V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Chordata	Actinopterygii	Pleuronectiformes	Pleuronectidae	<i>Hippoglossoides</i>

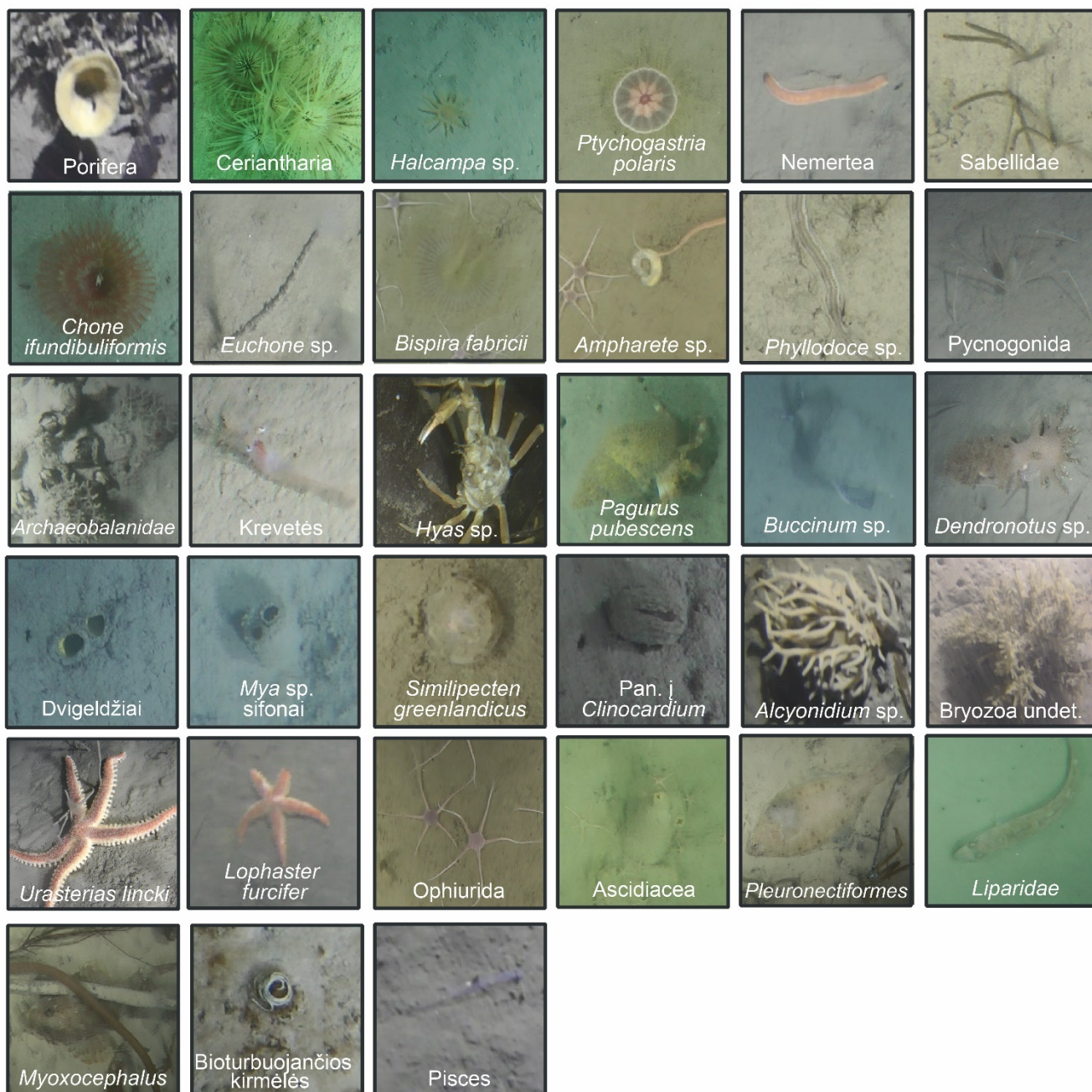
2 priedo tęsinys

Nr.	Feature	Approved by	Phylum	Class	Order	Family	Genus
65.	Myoxocephalus	P. Balazy, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Chordata	Actinopterygii	Scorpaeniformes	Cottidae	Myoxocephalus
66.	Liparidae	S. Medelytė	Chordata	Actinopterygii	Scorpaeniformes	Liparidae	
67.	<i>Laminaria sp.</i>	K. Deja, A. V. Golikov, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Ochrophyta	Phaeophyceae	Laminariales	Laminariales	<i>Laminaria</i>
68.	<i>Chorda filum</i>	K. Deja, A. V. Golikov	Ochrophyta	Phaeophyceae	Laminariales	Chordaceae	<i>Chorda</i>
69.	Phyllophora	J. Wiktor	Rhodophyta	Florideophyceae	Gigartinales	Phyllophoraceae	<i>Phyllophora</i>
70.	Urvai	S. Medelyte					
71.	<i>Natica sp.</i> kiaušiniai	K. Deja, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Mollusca	Gastropoda	Littorinimorpha	Naticidae	<i>Natica</i>

2 priedo tęsinys

Nr.	Feature	Approved by	Phylum	Class	Order	Family	Genus
72.	Kriauklės	S. Medelyte, K. Deja, V. Spiridonov, A. I. Kokorin, V. L. Syomin	Mollusca				
73.	Takai	S. Medelyte, K. Deja					
74.	<i>Yoldia hyperborea</i> kriauklė	K. Deja	Mollusca	Bivalvia	Nuculanida	Yoldiidae	<i>Yoldia</i>
75.	<i>Dacrydium vitreum</i> kriauklė	K. Deja	Mollusca	Bivalvia	Myida	Myidae	<i>Dacrydium</i>
76.	<i>Mya arenaria</i> kriauklė	A. V. Golikov	Mollusca	Bivalvia	Myida	Myidae	<i>Mya</i>
77.	<i>Ciliatocardium ciliatum</i> kriauklė	K. Deja	Mollusca	Bivalvia	Cardiida	Cardiidae	<i>Ciliatocardium</i>
78.	Gammaridae (negyvas)	K. Deja, A. V. Golikov	Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	Gammaridae	

3 priedas. Atrinktos 33 patikimiausios morforūšys vakarų Svalbardo įlankose



4 priedas. Vidutinio individų skaičiaus mozaikose suma kiekvienoje transekte ir suklasifikuota į dvi funkcinės grupės kategorijas: mitybos būdas, judėjimo tipas.

Transeкта	Judėjimo tipas			Mitybos būdas			
	Iš dalies judrūs	Judrūs	Sėslūs	Nuosėdine medžiaga	Filtratoriai	Plėšrūnai	Maitėdos
G1	21	0	0	14	7	0	0
G2	3	0	0	0	3	0	0
G3	86	1	0	0	86	1	1
G4	15	1	0	0	14	0	1
G5	72	0	0	55	17	0	0
B1	0	5	0	0	0	2	3
B2	0	14	0	0	0	2	12
B4	17	0	0	0	5	12	0
B3	28	8	0	0	11	17	8
B5	16	462	0	0	12	8	459
B6	10	50	2	0	12	1	48
B7	62	4	1	0	50	13	3
A2	11	2	69	0	81	2	0
A3	9	1	50	0	59	0	1
A4	10	3	16	0	26	2	0
A5	44	2	46	0	90	2	0
A6	156	1	3	0	158	1	0
A7	144	2	13	0	157	1	0
H1	31	2	2	0	32	2	2
H2	22	4	0	0	22	0	4
H3	204	12	0	0	204	1	10
H4	9	5	1	0	10	2	4
H5	5	2	1	0	6	2	0

5 priedas. Pagrindiniai įvairovės indeksai ir taksonominės įvairovės indeksai įlankų transektose. S – morforūšių įvairovė, N – individų skaičius transekte, J – Pielou tolygumo indeksas, $H \log_e$ - Shannon-Wiener įvairovės indeksas, ES(100) - Hurlberto indeksas, AvTD – vidutinis taksonominis išskirtinumas, VarTD – taksonominio išskirtinumo variacija.

Transektos	Įvairovės ir taksonominės įvairovės indeksai						
	S	N	J	$H \log_e$	AvTD	VarTD	ES (100)
G1	4	21	0.5	0.7	94.4	154.3	3
G2	3	3	0.5	0.6	77.8	987.7	1
G3	13	87	0.1	0.1	94.2	219.6	1
G4	10	16	0.2	0.5	91.5	365.7	1
G5	4	72	0.4	0.6	94.4	154.3	2
B1	3	5	0.7	0.8	100.0	0.0	2
B2	5	14	0.4	0.6	98.3	25.0	2
B4	4	17	0.6	0.8	88.9	617.3	3
B3	6	37	0.7	1.3	95.6	276.5	4
B5	13	478	0.1	0.2	93.2	266.6	3.6
B6	9	61	0.4	0.8	97.2	131.2	5
B7	12	67	0.5	1.3	93.4	327.3	8
A2	6	83	0.4	0.7	96.7	81.5	5
A3	8	66	0.5	1.0	94.6	219.3	6
A4	6	29	0.7	1.2	98.9	17.3	4
A5	9	92	0.7	1.6	95.8	160.1	8
A6	7	159	0.3	0.7	96.0	209.1	5.1
A7	7	159	0.2	0.4	97.6	60.5	3.9
H1	6	81	0.5	1.0	97.8	69.1	5
H2	2	26	0.6	0.4	100.0	0.0	2
H3	6	216	0.1	0.2	97.8	69.1	2.5
H4	4	15	0.7	1.0	100.0	0.0	4
H5	6	377	0.1	0.1	95.6	128.4	2.3

6 priedas. Santykinis morforūšių gausumas įlankose, %

Morforūšys	Įlankos			
	Gipsvika	Borebukta	Adriabukta	Burgerbukta
<i>Ceriantharia</i>	0.0	6.9	0.1	0.6
<i>Halcompa</i> sp.	0.2	0.0	0.0	0.0
<i>Ptychogastria polaris</i>	0.0	0.3	0.0	0.0
<i>Buccinum</i> sp.	0.1	0.0	0.0	0.0
<i>Dendronotus</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0
Dvigeldžiai	0.5	0.2	10.0	0.0
<i>Mya</i> sp. sifonai	0.0	0.1	0.0	0.0
<i>Similipecten greenlandicus</i>	0.0	0.3	0.0	0.0
Dvigeldis (<i>Clinocardium</i> ?)	0.0	0.0	0.0	0.0
Nemertea	0.1	0.0	0.0	0.0
Sabellidae	62.8	8.4	50.8	89.8
<i>Chone infundibuliformis</i>	0.2	0.2	3.3	0.0
<i>Euchone</i> sp.	0.0	3.4	0.0	0.0
<i>Bispira fabricii</i>	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Ampharete</i> sp.	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Phyllodoce</i> sp.	0.1	0.0	0.0	0.0
Bioturbuojančios kirmėlės	35.1	0.0	0.0	0.0
<i>Hyas</i> sp.	0.3	0.0	0.2	0.0
<i>Pagurus pubescens</i>	0.3	0.0	0.0	0.0
Krevetės	0.0	0.1	0.0	6.8
Archaeobalanidae	0.0	0.4	0.0	0.0
Pycnogonida	0.0	0.1	0.0	0.0
<i>Alcyonidium</i> sp.	0.0	0.0	4.6	0.1
Bryozoa undet.	0.0	0.0	28.8	1.1
Porifera	0.0	0.0	0.5	0.0
<i>Urasterias lincki</i>	0.0	0.1	0.0	0.0
<i>Lophaster furcifer</i>	0.0	0.0	0.0	0.1
Ophiurida	0.0	78.4	0.0	0.0
Ascidacea	0.0	0.1	0.0	0.0

7 priedo tęsinys

Morforūšys	Įlankos			
	Gipsvika	Borebukta	Adriabukta	Burgerbukta
Pleuronectiformes	0.1	0.0	0.2	0.4
Liparidae	0.1	0.6	1.2	1.1
Pisces	0.0	0.0	0.1	0.0
Myoxocephalus	0.0	0.0	0.0	0.0

8 priedas. Morforūšių sutinkamumas visame tyrimo rajone ir įlankų transektose, %. G - Gipsvika, B – Borebukta, A – Adriabukta, H – Burgerbukta

Morforūšys	Tyrimo rajone	Gipsvikoje	Borebuktoje	Adriabuktoje	Burgerbuktoje
Ceriantharia	29.2	0.0	71.4	14.3	20.0
<i>Halcampa</i> sp.	4.2	20.0	0.0	0.0	0.0
<i>Ptychogastria polaris</i>	4.2	0.0	14.3	0.0	0.0
<i>Buccinum</i> sp.	8.3	40.0	0.0	0.0	0.0
<i>Dendronotus</i> sp.	8.3	20.0	14.3	0.0	0.0
Dvigeldžiai	41.7	80.0	14.3	71.4	0.0
<i>Mya</i> sp. sifonai	8.3	20.0	14.3	0.0	0.0
<i>Similipecten greenlandicus</i>	4.2	0.0	14.3	0.0	0.0
Dvigeldis (<i>Clinocardium</i> ?)	8.3	20.0	14.3	0.0	0.0
Nemertea	8.3	20.0	14.3	0.0	0.0
Sabellidae	79.2	100.0	71.4	57.1	100.0
<i>Chone infundibuliformis</i>	33.3	40.0	14.3	71.4	0.0
<i>Euchone</i> sp.	25.0	0.0	85.7	0.0	0.0
<i>Bispira fabricii</i>	4.2	0.0	14.3	0.0	0.0
<i>Ampharete</i> sp.	4.2	0.0	14.3	0.0	0.0
<i>Phyllodoce</i> sp.	4.2	20.0	0.0	0.0	0.0

8 priedo tęsinys

Morforūšys	Tyrimo rajone	Gipsvikoje	Borebuktoje	Adriabuktoje	Burgerbuktoje
Bioturbuojančios kirmėlės	25.0	80.0	28.6	0.0	0.0
<i>Hyas</i> sp.	20.8	40.0	0.0	42.9	0.0
<i>Pagurus pubescens</i>	16.7	40.0	28.6	0.0	0.0
Krevetės	29.2	0.0	28.6	0.0	100.0
Archaeobalanidae	12.5	0.0	42.9	0.0	0.0
Pycnogonida	16.7	0.0	57.1	0.0	0.0
<i>Alcyonidium</i> sp.	29.2	0.0	0.0	85.7	20.0
Bryozoa undet.	45.8	20.0	14.3	85.7	60.0
Porifera	8.3	0.0	0.0	28.6	0.0
<i>Urasterias lincki</i>	4.2	0.0	14.3	0.0	0.0
<i>Lophaster furcifer</i>	4.2	0.0	0.0	0.0	20.0
Ophiurida	29.2	0.0	100.0	0.0	0.0
Ascidacea	8.3	0.0	28.6	0.0	0.0
Pleuronectiformes	37.5	40.0	0.0	57.1	60.0
Liparidae	54.2	40.0	42.9	71.4	60.0
Pisces	4.2	0.0	0.0	14.3	0.0
Myoxocephalus	4.2	20.0	0.0	0.0	0.0

9 priedas. Vidutinis ($\bar{x}$) ir maksimalus (Max) morforūšių gausumas įlankose su standartiniais nuokrypiais (SD).

Morforūšys	Gipsvika			Borebukta			Adriabukta			Burgerbukta		
	$\bar{x}$	SD	Max	$\bar{x}$	SD	Max	$\bar{x}$	SD	Max	$\bar{x}$	SD	Max
Ceriantharia	0	0	0	7	7	17	0	0	1	0	1	2
<i>Halcapa</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ptychogastria polaris</i>	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
<i>Buccinum</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

9 priedo tęsinys

Morforūšys	Gipsvika			Borebukta			Adriabukta			Burgerbukta		
	$\bar{x}$	SD	Max	$\bar{x}$	SD	Max	$\bar{x}$	SD	Max	$\bar{x}$	SD	Max
<i>Dendronotus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dvigeldžiai	0	0	1	0	1	2	10	10	25	0	0	0
<i>Mya</i> sp. sifonai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Similipecten greenlandicus</i>	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
Dvigeldis (<i>Clinocardium</i> ?)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nemertea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabellidae	25	34	86	8	14	40	49	68	144	54	84	204
<i>Chone infundibuliformis</i>	0	0	0	0	0	1	3	3	9	0	0	0
<i>Euchone</i> sp.	0	0	0	3	3	8	0	0	0	0	0	0
<i>Bispira fabricii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ampharete</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Phyllodoce</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bioturbuojančios kirmėlės	14	24	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hyas</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Pagurus pubescens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Krevetės	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	10
Archaeobalanidae	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
Pycnogonida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Alcyonidium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	4	6	14	0	0	0
Bryozoa undet.	0	0	0	0	0	0	28	27	68	1	1	2
Porifera	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0
<i>Urasterias lincki</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Lophaster furcifer</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

9 priedo tęsinys

Morforūšys	Gipsvika			Borebukta			Adriabukta			Burgerbukta		
	$\bar{x}$	SD	Max	$\bar{x}$	SD	Max	$\bar{x}$	SD	Max	$\bar{x}$	SD	Max
Ophiurida	0	0	0	76	169	458	0	0	0	0	0	0
Ascidacea	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Pleuronectiformes	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Liparidae	0	0	0	1	1	2	1	1	2	1	1	2
Pisces	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Myoxocephalus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

10 priedas. Informacija apie tyrimo duomenų pagrindų autoriaus paskelbtas publikacijas, pranešimus mokslinėse konferencijose ir viešus pristatymus

Data	Detalės
2019 gegužės 9-10 d.	Konferencija: Jūros ir krantų tyrimai, Lietuva (Klaipėda) Pranešimas: Arkties dugno buveinių struktūra besitraukiančio ledyno pakraštyje (eng. Benthic communities near retreating glaciers of Arctic coast) Pranešimo autoriai: A. Šiaulys, S. Medelytė , K. Deja, D. Daunys
2020 spalio 7-9 d.	Konferencija: Jūros ir krantų tyrimai, Lietuva (Klaipėda) Pranešimas: Špicbergeno priekrantės buveinių ir borealinių rūšių tyrimai: pirmieji rezultatai. (eng. Arctic coastal benthic ecosystems: first findings) Pranešimo autoriai: Olenin, S., Šiaulys, A., Šaškov, A., Samuilovienė, A., Daunys, D., Vaičiūtė, D., Tiškus E., Bučas, M., Medelytė, S. , Ruginis, T.
2020 lapkričio 25 d.	Seminaras: Bendras Lietuvos (KU) – Lenkijos (IOPAN) susitikimas (nuotoliniu būdu) dėl Arkties tyrimų planavimo ir rezultatų aptarimo. Pranešimas: Seabed video-imagery analysis: methods and application Pranešimo autoriai: S. Medelytė , A. Šiaulys, S. Olenin Pranešimas: Identification and classification of benthic communities and habitats in Hornsund and Istfjorden based on analysis of underwater images Pranešimo autoriai: S. Medelytė , A. Šiaulys, S. Olenin

2020 gruodžio 7 – 10 d.	Konferencija: Arctic Change 2020 Virtual Conference Stendinis pranešimas: Living on the edge: benthic communities near retreating glaciers Pranešimo autoriai: S. Medelytė, A. Šiaulys, K. Deja, D. Daunys Stendinis pranešimas: Prototype framework for deep learning driven semantic segmentation of seabed imagery. Pranešimo autoriai: K. Buškus, E. Vaičiukynas, A. Verikas, S. Medelytė, S. Olenin Abstraktai paskelbti Arctic Science žurnale: https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.1139/as-2021-0001
2020 gruodžio 17 d.	Publikuoti duomenys: Šiaulys, A., Vaičiukynas, E., Medelytė, S., Olenin, S., Šaškov, A., Buškus, K., & Verikas, A. 2020. A fully-annotated imagery dataset of sublittoral benthic species in Svalbard, Arctic. <i>Mendeley Data</i>, V1, doi: 10.17632/mmzb4hhptc.1
2020 gruodžio 16 d.	Publikacija: Šiaulys, A., Vaičiukynas, E., Medelytė, S., Olenin, S., Šaškov, A., Buškus, K. and Verikas, A. 2021. A fully-annotated imagery dataset of sublittoral benthic species in Svalbard, Arctic. <i>Data in brief</i>, 35, p. 106823.
2020 kovo 22 d.	Seminaras: NORDPLUS Creative Arts Pedagogy and the Environment / CAPE Network, Webinar Pranešimas: Underwater mosaics: a bridge between Art and Science. Pranešimo autoriai: S. Medelyte, A. Šiaulys