

**TARTU ÜLIKOOL**  
**ÖKOLOOGIA JA MAATEADUSTE INSTITUUT JA EESTI MEREINSTITUUT**  
**ZOOLOOGIA OSAKOND**  
**LOODUSRESSURSSIDE ÕPPETOOL**

Katariina Kurina

**IDA-LONTMUDILA (*PROTERORHINUS SEMIPELLUCIDUS*  
(KESSLER, 1877)) NATURALISEERUMISE HINDAMINE SOOME  
LAHES OTOLIITIDE MIKROSTRUKTUURI JA -KEEMIAGA**

Bioloogia ja ökoinnovatsiooni õppekava

Magistritöö (30 EAP)

Juhendaja: Lauri Saks

Tartu 2024

## **Ida-lontmudila naturaliseerumise hindamine Soome lahes**

2020. aastal leiti Soome lahest uus võõrliik – ida-lontmudil (*Proterorhinus semipellucidus* (Kessler, 1877)). Uue liigi potentsiaalse mõju uurimiseks on esmalt vajalik kindlaks teha, kas uustulnuk on saavutanud iseseisvalt taastootva asurkonna, kas tegu on ajutise invasiooniga või püsib asurkond pidevate introduksioonide najal. Käesoleva töö eesmärk oli välja selgitada, millisesse neist kategooriatest kuulub ida-lontmudila asurkond Soome lahe lõuna- ja põhjarannikul. Hindamaks Soome lahe ida-lontmudilate vanust, uuriti otoliitide mikrostruktuuri. Lisaks viidi lõunaranniku isendite otoliitidel läbi mikrokeemia analüüs, et teada, kus isendid koorusid. Otoliitide mikrostruktuur tõendas erinevate vanuseklasside, sh noorte isendite olemasolu. Mikrokeemiline analüüs paljastas aga, et kõik uuritud isendid olid koorunud püügikohaga sarnase soolsusega riimvees. Tulemused viitavad kohalikule sigimisele ning välistavad pidevad introduksioonid mageveelisest Neeva lahest, mida asustab siinse asurkonna tõenäoline doonorpopulatsioon. Seega võib pidada ida-lontmudilat Soome lahes naturaliseerunud võõrliigiks.

**Märksõnad:** ida-lontmudil, naturaliseerumise hindamine, otoliidid, võõrliigid, Läänemeri

**CERCS:** B260 hüdrobioloogia, veeökoloogia, mere-bioloogia, limnoloogia

## **Estimation of Naturalization of Eastern Tubenose Goby in the Gulf of Finland**

In 2020, the presence of a novel non-indigenous species, eastern tubenose goby *Proterorhinus semipellucidus* (Kessler, 1877), was documented in the Gulf of Finland, Baltic Sea. As tubenose goby invasion may have a comprehensive ecological impact on the local ecosystem, it has to be confirmed whether the species has established an independently reproducing – naturalized population or persists through continuous invasions in this area. The otolith microstructure was examined to determine the age of specimens sampled from the southern and northern coasts of the Gulf of Finland. Additionally, otolith microchemistry analysis was carried out on the southern coast specimens. Otolith microstructure revealed the population's age structure, showing the presence of different age classes with a high abundance of younger individuals. The microchemistry analyses suggested that the specimens had hatched in brackish water, *e.g.* at salinities similar to those found in the sampling areas. This indicates local reproduction instead of introduction from virtually freshwater Neva Bay, which is most likely the donor area of the studied populations. These data confirm the establishment of a self-sustaining reproducing population of eastern tubenose goby in the Gulf of Finland, eastern part of the brackish Baltic Sea.

**Keywords:** eastern tubenose goby, assessment of naturalization, otoliths, non-indigenous species, Baltic Sea.

**CERCS:** B260 hydrobiology, aquatic ecology, marine biology, limnology

# Sisukord

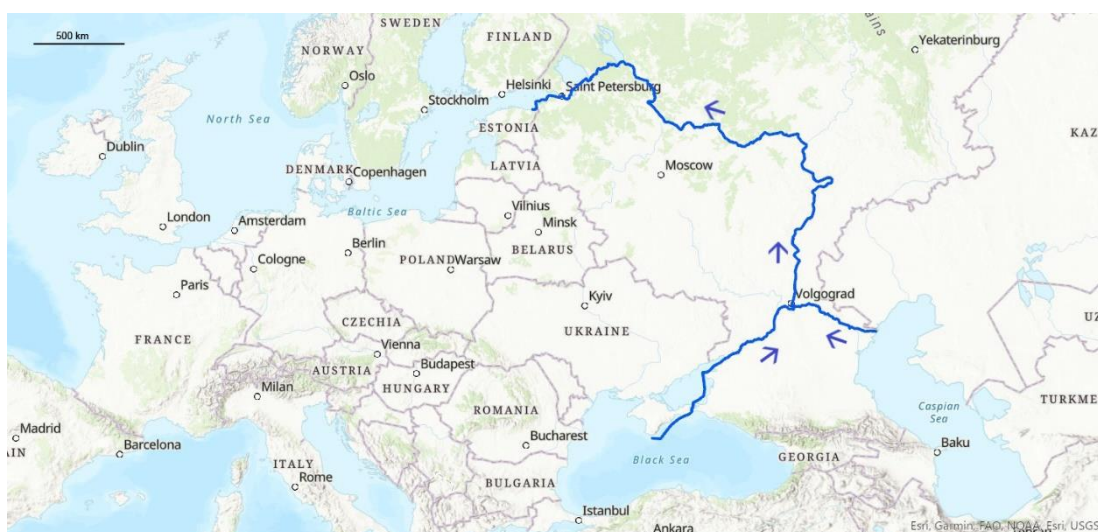
1. Sissejuhatus .....	5
2. Kirjanduse ülevaade .....	8
2.1. Võõrliigid Läänemeres.....	8
2.2. Ida-lontmudil ( <i>Proterorhinus semipellucidus</i> (Kessler, 1877)) .....	11
2.3. Otoliidid ja nende rakendused kalade ökoloogia uuringuis.....	13
3. Materjal ja meetodid.....	15
3.1. Välitööd.....	15
3.2. Otoliitide mikrokeemia ja -struktuuri analüüs .....	18
3.3. Täispikkuste tagasiarvutused .....	22
3.4. Andmeanalüüs.....	23
3.5. Töö autori roll .....	24
4. Tulemused.....	25
5. Arutelu .....	30
Kokkuvõte .....	33
Summary.....	35
Tänuavaldused.....	36
Kasutatud kirjandus .....	37

# 1. Sissejuhatus

Tänaseks on Läänemeres teada üle 200 võõrliigi, kusjuures introduktsioonide arv kasvab jätkuvalt (AquaNIS 2023). Eestis käsitletakse võõrliikidena inimese introductseeritud liike, kes on siia jõudnud alates 19. sajandi lõpust või taimede puhul alates 18. sajandi keskpaigast (Kliimaministeerium 2023). Sealjuures peetakse invasiivseks võõrliiki, kes võib ohustada kohalikke liike, kooslusi, elupaiku või terveid ökosüsteeme (Kliimaministeerium 2023). Üks hiljutisemaid Läänemere võõrliike on ida-lontmudil (*Proterorhinus semipellucidus* (Kessler, 1877)). Liik määrati esmakordselt 2020. aastal Soome lahes morfoloogiliste- ja molekulaarsete andmete põhjal (Truuverk *et al.* 2021). Oluline on täheldada, et iga uus võõrliik ei pruugi invasioonialal naturaliseeruda – saavutada asurkonna iseseisvat taastootmist (Snoeijs-Leijonmalm *et al.* 2017). Naturaliseerumise hindamine on oluline aspekt liigi võimaliku mõju ja edasise leviku hindamisel. Võib arvata, et kiirelt uue keskkonnaga kohanenud ja naturaliseerunud liigil on potentsiaali laiemaks levikuks. Kirjanduse põhjal naturaliseeruvad perekonna lontmudil liigid kahe (Slynko 2010) kuni viie (Uspenskiy 2020) aastaga, samas võib naturaliseerumise kinnitatud pikkust mõjutada ajaline lõtk reaalse invadeerumise, esimese leiu ja edasiste uuringute vahel. Seega on ida-lontmudila ökoloogilise mõju ja potentsiaalse leviku hindamiseks oluline teha kindlaks invasiooni staatus.

Mitmed Ponto-Kaspia regiooni (Musta-, Aasovi- ja Kaspia mere) päritoluga veeloomad on osutunud erakordselt edukateks võõrliikideks tervel põhjapoolkeral (*e.g.* Verliin *et al.* 2017; Copilaș-Ciocianu *et al.* 2023). Ka paljud Läänemere invasiivid on jõudnud siia mainitud piirkonnast (Bij De Vaate *et al.* 2002). Ponto-Kaspia regiooni liike iseloomustavad mitmed ökoloogilised parameetrid, mis tagavad nende edukuse invasiivsete võõrliikidena. Ida-lontmudila puhul saab neist teguritest esile tuua näiteks lühikese sigimistsükli. Lontmudilad saavutavad suguküpsuse esimese eluaasta jooksul ning on valmis sigima juba ühesuvistena - oma koorumisaasta järgsel kevadel (Valová *et al.* 2015). Lisaks aitab sigimisperioodi edukust tagada portsjonkudemine (Grabowska *et al.* 2019). Perekonna liigid on paindlikud nii soolsuse (Cuthbert & Briski 2021) kui ka toidu (Ondračková *et al.* 2019) suhtes. Samuti soodustab noorjärkude triivimine sobimatute keskkonnatingimustega alade läbimist ja leviala laiendamist (Kocovsky *et al.* 2011). Mainitud omadused panustavad oluliselt lontmudilate leviala laiendamisesse, iseseisvalt taastootva asurkonna loomisesse ja seega naturaliseerumise edukusse.

Ida-lontmudila invasiooni Läänemeres on siiani kirjeldatud alates 2020. aastast Soome lahe lõunarannikul (Truuverk *et al.* 2021), kuhu nad suure tõenäosusega jõudsid põhja-invasioonikoridori kaudu (Bij De Vaate *et al.* 2002, joonis 1). Teisi liigi invasiooni staatuse uuringuid ei ole riimveelises Soome lahes läbi viidud. Küll on aga teada, et Soome lahe idapoolseimas osas, mageveelises Neeva lahes, on selle perekonna esindajaid tabatud ka varem. Nimelt leiti lontmudilaid Neeva lahest esmakordselt 2006. aastal, mil need kalad määrati marmor-lontmudilaiks (*Proterorhinus marmoratus* (Pallas, 1814)) (Antsulevich 2007). Samas käsitleb Demchuk kolleegidega (2021) Neeva lahe lontmudilat lääne-lontmudilana (*Proterorhinus semilunaris* (Heckel, 1837)). Need liigimäärangud põhinevad aga üksnes morfoloogilistel tunnustel (Antsulevich 2007; Demchuk *et al.* 2021), mis võivad antud perekonna puhul olla küllaltki ebaselged (*e.g.* Neilson & Stepien 2009). Truuverk ja kolleegid (2021) määrasid Soome lahe lõunarannikult püütud lontmudilad molekulaarsete meetoditega ida-lontmudilateks – *P. nasalis* (De Filippi, 1863). Teised allikad käsitlevad aga Läänemeres ja põhja-invasioonikoridoril levivat liiki kui *P. semipellucidus* (Zarei *et al.* 2021, 2022). Zarei jt (2021) seostavad nimetust *P. nasalis* hoopis Lõuna-Kaspia isenditega (*cf.* Zarei *et al.* 2021: joonis 3), kuigi tüüpisend on kirjeldatud Bakuu vahetust lähedusest (Canestrini *et al.* 1862). Kalade süstemaatika autoriteetsem allikas Eschmeyeri kataloog (*Eschmeyer Catalog of Fishes* Fricke *et al.* 2024) käsitleb põhja-invasioonikoridoril ja Läänemeres levivat liiki kui *P. semipellucidus*. Selline süstemaatiline umbsõlm on tekitanud omajagu segadust liigi korrektse määramise ja nimetamise osas (Antsulevich 2007; Demchuk *et al.* 2021; Truuverk *et al.* 2021; Zarei *et al.* 2021, 2022). Vastavalt Eschmeyeri kataloogile nimetatakse käesolevas magistritöös Soome lahes levivat liiki *Proterorhinus semipellucidus* (Kessler, 1877) – ida-lontmudil. Kindlasti vajab perekonna süstemaatika tulevikus põhjalikumat uurimist.



Joonis 1. Põhja-invasioonikoridor liikide levikul Ponto-Kaspia regioonist Läänemerre. Nooled näitavad invasiooni suunda (Kurina 2022).

Vältimaks ennatlike järeltuste tegemist, tuleks invasiooni protsessi, sh naturaliseerumist, läbivalt jälgida (García-Bertho 2007). Kui üldiselt viitab ühesuviste kalade rohkus naturaliseerumisele, siis noorjärkude triivimine võib viia valede järeltusteni, eriti kui doonorpopulatsioon asub lähedal. Arvestades perekond lontmudila liigimäärangu keerukust, siis on võimalik, et Neeva lahe lontmudilad (Uspenskiy 2020) kuuluvad liiki ida-lontmudil, keda Truuverk *et al.* (2021) kirjeldab kui Soome lahe lõunaranniku asukat. Seega ei saa välistada asurkondade samasse liiki kuulumist ega ka võimalikku noorjärkude triivimist Neeva lahest Eesti ja Soome vetesse. Siiski on käesoleva töö eesmärk piiratud – kindlaks teha ida-lontmudila invasiooni staatus ja selgitada võimalik naturaliseerumine Soome lahes, Eesti põhja- ja Soome lõunarannikul. Lisaks pakub käesolev töö väärtusliku baasi edasisteks uuringuteks. Siinjuures on kombineeritud klassikaline (vanuselise struktuuri hindamine) ja uudne (otoliitide mikrokeemia) meetod naturaliseerumise hindamiseks. Vanuselise struktuuri hindamine on standardmeetod naturaliseerumise kinnitamiseks, kus nooremate isendite rohkus ja erinevate vanuseklasside olemasolu viitavad iseseisvalt taastootvale asurkonnale (Kocovsky *et al.* 2011). Otolitide mikrokeemiline analüüs näitab, kas kalad on koorunud ja elanud magevees, mis viitaks otseselt Neeva lahe päritolule. Tegu on uudse lähenemisega võõrliigi naturaliseerumise hindamiseks Läänemeres.

## 2. Kirjanduse ülevaade

Võõrliigid on üks suurimaid tänapäeva looduskaitseprobleeme. Uute liikide mõju suunda ja ulatust on raske ette aimata, mistõttu on oluline võimalikult varakult invasiooni jälgima hakata. Läänemeri on paljudele võõrliikidele soodus keskkond, mistõttu kasvab pidevalt ka siia saabuvate uustulnukate arv (AquaNIS 2023). Teadaolevalt kõige hiljutisem võõrkalaliik Läänemeres on ida-lontmudil, kes jõudis siia Ponto-Kaspia regioonist tõenäoliselt põhja-invasioonikoridori kaudu (Truoverk *et al.* 2021). Tegu on väikese litoraali kalaga, kes on paindlik nii toidu- kui elupaiga osas (French & Jude 2001; Adámek *et al.* 2007; Ondračková *et al.* 2019). Kuna võõrliikide näol on tegu väga aktuaalse teemaga, siis on ka vastavate uuringute ja kasutatavate meetodite arv järjest kasvav. Näiteks on kalade kuulumekivikeste ehk otoliitide mikrostruktuur- ja keemia tõestanud ennast väärtusliku tööriistana nii kalavarude seisundi, kalade taksonoomia, elukäigutunnuste kui ka võõrliikide uurimisel (*e.g.* Campana 2001; Sahyoun *et al.* 2007; Geladakis *et al.* 2021; Morissette & Whitley 2022; Zarei *et al.* 2023).

### 2.1. Võõrliigid Läänemeres

Läänemere liigirikkus on võrdlemisi madal. Tegu on geoloogiliselt noore veekoguga, mistõttu pole olnud liigitekkeks kuigi palju aega (Reid & Orlova 2002). Teadaolevalt on Läänemeres välja kujunenud vaid üks endeemne kalaliik – Läänemere lest (*Platichthys solemdali* Momigliano, Denys, Jokinen, Merilä 2018) (Momigliano *et al.* 2018). Samas on määravaks teguriks ka Läänemere riimveelisuus. Nii on Läänemeri paljude mageveeliikide jaoks liiga soolane, ent mereliikidele mage (Sparholt 1994). Seetõttu on Läänemeres paljud mereökosüsteemidele tüüpilised ökoloogilised nišid sageli täitmata või täidetud ühe või mõne üksiku kohaliku liigi poolt (Liversage *et al.* 2021). See loob sobilikud tingimused uutele hea kohanemisvõimega liikidele. Intensiivne laevaliiklus aitab omakorda kaasa liikide Läänemerele jõudmisele ning edasi levimisele (Kotta *et al.* 2016). Kui tänaseks on Läänemeres teada üle 200 võõrliigi (AquaNIS 2023), siis käesoleva sajandi alguses tunti siin kõigest 97 võõrliiki (Leppäkoski & Olenin 2000). Kusjuures kolmandikku kõigist võõrliikidest peeti ja peetakse naturaliseerunuks (AquaNIS 2023).

Naturaliseerunuks arvatakse liiki, kelle asurkond invasioonialal ei püsi uute introduksioonide najal, vaid on saavutanud iseseisvalt paljuneva populatsiooni ning on



seetõttu suuteline edasi levima (Masing 1992). Iga uus võõrliik ei pruugi naturaliseeruda. Nii introductseeriti 1950.–1970. aastatel Läänemerre rohkelt uusi liike, kellest vähesed said uute keskkonnatingimustega hakkama ja saavutasid iseseisvalt taastootva asurkonna (Snoeijs-Leijonmalm *et al.* 2017). Läänemerre tahtlikult asustatud kalaliikidest on teadaolevalt naturaliseerunud kõigest kolm liiki: Soome lahe mageveelises idaosas elav kaugida unimudil (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) (Orlova *et al.* 2006), Wisła lahte ja Eesti rannikut asustav hõbekoger (*Carassius gibelio* (Bloch, 1782)) (Vetemaa 2006; Witkowski & Grabowska 2012) ning karpkala (*Cyprinus carpio* L., 1758), kes on sage liik Kura lahes (Vibrickas 2000; Snoeijs-Leijonmalm *et al.* 2017 kaudu). Naturaliseerumiseks peab liik edukalt läbima mitu etappi: 1) uude ökosüsteemi jõudmine; 2) isendite ellujäämine uues keskkonnas; 3) sobiliku niši hõivamine; 4) kordaläinud sigimine; 5) uute isendite migratsioon edukalt sigivasse asurkonda; 6) edasine levimine (Hill 2008). Võib arvata, et kiirelt naturaliseerunud liigid avaldavad tugevamat mõju kohalikule ökosüsteemile ja levivad jõudsamalt edasi.

Võõrliikide mõju suurust ja suunda ökosüsteemile on raske ette aimata. Nii võivad nad mõjutada oluliselt kohalikku toiduahelat, soodustada eutrofeerumist, aidata kaasa teiste liikide introduksioonile või hoopis pärssida juba olemasolevate invasiivide efekti. Läänemeri on uute invasioonide aldis (Liversage *et al.* 2021), nii on ka võõrliikide mõju siin sageli oluline. Näiteks järgnes rändkrabi (*Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841)) introduksioonile kohaliku ökosüsteemi toiduahela regulatsiooni nihe (Kotta *et al.* 2018). Kui varem oli toiduahela peamiseks kujundajaks primaartootjate ja saakloomade rohkus (alt-üles regulatsioon), siis pärast rändkrabi saabumist sai määravaks teguriks krabi kui uus kiskja (ülalt-alla regulatsioon). Uus invasiiv täitis seni katmata niši, misjärel tõusis kisklusmäär ja suurenes kontroll põhjaelustiku üle. Veelgi enam, kuna krabi toitub enamjaolt karpidest, siis suurenes invasiooni tagajärjel ka pelaagiliste toitainete ja fütoplanktoni biomass.

Invasiivne ümarmudil (*Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814)) on tänaseks arvukas pea kõikjal Eesti rannikumeres. Toitudes eelkõige erinevatest karpidest, on uus liik vähendanud oluliselt nende biomassi, tähtsustades jällegi kiskja juhitud toiduahela regulatsiooni (Pärn 2021; Nõomaa *et al.* 2022). Tugev kisklus filtertoidulistele võib aga tugevdada eutrofeerumise mõju.

Filtertoidulised võõrliigid võivad mõjutada veekogu toiduvõrgustikke ning seeläbi veekvaliteeti. Eutrofeerumine on üks Läänemere aktuaalsemaid murekohti, mille

lahendamiseks on pakutud ka karbikasvatust. Ponto-Kaspia päritolu muutlik rändkarp (*Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771)) on üks vähestest karpidest, kes suudab kiiresti asustada mage- ja riimveelisi keskmiselt või kergelt eutrofoferunud elupaiku (Orlova *et al.* 2004). Seega on nende võime biogeene siduda eutrofoferuvas Läänemeres väärtuslik funktsioon (Bagdavičiūtė *et al.* 2018). Samas muudavad karbid keskkonnatingimusi, mis võib olla paljudele liikidele sobimatu. Näiteks võib rändkarpide rohkus tekitada pinnasele kõvema substraadiga laiike ja põhjustada hüpoksiat (Zaiko *et al.* 2010).

Võõrliigid võivad olla kohalikele liikidele mitte üksnes konkurentideks, vaid ka oluliseks toidubaasiks. Nii on Põhja-Ameerika päritolu vööt-kirpvähk (*Gammarus tigrinus* Sexton, 1939) tähtis toiduobjekt paljudele Läänemere kaladele, näiteks lõhilastele (*Salmonidae*) (Koljonen 2001). Kirpvähi arvukuse langus võib seega oluliselt mõjutada kalavarude majandamist ja kaitsekorralduskava planeerimist (Koljonen 2001).

Võõrliikide omavaheline konkurents võib samas tagada soodsad tingimused hoopis kohalikele liikidele. Läänemere võõrliik elegantne krevett (*Palaemon elegans* Rathke, 1837) toitub väikestest selgrootutest, sh vööt-kirpvähist. Vööt-kirpvähk toitub peamiselt vetikatest, nt kohalikust põisadrust *Fucus radicans* Bergström & Kautsky, 2005. Seega kirpvähist toitudes ja tema arvukust vähendades vähendab elegantne krevett vööt-kirpvähi mõju põisadrule *F. radicans* (Liversage *et al.* 2021).

Sama päritolu võõrliikide mõju võib summeeruda, sest tegu on sarnastes keskkonnatingimustes koevoluteerunud liikidega. Sealjuures on leitud, et 76% Ponto-Kaspia päritolu võõrliikide vahelistest interaktsioonidest on invasiooni ning selle mõju ulatust soodustavad (Gallardo & Aldridge 2015). Nii võib mitme sealse regiooni võõrliigi introduktsioon viia kohaliku ökosüsteemi kokkuvarisemiseni (*invasional meltdown hypothesis*) (Gallardo & Aldridge 2015). Näiteks järgnes muutliku rändkarbi invasioonile Suurde järvistusse paljude teiste Ponto-Kaspia päritolu liikide introduktsioon. Uus karbiliik aitas kaasa mitmekesisemate elupaikade moodustumisele, pakkudes samas toidubaasi ja peitumiskohti. See aga soodustas vähemalt 14 invasiivse liigi, teiste seas näiteks tähk-vesikuuse (*Myriophyllum spicatum*, L. 1753), kirpvähi *Gammarus fasciatus* Say, 1818, ümarmudila ja lontmudila (Ricciardi 2001) jõudmist Suurde järvistusse. Uute võõrliikide ulatuslik mõju elupaikade, toiduahela ja konkurentsuhete muutmise näol on viinud Suure järvistu algse ökosüsteemi kokkuvarisemiseni.

Läänemeri on seni olnud soodus koht võõrliikide invasiooniks ning hoolimata juba suurest edukate invasioonide arvust näib võõrliikide surve Läänemerele pigem kasvavat. Samas võivad võõrliikide invasiooniga kaasnevad mõjud kohalikule elustikule olla väga erinevad. Ülalpool kirjeldatud mõjude arvestamiseks ning potentsiaalseks vähendamiseks on oluline erinevate invasioonide staatuse hindamine invasiooni võimalikult varajases staadiumis.

## **2.2. Ida-lontmudil (*Proterorhinus semipellucidus* (Kessler, 1877))**

Perekonda lontmudil kuulub erinevate allikate põhjal kolm kuni viis liiki (e.g. Kottelat & Freyhof 2007; Neilson & Stepien 2009; Fricke *et al.* 2024). Morfoloogiliste tunnuste põhjal on liike väga raske eristada (e.g. Kottelat & Freyhof 2007; Neilson & Stepien 2009), mistõttu on määramisel ja nimetamisel ilmnenu omajagu segadust. Näiteks kui esialgu nimetati Lääne- ja Kesk-Euroopasse ning Suurde järvistusse invadeeruvat liiki marmor-lontmudilaks (e.g. Jude *et al.* 1992), siis hilisemad molekulaarsed analüüsid on kinnitanud hoopis lääne-lontmudila levikut (e.g. Neilson & Stepien 2009). Mõned allikad (sh Eschmeyeri kataloog Fricke 2024 *et al.*) käsitlevad valiitse liigina Krimmile endeemset Krimmi lontmudilat (*Proterorhinus tataricus* Freyhof & Naseka 2007). Uus liik kirjeldati aga morfoloogiliste tunnuste põhjal ja samastatakse sageli perekonna tüüpliigiga marmor-lontmudil (e.g. Sorokin *et al.* 2011). Eestist leitud isendid määrati molekulaarsete analüüsidega liigiks *Proterorhinus nasalis* (Truuverk *et al.* 2021). Samas käsitleb Zarei kolleegidega (2021, 2022) liiki kui Kaspia mere lõunaosa endeemi ja nimetab Läänemeres levivat lontmudilat nimetusega *Proterorhinus semipellucidus*. Kuna kalade süstemaatika autoriteetne allikas Eschmeyeri kataloog (Fricke *et al.* 2024) toetab Zarei artikleid, siis kasutatakse käesolevas töös nimetust *P. semipellucidus* – ida-lontmudil.

Ida-lontmudil (joonis 2) on seltsi ahvenalised (*Perciformes*) ja sugukonda mudillased (*Gobiidae*) kuuluv kuni 10 cm pikk pruunikirju kala, kelle ninasõõrmed on torujalt pikenenud. Lontmudilad toituvad eelkõige putukate vastsetest, harvem vähilaadsetest ja kalamaimudest (French & Jude 2001; Adámek *et al.* 2007; Ondračková *et al.* 2019). Liik asustab mõõduka taimestikuga, mudase ning kivise põhjaga litoraali (Uspenskiy 2020). Sarnaselt teiste Ponto-Kaspia regiooni liikidega, suudab ka ida-lontmudil olude muutudes vahetada toiduobjekti või elada suboptimaalsetes tingimustes (Ondračková *et al.* 2019). Tegu on portsjonkudejaga, kes koeb 2–3 korda hooaja jooksul, kindlustamaks sigimise edukust. Marja hulk sõltub kala suurusest ja vanusest, varieerudes 140 ja 1350 marjatera

vahel (Valová *et al.* 2015). Mari koetakse aprillis kuni juunis ning esimesed noorkalad on märgatavad juba juulis (Valová *et al.* 2015). Sügisel suunduvad lontmudilad sügavamatele talvitusaladele, kus ühesuvised kalad saavutavad talve jooksul suguküpsuse (Grabowska *et al.* 2019). Varakevadel, veetemperatuuri tõustes, ujuvad isased lontmudilad madalamasse kaldavette ning teevad kivikeste vahele pesa (Valová *et al.* 2015). Emased jõuavad sigimispaika veidi hiljem ning koevad varem valmistatud pessa, kus isane marja viljastab (Grabowska *et al.* 2019).



Joonis 2. Ida-lontmudil. Foto: Katarina Kurina

Pärast Truuverki ja kolleegide 2021. aastal avaldatud uuringut ei ole ida-lontmudila invasiooni käsitlevaid töid Läänemere piirkonnast teada. Seega ennustused tema mõju kohta Läänemeres põhinevad perekonna teiste liikide näidetel. Sellest hoolimata tasub iga uue liigi invasiooni kulgu tähelepanelikult jälgida. Ida-lontmudil on siiani Läänemeres jõudsalt levinud ning naturaliseerunud nii Eesti kui Soome rannikul (Kurina *et al.* avaldamiseks esitatud käsikiri). Liik asustab põhjataimestikuga rannikuvööndit ehk litoraali, mis on paljudele liikidele oluline toitumis-, sigimis- ja kudeala (Taal 2017). Seega on tõenäoline, et asustades litoraali taimestikurikkaid kiviseid elupaiku võib ida-lontmudil osutada oluliseks konkurendiks samu elupaiku kasutavatele kohalikele liikidele, nt lepamaimule (*Phoxinus phoxinus* (L., 1758)), väike mudilakesele (*Pomatoschistus minutus* (Pallas, 1770)), pisimudilakesele (*Pomatoschistus microps* (Kröyer, 1838)), ründile (*Gobio gobio* (L., 1758)) ja võldale (*Cottus gobio* L., 1758). Eesti põhjaranniku litoraalis on alates 2010ndatest levinud ka teine oluline võõr-kalaliik – ümarmudil (Pärn 2021). Kuna mainitud võõrliigid hõlmavad erinevaid nišse, siis ilmselt ei pärsi nende koos

eksisteerimine üksteise edukust. Vastupidi, ei ole võimatu, et sama päritolu tõttu võivad ümar- ja ida-lontmudil teineteise invasiooniedukust tõsta ja seeläbi võõrliikide mõju kohalikule elustikule veelgi tugevdada (e.g. Vašek *et al.* 2014; Gallardo & Aldridge 2015; Mikl *et al.* 2017).

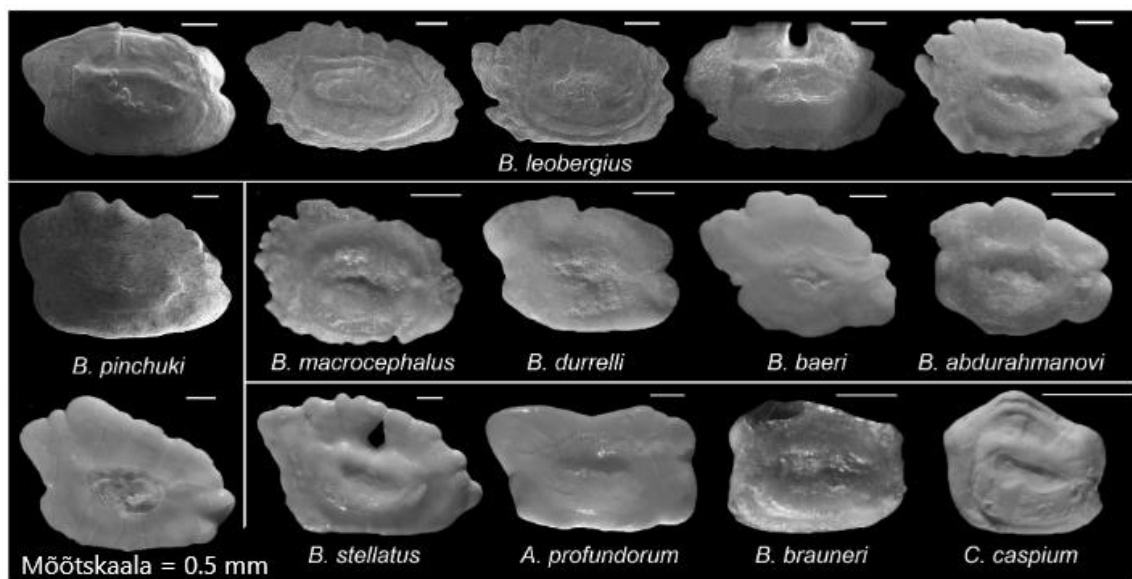
### **2.3. Otoliidid ja nende rakendused kalade ökoloogia uuringuis**

Kaltsiumkarbonaadist otoliidid on luukalade sisekõrvas paiknevad kuulmekivikesed, mis aitavad tajuda heli ja hoida tasakaalu. Otoliidid koosnevad peamiselt kaltsiumkarbonaadi maatriksist ja väikesest kogusest orgaanilisest ainest, sealhulgas valgust otoliin-1, mis toimib kaltsifikatsiooni substraadina (Campana 1999). Kuulmekivikeste pinnale tekivad valgulised kihid, mis kiiresti impregneeritakse mineraalse materjaliga ja kaltsifitseeritakse (Elsdon *et al.* 2008). Seega kajastavad otoliidid kogu kala eluea keemilist kronoloogiat (Elsdon *et al.* 2008). Ladestuvad kihid ja nende keemiline koostis annavad sisukat informatsiooni kala vanuse, bioloogia, evolutsiooni ja süstemaatika kohta (Popper *et al.* 2005).

Kalapopulatsioonide vanuseline struktuur on inimesele alati omajagu huvi pakkunud. Nimelt on vanus, kasvukiirus ja suremus elukäigutunnused, mis mõjutavad asurkonna produktiivsust kõige enam (Campana & Thorrold 2001). Otoliiite on käsitletud kui üht parimat vanuse määramise vahendit loomariigis. Kuulmekivikeste mikrostruktuur võimaldab interpreteerida nii kalade kasvukiirust kui ka kuni 110-aastaste isendite vanust (Campana & Thorrold 2001). Seetõttu on otoliidid väga väärtuslikud luukalade elukäigu ja liikumismustrite uurimisel (Elsdon *et al.* 2008). Näiteks saab otoliitide mikrokeemia alusel interpreteerida kalade liikumisi. Meetod tugineb kuulmekivikese erinevatel keemilistel signaalidel, mis on põhjustatud viibimisest erineva keemilise koostisega keskkonnas (Elsdon *et al.* 2008).

Seega on otoliitidesse talletatud andmete kasutamisel suur rakenduslik väärtus. Näiteks on otoliite kasutatud asurkondade vanuselise struktuuri hindamiseks, et määrata kalavarude püügikvooti (Campana 2001). Otoliidid võivad peegeldada parasiidi põhjustatud stressi. Nii on leitud, et angerja (*Anguilla anguilla* (L., 1758)) ujupõieparasiidi ümarussi *Anguillicoloides crassus* (Kuwahara, Niimi & Hagaki, 1974) arvukus mõjutab otoliidi kuju (Sahyoun *et al.* 2007). Otoliidid on väärtuslikud tööriistad looduslike asurkondade ja kasvanduse kalade eristamisel. Geladakis kolleegidega (2021) on näidanud, et

kalakasvatuste kuld-merikokrede (*Sparus aurata*, L. 1758) otoliidid on suuremad ja asümmeetrilisemad kui loodusest püütud kaladel. Perekondade ja liikide vahelised erinevused otoliitide morfoloogias on leidnud kasutust kalade taksonoomias ja fülogeneesi rekonstrueerimisel (Zarei *et al.* 2023). Näiteks kaheldakse otoliitide kuju suure muutlikkuse tõttu mudillaste perekond *Benthophilus* Eichwald, 1831 monofüleetilisuses (Zarei *et al.* 2023, joonis 3). Võõrliikide invasiooni uuringutes on otoliite seni kasutatud pigem harva, kuid järjest enam rakendatakse kuulmekivikesi võõrliikide päritolu, kudealade ja rändeteede kindlaks tegemisel, aga ka riskianalüüside koostamisel (Morissette & Whitledge 2022)



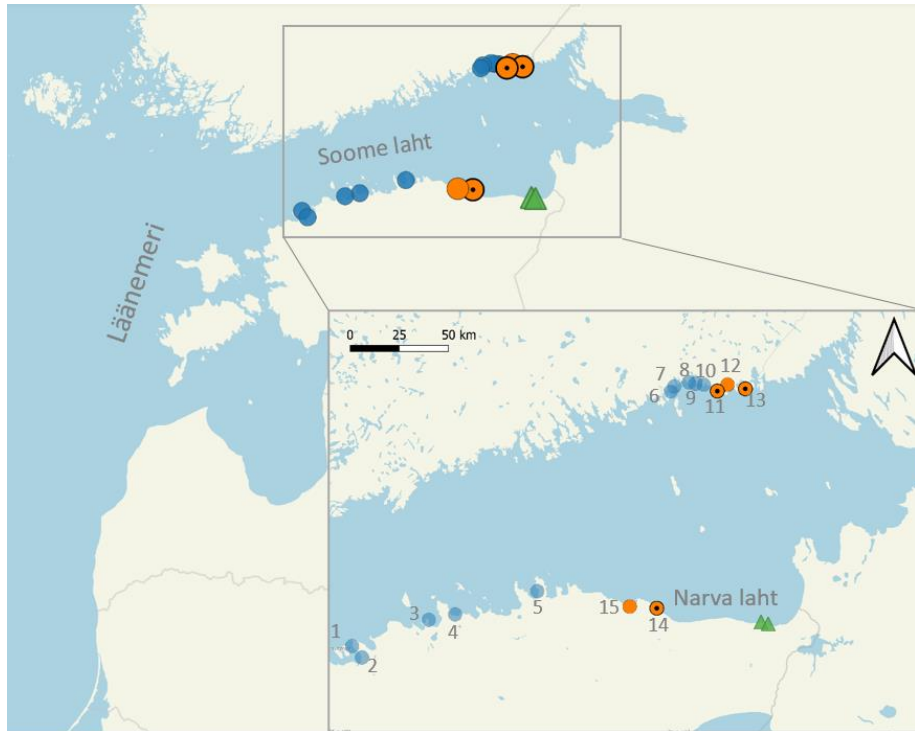
Joonis 3. Mudillaste perekondade *Benthophilus* Eichwald, 1831, *Anatirostrum* Iljin, 1930 ja *Caspiosoma* Iljin, 1927 liikide otoliitide morfoloogia (Zarei *et al.* 2023 kohandatud).

### 3. Materjal ja meetodid

#### 3.1. Välitööd

Pärast ida-lontmudila invasiooni kindlakstegemist Soome lahes alustati andmete kogumist kalaliigi leviku seiramiseks mainitud merealal. Selleks viidi 2022. aasta juunis läbi ekspeditsioon Soome lõunarannikul, kust varajasemad andmed selle liigi leviku kohta puudusid. Püügipunktid valiti vastavalt sihtliigi keskkonnanõuetele ja ligipääsu võimalustele (joonis 4) eelneva kaardianalüüsi alusel. Püügid teostati kaheksas punktis, millest ida-lontmudilaid leiti kolmes. Syvähiekanpohja ja Karjalanniemi püügipunktidest (joonis 4) tabati kokku 22 isendit, kellest 8 koguti antud töö jaoks. Püükide läbiviimiseks kasutati maimunoota (joonis 5), mille kõrgus oli 1,3 m, pikkus 2,2 m ja laius 1,2 m. Noot külgnest mõlemalt poolt 15 meetri pikkuste ja 1,3 meetri kõrguste tiibadega. Mõlema tiiva silma suurus esimesel 8 meetril oli 10 millimeetrit, kahanedes esmalt 5 millimeetrile ning lõpuks koonusekujulise noodapära juures 2 millimeetrile. Noota veeti 15-meetriste nõõridega kuni 1,1 m sügavuses rannikumeres kaldaga paralleelselt või selle suunas, tõmmete keskmine pindala oli 392 m<sup>2</sup>. Saak sorteeriti kohapeal, eraldades kõik ida-lontmudilad, kes fikseeriti etüülalkoholis kuni edasiste toiminguteni sama aasta sügisel. Kõik kohaliku elustiku esindajad vabastati nende loomulikku keskkonda noodaloomuse analüüsi käigus jooksvalt või võimalikult kiiresti pärast analüüsi.





Joonis 4. Uuringupiirkonnad. Sinised ringid (1–10) tähistavad punkte, kust ida-lontmudilat ei leitud. Oranžides punktides (11 = Syvähiekanpohja, 12 = Pyölinpohja, 13 = Karjalanniementie, 14 = Kalvi, 15 = Kunda sadam) oli sihtliik olemas. Antud töös käsitletakse isendeid ainult punktides 11; 13 ja 14 (tähistatud musta keskmise ringiga). Ida-lontmudila esmaleiud riimveelisest Soome lahest on märgitud roheliste kolmnurkadega. Baaskaart: Maa-amet.



Joonis 5. Ida-lontmudila püük maimunoodaga Rutja rannas, Lääne-Virumaal. Foto: Lauri Saks.



2022. aasta septembris viidi läbi proovipüügid ida-lontmudila leviku ulatuse selgitamiseks Eesti põhjarannikul. Uuriti seitset punkti, vastavalt varasemate aastate kogemusele ja liigi potentsiaalsetele leiukohtadele. Sihtliiki leiti kahest punktist. Püüke teostati kuni meetrisügavuses rannikumeres ühe-inimese lükkekahvaga (joonis 6), mis oli 0,62 m kõrge ja 0,82 m lai, silmasuurusega 3 mm. Keskmise kaetud pindala oli 23 m<sup>2</sup>. Esimesest püügikohast (Kalvi, joonis 4) püüti 34 ida-lontmudila isendit, kellest pooled külmutati otoliitide mikrokeemia analüüsi jaoks ja pooled säilitati etüülalkoholis. Kuna saadud ida-lontmudilate hulk oli piisav antud uurimuse jaoks, siis teistes püügikohtades neid enam ei kogutud, vaid toimiti vastavalt loodukaitse seaduse §57 (1), mille kohaselt on võõrliikide elusate isendite loodusesse laskmine keelatud.

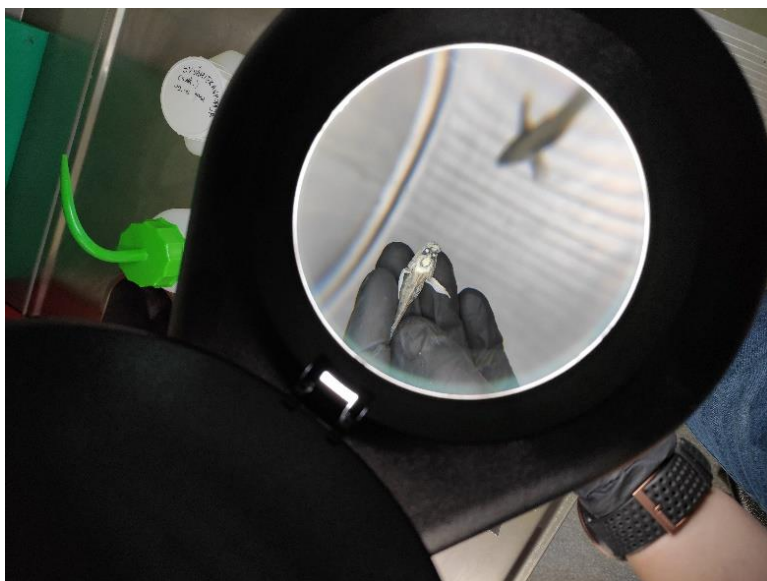
Sihtliik asustas nii Eesti kui Soome rannikul varieeruvate keskkonnatingimustega elupaiku. Vegetatsiooni katvus oli alla 10 kuni üle 50%, rannaprofiil oli lauge või väikese nõlvaga, põhjasubstraat oli mudane, muda-liiva segune, mudane ja väikeste kividega või üleni kivine.



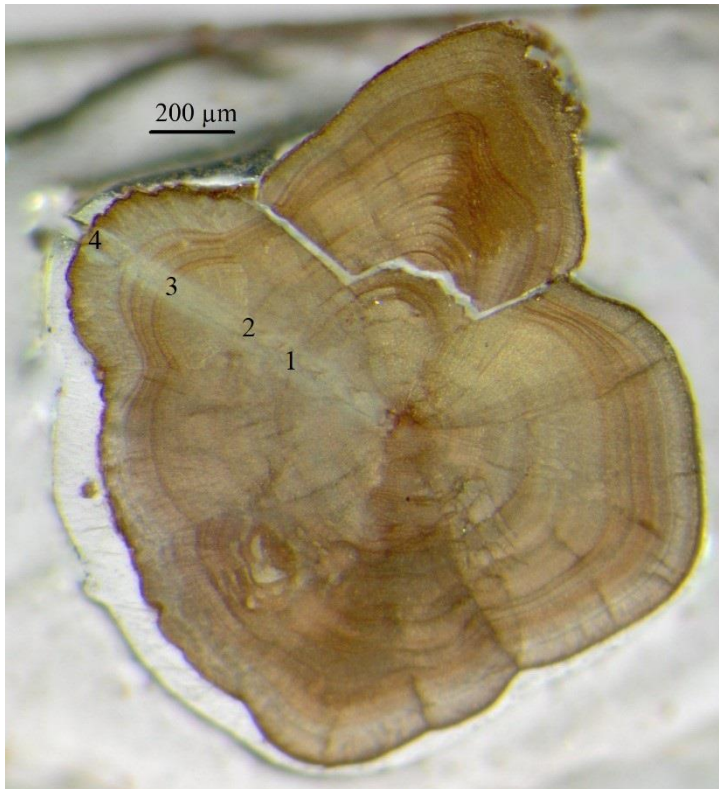
Joonis 6. Ida-lontmudila püük ühe-inimese lükkekahvaga. Foto: Katariina Kurina.

### 3.2. Otoliidide mikrokeemia ja -struktuuri analüüs

Uurimuse jaoks valiti erinevate suurusklasside kalad, kelle saba ei olnud DNA proovide jaoks kärbitud. Kuna naturaliseerumise tõestamiseks ei olnud niivõrd oluline kvantiteet, vaid erinevate vanuseklasside olemasolu tuvastamine, siis kaasati analüüsi üheksa Kalvi, kolm Syvähiekanpohja ja viis Karjalanniemi uurimisaladelt püütud ida-lontmudilat. 2022. aasta oktoobris viidi läbi nende isendite laboratoorne analüüs, mille käigus külmutatud isendid sulatati, misjärel mõõdeti kõikide analüüsi võetavate ida-lontmudilate täispikkused (TL). Otoliiidi paar (*sagitta*) võeti 17 kalalt (joonis 7), kuivatati köögipaberiga ja säilitati 0,5 ml mikrotoubides. Ülejäänud isendeid kasutati etanoolis fikseerimise mõju analüüsiks (vt ptk 3.3.) või säilitati edaspidiste uuringute tarbeks. Eraldatud otoliidipaarist liimiti üks juhuslikult valitud otoliit „Loctite“ liimiga mikroskoobi alusklaasile ja lihviti P2500 terasuuruse liivapaberiga. Kui otoliidi tuum oli otoliidi servaga samal tasapinnal (joonis 8), lõpetati ettevalmistus poleerides otoliiti P4000 liivapaberiga. Lihvimise käigus tunnistati uurimuseks sobimatuks kahe kala otoliidid nende ebatüüpilisuse tõttu.

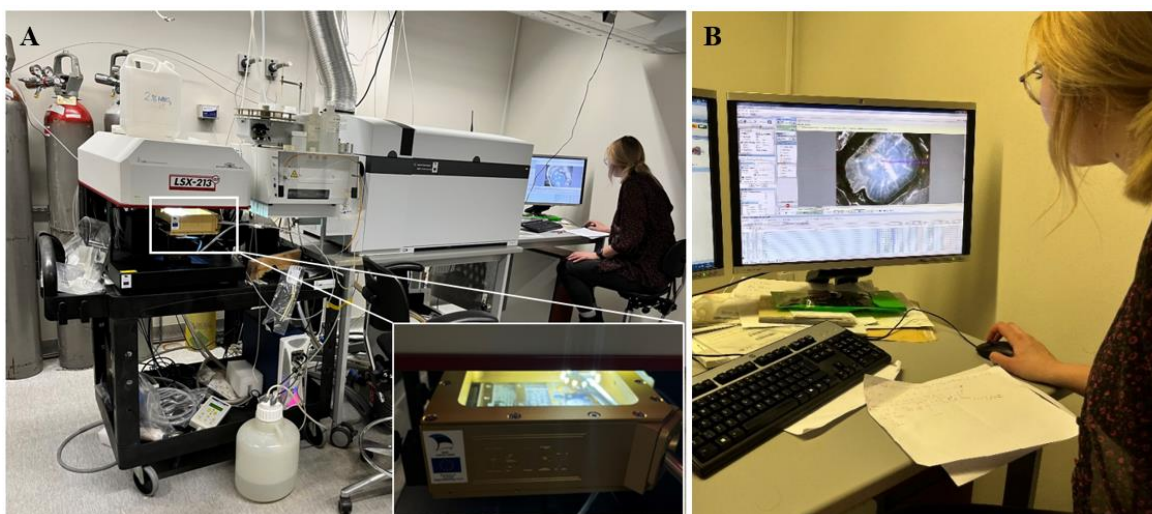


Joonis 7. Otoliidide kogumine. Foto: Katariina Kurina



Joonis 8. Ida-lontmudil nr 1 lihvitud otoliit. Foto: Katariina Kurina

Logistilistel põhjustel säilitati Syvähiekanpohja ja Karjalanniemi püügipunktidest kogutud isendeid etanoolis, mis välistas hilisema mikrokeemilise analüüsi. Mikrokeemiline analüüs viidi läbi vaid Kalvi püügipunktist kogutud ida-lontmudilate otoliitidel Tartu Ülikooli geoloogia osakonnas laserablatsioonüsteemiga varustatud induktiivseondatud plasma mass-spektromeetriga (*Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*, edaspidi LA-ICP-MS) (joonis 9A). Kirurgiliselt eraldatud otoliidid (joonis 7) puhastati ultraheliga NanoPure vees 15 minuti jooksul (joonis 10) ja kuivatati õhu käes. Seejärel kasutati LA-ICP-MS-i  $^{43}\text{Ca}$ ,  $^{88}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Ba}$  signaalide mõõtmiseks, mis hiljem redutseeriti element:Ca mmol/mol suhteks, kasutades võrdlusmaterjalina NIST612 (Rohtla *et al.* 2014). Pidevaid skaneeringuid jälgiti otoliitide südamikust servani (joonis 9B) skaneerimiskiirusega 5  $\mu\text{m/s}$  ja suurusega 40  $\mu\text{m}$ .



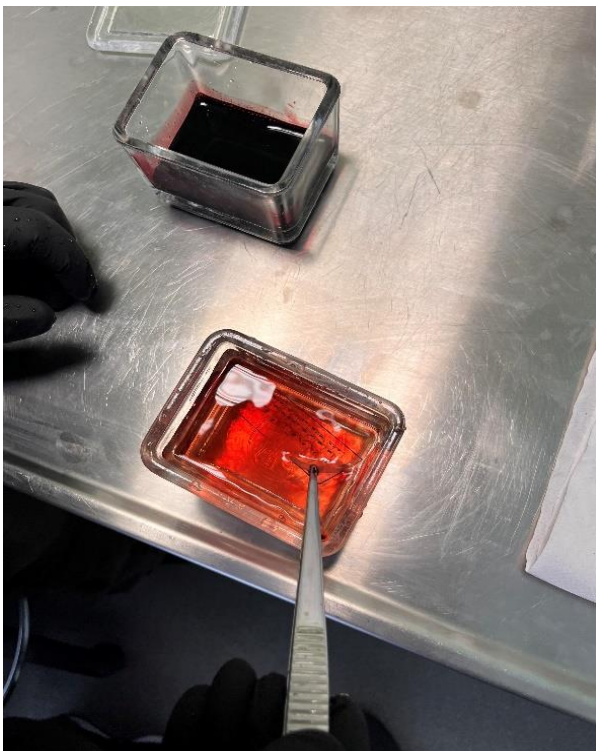
Joonis 9. A. Otoliidid plaat LA-ICP-MS masinas. B. Transekti tõmbamine otoliidi südamikust servani. Foto: Mehis Rohtla



Joonis 10. Otoliidide puhastamine ultraheliga. Foto: Katariina Kurina



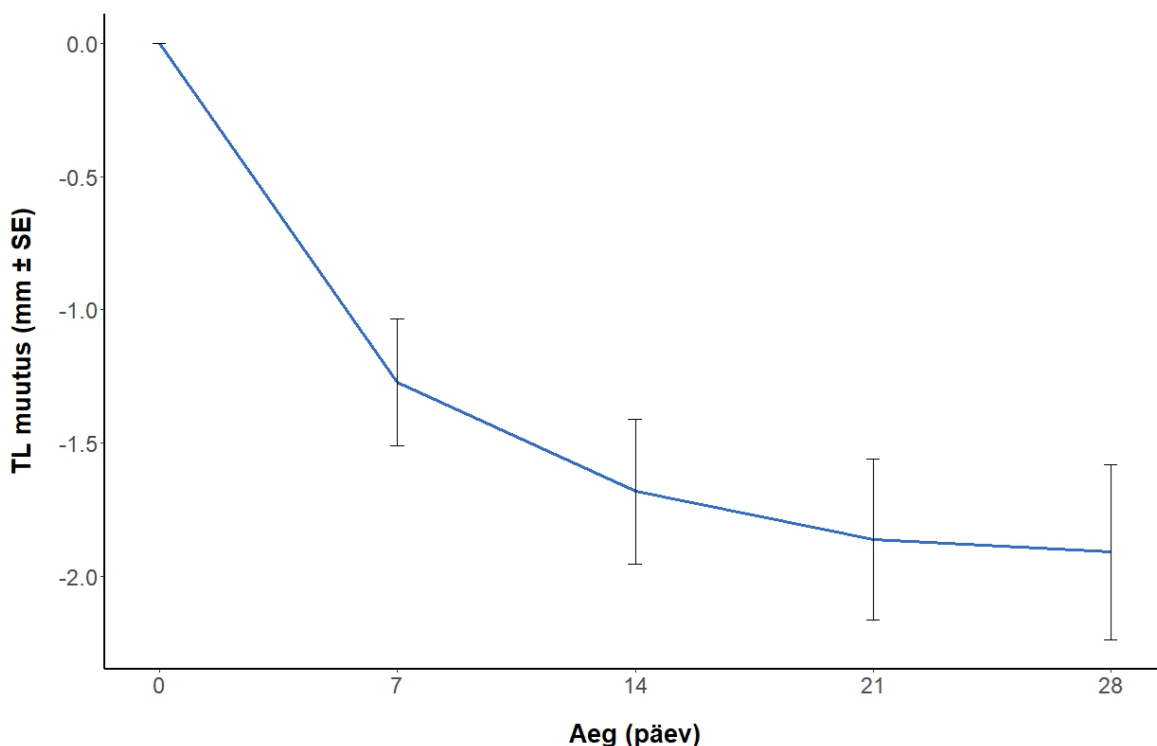
Kalade vanuse hindamiseks poleeriti, söövitati ja värviti kõik otoliidid neutraalpunase lahusega. Esmalt hoiti otoliidiplaati 20 sekundit 1% soolhappe vannis, loputati destilleeritud veega ning kuivatati majapidamispaperiga. Järgnevalt hoiti otoliite 2 minutit neutraalpunase(1%)-äädikhappe(0,5%) lahuses, misjärel plaat puhastati destilleeritud veega (joonis 11). Otoliite pildistati ja otoliitide raadiused mõõdeti  $94,5\times$  suurendusega stereomikroskoobiga (mudel SZX10, Olympus Corporation, väline valgusallikas Olympus KL 1500 LED). Otoliitide aastaringe loendasid kolm üksteisest sõltumatut hindajat. Kui lugejad ei jõudnud konsensusele, siis otoliit eemaldati valimist. Kokku jäeti välja üks otoliit viieteistkümnest. Aastaringe võrreldi otoliitide keemiliste profiilidega, et selgitada kalade liikumismustreid ja keskkonnatingimusi, milles kalad elanud olid. Kirjeldamiseks suhet kala täispikkuse (TL), vanuse ja otoliidi raadiuse ( $R_o$ ) vahel kasutati lineaarset regressioonanalüüsi.



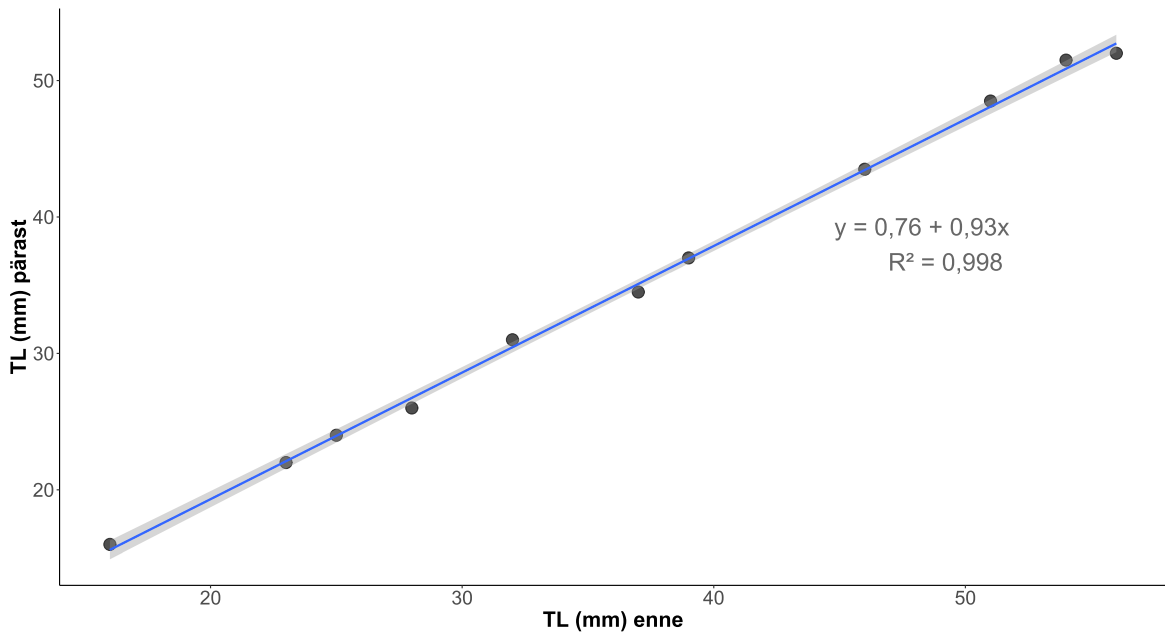
Joonis 11. Otoliidiplaadi loputamine neutraalpunase lahusest destilleeritud vees. Foto: Katariina Kurina

### 3.3. Täispikkuste tagasiarvutused

Etüülalkoholis fikseerimine vähendab kalade täispikkust (Melo *et al.* 2010) (joonis 12). Selleks, et selgitada välja etanoolis fikseerimise täpne mõju ida-lontmudilate kehapiikkusele, kasutati 11 Kalvi uurimisalalt püütud isendit. Neid kalu kasutati üksnes fikseerimise mõju uurimiseks. Keha täispikkuse muutusi mõõdeti 1 mm täpsusega mõõtelauaga nelja nädala jooksul 2022. aasta oktoobris. Kalade täispikkus langes (keskmiselt  $1,9 \text{ mm} \pm 0,33 \text{ SE}$ ) selle perioodi jooksul statistiliselt usaldusväärset (Friedmani ANOVA,  $\chi^2 = 35,19$ ;  $df = 4$ ;  $p < 0,001$ ). Kalade algse täispikkuse ja fikseerimisjärgse täispikkuse vahelise lineaarse regressiooni mudeliga (joonis 13) leiti tagasiarvutuste abil Soome püügipunktide fikseeritud ida-lontmudilate algne pikkus. Tagasiarvutustega saadud kalade pikkushinnangud olid statistiliselt usaldusväärsemad kui fikseerimisjärgsed mõõtmistulemused (Wilcoxon'i *signed rank*-test,  $n = 11$ ;  $W = 0$ ;  $z = 2,93$ ;  $p = 0,003$ ), mis õigustas tagasiarvutatud täispikkuste kasutamist edasisel analüüsil.



Joonis 12. Etanooliga fikseerimise mõju ida-lontmudilate täispikkusele (TL).



Joonis 13. Regressioon kala täispikkuste (TL) vahel enne ja pärast fikseerimist etüülalkoholis 95% usaldusvahemikuga.  $y = 0,76 + 0,93x$ ;  $R^2 = 0,998$ ;  $n = 11$ ;  $x$  näitab originaal täispikkust ja  $y$  täispikkust pärast fikseerimist etüülalkoholis.

### 3.4. Andmeanalüüs

Lineaarsed regressioonid kalade täispikkuste, otoliidi raadiuse ja vanuse vahel arvutati ning visualiseeriti tarkvaraprogrammis R funktsiooniga „lm()“ ja paketiga „esquisse“, andmete vastavust testi eeldustele kontrolliti Shapiro-Wilk testiga. Otoliitide mikrokeemiast saadud toorandmed teisendati element:Ca (mmol/mol) suhteks sõltuvalt kaugusest otoliidi tuumast. Sr:Ca ja Ba:Ca profiilide näitamiseks arvutati üheksa punkti jooksev keskmine (*9-point running mean*) paketiga „zoo“, mis on tavapärane viis otoliitide keemiliste profiilide esitamiseks. Ida-lontmudilate algsete ja fikseerimisjärgsete täispikkuste vahelised tagasiarvutused viidi läbi lineaarse regressiooni mudeliga. Friedmani ANOVA viidi läbi programmis Statistica ning Wilcoxon test programmis R paketiga „coin“. Tagasiarvutatud täispikkuste analüüsil kasutati mitteparameetrilisi teste, kuna pikkuste muutuste jaotus ei vastanud normaaljaotusele. Friedmani ANOVA võimaldas võrrelda kõiki mõõtmisi ja hinnata täispikkuste muutuse olulisust. Samas kui Wilcoxon *signed rank*-test oli sobilik sõltuvate andmeridade puhul ning näitas statistiliselt olulist erinevust fikseerimisjärgsete ja tagasiarvutustega saadud täispikkuste vahel.

### **3.5. Töö autori roll**

Käesoleva magistr töö autor osales välitöödel nii Soome kui Eesti rannikul. Kalu mõõtis ja otoliite prepareeris töö autor iseseisvalt, vastavalt eelnevale väljaõppele. Otoliitide mikrokeemiline analüüs viidi läbi TÜ geoloogia osakonna ja EMI kalabioloogia ja kalanduse osakonna liikmete abiga, töö autori aktiivsel osalusel. Otoliite värviti esmalt töörühma liikmete juhendamisel ning hiljem iseseisvalt. Andmeanalüüs teostati koostöös juhendajaga.



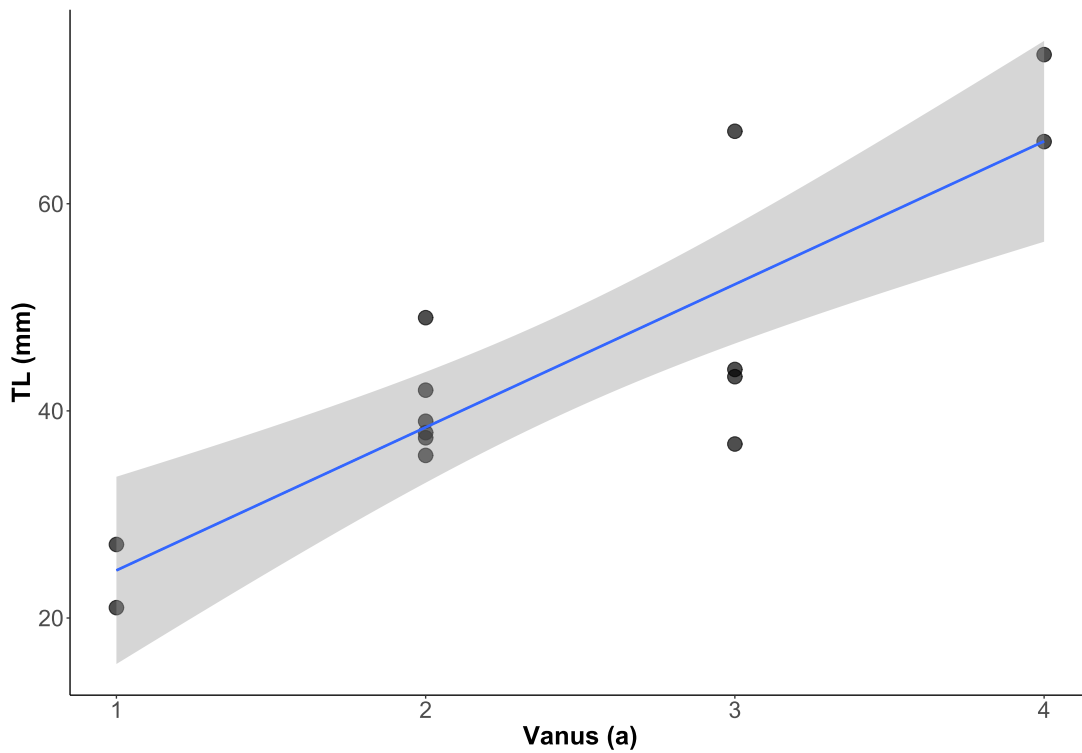
## 4. Tulemused

Ida-lontmudilate täispikkused varieerusid vahemikus 21 ja 74,4 mm, keskmiseks pikkuseks oli 44,3 mm. Nii Eesti kui Soome püügipunktide kalade vanus oli 1 kuni 4 aastat, keskmine vanus mõlemal rannikul oli 2+ aastat ( $\bar{X} = 2,43 \pm 0,25$  SE). Otoliidide raadius jäi vahemikku 311–1088  $\mu\text{m}$ , keskmise väärtusega 598,2  $\mu\text{m}$  (tabel 1). Seosed kalade vanuse ja täispikkuse ( $R^2 = 0,73$ ;  $p = 0,0001$ ) (joonis 14), otoliidi raadiuse ja täispikkuse ( $R^2 = 0,83$ ;  $p = 0,0001$ ) ja otoliidi raadiuse ning vanuse vahel ( $R^2 = 0,52$ ;  $p = 0,004$ ) olid statistiliselt usaldusväärsed (joonis 15).

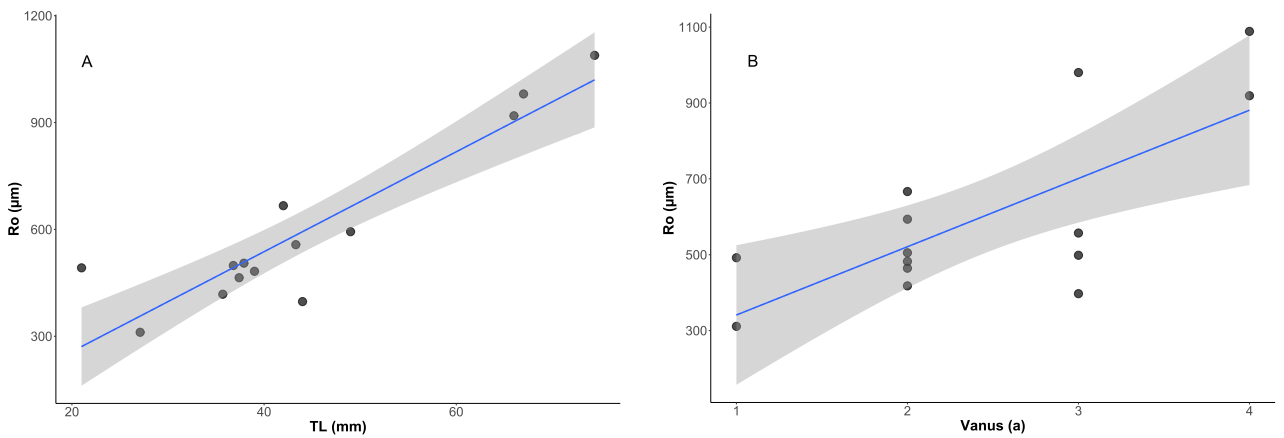
Tabel 1. Uuritud isendid. TL = täispikkus,  $R_o$  = otoliidi raadius.

Kala nr	Vanus (a)	TL (mm)	$R_o$ ( $\mu\text{m}$ )	Püügipunkt	Püügi kuupäev
1	4+	66	919,1	Kalvi	23 Sep 2022
2	1+	21	492,1	Kalvi	23 Sep 2022
3	2+	42	666,6	Kalvi	23 Sep 2022
4	3+	67	980,3	Kalvi	23 Sep 2022
5	2+	49	593,6	Kalvi	23 Sep 2022
6	3+	44	397,3	Kalvi	23 Sep 2022
8	2+	39	482,4	Kalvi	23 Sep 2022
9*	2+	37,4	464,4	Syvänhiekanpohja	9 Jun 2022
10*	3+	43,3	557,2	Syvänhiekanpohja	9 Jun 2022
12*	4+	74,5	1088,8	Karjalanniemi	10 Jun 2022
15*	2+	35,7	417,9	Karjalanniemi	10 Jun 2022
27*	2+	37,9	505,2	Karjalanniemi	10 Jun 2022
28*	3+	36,8	498,6	Karjalanniemi	10 Jun 2022
29*	1+	27,1	311,2	Karjalanniemi	10 Jun 2022

\* Tärn tähistab kalu, kelle täispikkus saadi tagasiarvutustega.

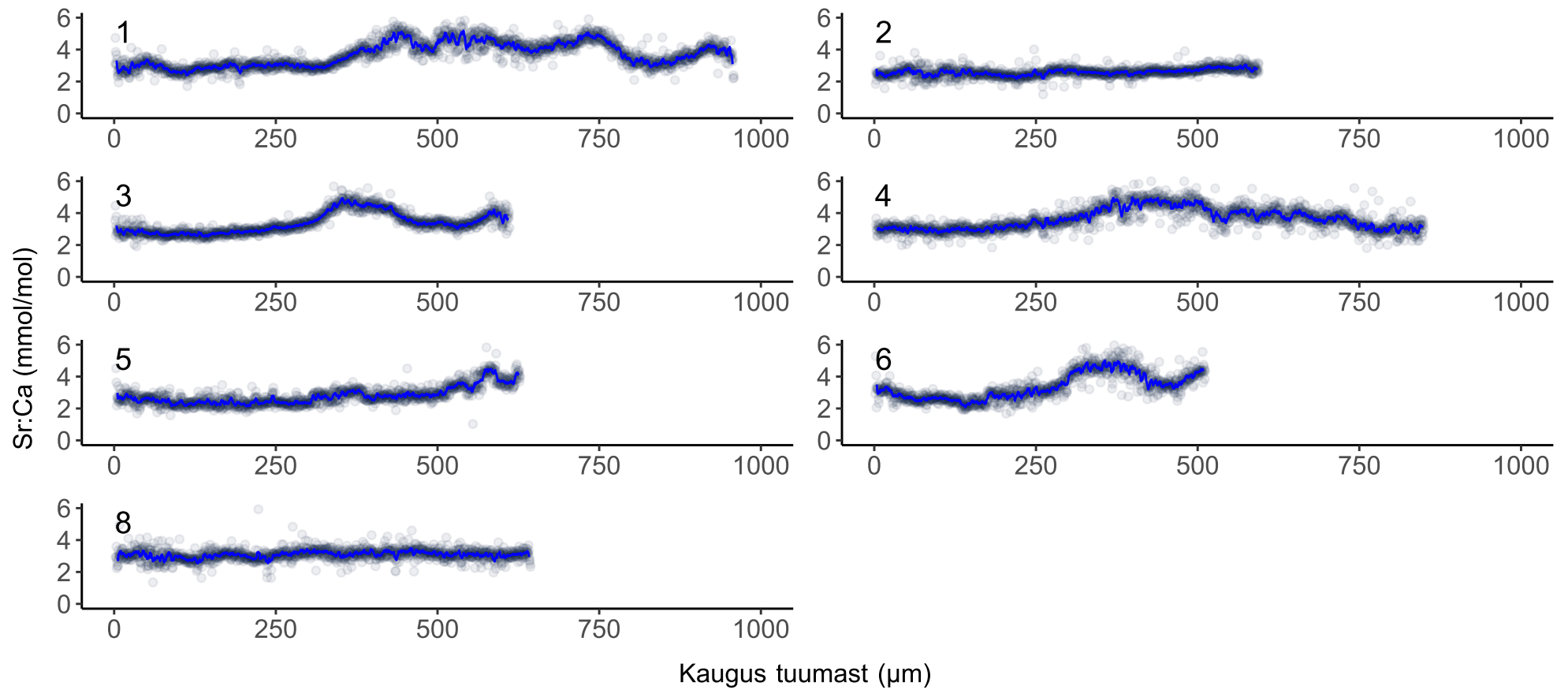


Joonis 14. Suhe uuritud kalade täispikkuse (TL) ja vanuse vahel 95% usaldusvahemikuga.

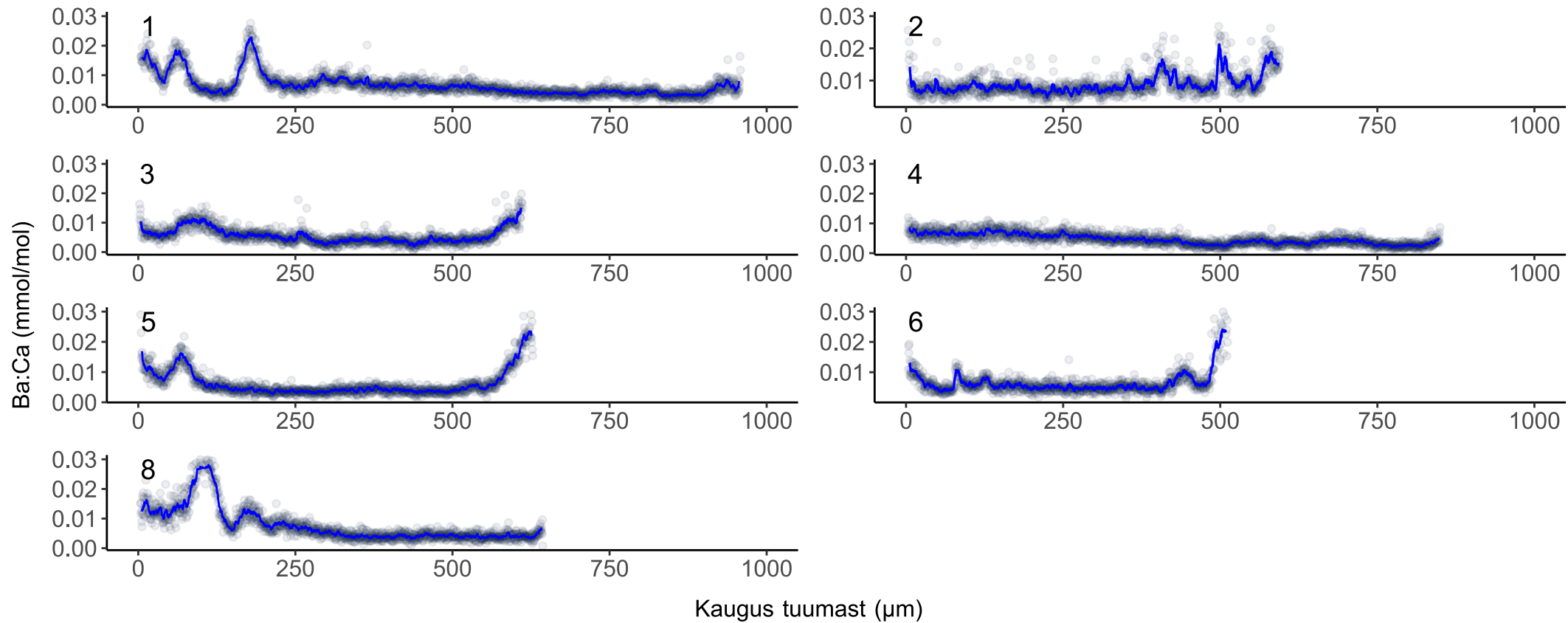


Joonis 15. Suhe uuritud kalade A. otoliidi raadiuse (Ro) ja täispikkuse (TL) ning B. otoliidi raadiuse ja vanuse vahel 95% usaldusvahemikuga.

Otoliitide strontsium-kaltsium suhe (edaspidi Sr:Ca) peegeldab keskkonna soolsust (Elsdon *et al.* 2008). Kalvi püügipunkti kalade otoliitides ei olnud jälgi mageveest. Sr:Ca kontsentratsioonide suhete väärtused jäid vahemikku 2,2 ja 5,0 mmol/mol, mis on tüüpilised riimvee väärtused (Rohtla *et al.* 2017; Matetski *et al.* 2022). Sr:Ca kontsentratsioon tõusis veidi enamike otoliitide välimises osas ja kõikus märkimisväärselt (joonis 16). Baarium-kaltsium (Ba:Ca) kontsentratsioonide suhe korreleerub negatiivselt keskkonna soolsusega (Macdonald & Crook 2010). Ba:Ca profiil kõikus vahemikus 0,002 kuni 0,028 mmol/mol (joonis 17).



Joonis 16. Erinevates vanuseklassides kalade otoliitide Sr:Ca profiilid. Vanus 1+ aastat = kala nr 2; vanus 2+ aastat = kalad nr 3, 5, 8; vanus 3+ aastat = kalad nr 4, 6; vanus 4+ aastat = kala nr 1.



Joonis 17. Erinevates vanuseklassides kalade otoliitide Ba:Ca profiilid. Vanus 1+ aastat = kala nr 2; vanus 2+ aastat = kalad nr 3, 5, 8; vanus 3+ aastat = kalad nr 4, 6; vanus 4+ aastat = kala nr 1.

## 5. Arutelu

Ida-lontmudil on riimveelise Soome lahe idaosa lõunarannikul saavutanud iseseisvalt paljuneva asurkonna. Sellele viitab nii erinevate vanuseklasside olemasolu (tabel 1) kui ka kalade koorumine riimvees (joonised 16–17). Soome lahe põhjarannikult püütud kalade vanuseline struktuur sarnanes lõunarannikul vaadelduga. Võrreldes asurkondade kaugusi võimalikust doonorpopulatsioonist ja invasioonikoridorist, on tõenäoline, et ida-lontmudil on naturaliseerunud terves Soome lahe idaosas.

Käesoleva töö käigus ei leitud ühtegi ühesuvist ida-lontmudila isendit. Põhjuseks võivad olla nii suboptimaalsed püügikuupäevad kui ka liiga suur silmasuurus. Juunis ei ole perekond lontmudila samasuvised isendid veel koorunud, samas kui septembris on need kalad veel liiga väikesed (Valová *et al.* 2015) ja ei pruugi olla kasutatud silmasuurustega püügivahenditega püütavad. Sellegipoolest võib erinevate vanuseklasside esinemist nii kevadel kui sügisel (tabel 1) pidada iseseisvalt taastootva asurkonna märgiks (Kocovsky *et al.* 2011). Sellele viitab ka see, et käesoleva uuringus kirjeldatud kalade pikkusjaotused on väga sarnased perekond lontmudila pikkusjaotusi vaadelnud uuringute tulemustega teistes naturaliseerunud asurkondades, näiteks Thaya jões Tšehhis (Valová *et al.* 2015), Suures järvistus USA-s (Kocovsky *et al.* 2011) või Neeva Lahes Venemaal (Uspenskiy 2020).

2020. aastal kinnitati esimene ida-lontmudila leid riimveelisest Soome lahest (Truuverk *et al.* 2021). Käesolevas töös uuritud isendite otoliitide aastaringid näitasid, et vanimad isendid olid püügihetkel (2022. aastal) 4+ aastat vana. Seega võib arvata, et liik jõudis Soome lahte vähemalt paar aastat enne esmaleide. Lontmudilad elavad 2–4 aastaseks (Harka & Farkas 2006), niisiis on uuritud isendite põhjal võimatu kindlaks teha täpset invadeerumise aega. Neeva lahes on lontmudil stabiilselt eksisteerinud alates 2006. aastast (Antsulevich 2007). Kuna ei saa välistada, et Neeva lahes ja riimveelises Soome lahes on tegu sama liigiga, siis on tõenäoline, et näeme siin naturaliseerunud asurkonna leviku seis. Sellele viitab ka liigi järjepidev levimine piki Eesti rannikut läände.

Kalvi püügipunkti ida-lontmudilate otoliitide keemilised profiilid ei näidanud kalade varasemat viibimist magevees. Magevesi oleks jätnud profiilidele oluliselt madalama Sr:Ca ja kõrgema Ba:Ca kontsentratsioonide suhte (*e.g.* Rohtla *et al.* 2017; Matetski *et al.* 2022). Uuritud isendid koorusid riimveelises keskkonnas ja on tõenäoline, et nad on rännanud varieeruva Sr:Ca kontsentratsiooni ja seega erineva soolsusega veemasside vahel. Samas võivad Sr:Ca kontsentratsiooni kõikumised olla põhjustatud ka Kalvi

püügikoha keskkonnatingimuste varieeruvusest. Kalad püüti Padajõe suudme lähedalt, kus tuul võib jõevee väljavoolu suunata vastavalt läände või itta ning seeläbi mõjutada piirkonna soolsustingimusi.

Kalade eluaegsed Sr:Ca kõikumised võivad tähendada ka hooajalisi liikumisi madalamast ja magedamast rannikumerest sügavamale ja kõrgema soolsusega merre (Tzeng *et al.* 1999, Rohtla suulised andmed 2024). On teada, et ida-lontmudilad kooruvad madalas rannikumeres ja migreeruvad talveks sügavamale (Valová *et al.* 2015). Lisaks võib arvata, et talvise jääkattega on Padajõe mõju lokaliseeritum, kuna tuuled ja lained mõjutavad vett vähem. Sellegipoolest viitab uuritud isendite koorumine ja senine elu riimvees pigem kohalikule kui Neeva lahe päritolule.

Kui otoliitide Sr:Ca suhe ja vee soolsus on positiivses korrelatsioonis, siis Ba:Ca kontsentratsioon langeb kõrgematel soolsustel (Macdonald & Crook 2010). Uuritud otoliitide põhjal võib öelda, et Sr:Ca ja Ba:Ca profiilid on tõepoolest mõneti vastandlikud: kui Sr:Ca kontsentratsioon on stabiilne, siis Ba:Ca suhe kõigub ja vastupidi. Samas võib otoliitide Ba:Ca suhet mõjutada ka kala toitumine (Elsdon *et al.* 2008) ja vegetatsiooni aastaajaline varieerumine (Fisher 1991). Seega ei võimalda käesoleva uuringu materjal otoliitide Sr:Ca ja Ba:Ca suhete alusel täpsemat interpretatsiooni ja ida-lontmudila vastavate keemiliste mustrite selgitamiseks on vaja täiendavaid uuringuid.

Võõrliikide mõju kohalikule elustikule on suuresti seotud toiduvõrgustike funktsioneerimisega. Nii saavutavad muutlikes keskkonnatingimustes edu eelkõige generalistid. Lontmudilate paindlikkus annab neile eelised haavatavas, pooleldi suletud, madala liigirikkusega Läänemeres. Suutlikkus vahetada toitumisstrateegiat keskkonna muutudes (Ondračková *et al.* 2019), tõstab oluliselt liigi vastupidavust ja ellu jäävust uues ökosüsteemis. Lisaks võib nende kiire kohanemisvõime anda neile konkurentsieelise kohalike liikide ees. Näiteks on bentostoidulise generalisti ümarmudila invasioon olnud üks olulisemaid kohalike kalakoosluste struktuuri mõjutajaid viimastel aastakümnetel (Pärn 2021). Arvestades, et ida-lontmudil ja invasiivne ümarmudil hõivavad erinevaid nišše, võib nende koosmõju kohalikule ökosüsteemile olla veelgi ulatuslikum (Vašek *et al.* 2014; Mikl *et al.* 2017). Kui ümarmudil on nii Eesti kui Soome rannikumeres elanud üle 20 aasta, siis ida-lontmudil on selles süsteemis veel uustulnuk ning tema mõju ning potentsiaalset koosmõju teiste liikidega kohalikule elustikule on vaja tulevikus selgitada.

Kolme aastaga on ida-lontmudilast saanud arvukas liik Eesti põhjarannikul Sillamäest kuni Natturi neemeni (Albert *et al.* 2024 avaldamata andmed). Lisaks on ida-lontmudilaid leitud juba ka Eesti põhjaranniku jõgedest (Taal *et al.* 2024 avaldamata andmed), mis tõendab liigi paindlikkust elupaiga suhtes. Arvestades liigi eurühaliinsust, siis võib oletada, et Eesti rannikumere soolsus ei ole levimisel takistav tegur. Teadaolevalt ei ole suudetud ühtegi naturaliseerunud veelist võõrliiki edukalt pidurdada või uuest ökosüsteemist kõrvaldada (Lusk *et al.* 2010). Seetõttu on ida-lontmudila süstemaatika, ökoloogia ja bioloogia edasine selgitamine, eriti piirkondades, kus see kala esineb võõrliigina, väga oluline.

Käesolevas töös saadud tulemused kinnitavad ida-lontmudila naturaliseerumist riimveelises Soome lahes. Siiski on vaja täiendavaid uuringuid, eeskätt ka teistes püügikohtades, et täpsustada otoliitide profiilide mustreid ning ida-lontmudila potentsiaalset mõju ja levikut Läänemeres. Vähemalt senised tulemused viitavad, et ida-lontmudila asurkond Soome lahes on tõenäoliselt püsiv ja levib Läänemeres edasi lääne suunas.



## Kokkuvõte

Eutrofeeruv, pooleldi suletud, vähese liikide arvu ja rohke laevaliiklusega Läänemeri on areali laiendavatele võõrliikidele soodus sihtkoht. Nii on tänaseks Läänemerest teada üle 200 võõrliigi ning uute indrokutsioonide kiirus näib kasvavat. Üks teadaolevalt uusimaid Läänemere võõrliike on Ponto-Kaspia regiooni päritolu ida-lontmudil. Iga võõrliik võib kujutada endast olulist mõju kohalikule ökosüsteemile, mistõttu on selliste invasioonide üksikasjalik jälgimine vajalik. Potentsiaalse mõju uurimiseks on aga esmalt oluline sedastada liigi invasiooni staatus. Käesoleva magistr töö eesmärgiks oli selgitada, kas Soome lahe ida-lontmudilad on saavutanud iseseisvalt taastootva asurkonna või püsib populatsioon järjepidevate introduktsioonide najal tõenäolisest doonorpopulatsioonist Neeva lahes.

Üldiselt kinnitatakse uue liigi naturaliseerumine noorkalade rohkuse ja erinevate vanuseklasside olemasoluga. Soome lahe ida-lontmudilate vanuse määramiseks uuriti seitsme Soome lõunaranniku ja seitsme Eesti põhjaranniku kala kuulmekivikesi (otoliite). Kuna perekonnale on iseloomulik noorjärkude triivimine, siis antud olukorras puhtalt vanuselise struktuuri interpreteerimisest ei piisanud. Selleks, et teada, kas ida-lontmudilad koorusid riimveelises Soome lahes või triivisid siia mageveelisest Neeva lahest, viidi Eesti kalade otoliitidel läbi mikrokeemia analüüs. Taustateadmiste täiendamiseks uuriti seoseid ka ida-lontmudilate täispikkuse, otoliidi raadiuse ja vanuse vahel. Lisaks leiti ka etanooliga fikseerimise mõju ida-lontmudilate täispikkusele, millest saadud tagasiarvutusi kasutati Soomest püütud isendite pikkusandmete interpreteerimisel.

Otoliitide mikrostruktuur näitas, et nii Eesti kui Soome rannikul on olemas erinevad ida-lontmudila vanuseklassid, mis viitab otseselt asurkonna naturaliseerumisele.

Mikrokeemilise analüüsi tulemused näitasid, et kõik uuritud ida-lontmudilad olid koorunud püügikohaga sarnastel soolsustel, mistõttu välistati triivimine mageveelisest Neeva lahest. Kuna Soome püügipunktide keskkonnatingimused, asurkondade vanuseline struktuur ja kaugus doonorpopulatsioonist on võrdlemisi sarnased Eesti tingimuste ja asurkonnaga, siis võib arvata, et ida-lontmudil on naturaliseerunud riimveelise Soome lahe idaosas tervikuna.

Kindlasti on oluline täiendavate uuringute tegemine, et kirjeldada täpsemalt ida-lontmudila invasiooni Eesti rannikumeres ja Läänemeres ning selgitada selle kalaliigi liikumismustreid, asurkonna vanuselist struktuuri ja potentsiaalsed mõju ning levikut.

## Summary

The eutrophic, semi-enclosed, species-poor yet ship traffic-rich Baltic Sea is susceptible to non-indigenous species. Presently, there are over 200 non-indigenous species identified in the Baltic Sea, and the rate of new introductions is escalating. One of the most recent non-indigenous additions to the Baltic Sea is Ponto-Caspian originated eastern tubenose goby. Each new species has the potential to exert a substantial impact on the local ecosystem, underscoring the imperative need for meticulous investigation into every invasion.

To comprehend the potential impact, it is essential to first ascertain the status of invasion. This master's thesis endeavours to determine whether the eastern tubenose gobies in the Gulf of Finland have established an independently reproducing population or persist through continuous introductions from the presumed donor population in Neva Bay.

Typically, naturalization is confirmed by the prevalence of younger specimens and the presence of various age classes. To discern the age of tubenose gobies in the Gulf of Finland, seven fish from the southern coast of Finland and seven from the northern coast of Estonia underwent examination of otolith microstructure. Because the genus tends to have drifting larvae, just looking at the age structure isn't enough to be sure if the species has become established. Consequently, microchemistry was applied to the otoliths of Estonian specimens to ascertain whether the studied gobies originated in the brackish Estonian coastal Sea or drifted from the freshwater Neva Bay. To augment background knowledge, the relationships between fish total length, otolith radius, and age were investigated. Additionally, the impact on total length resulting from preserving fish in ethyl alcohol was analysed.

The otolith microstructure disclosed the presence of diverse age classes, conclusively indicating the naturalization of the species. Microchemical analysis revealed that the studied tubenose gobies hatched in a salinity akin to that of the catching site, negating the possibility of larval drifting from freshwater Neva Bay. The similarity in environmental conditions at Finnish catching sites, the age structure of the Finnish population, and the proximity to the presumed mother population align closely with the conditions and specimens observed in Estonia, it is therefore plausible that the species has naturalized in the brackish eastern part of the Gulf of Finland as a whole.

Further research is imperative to elucidate moving patterns, population age structure, and the potential impact of the eastern tubenose goby in greater detail.

## Tänuavaldused

Sügav kummardus Mehis Rohtlale, Imre Taalile, Anu Albertile, Roland Svirgsdenile, Sanna Kuningale, Antti Lappalaisele, Redik Eschbaumile ning eriline tänu juhendaja Lauri Saksale nõuannete ja abi eest. Siirad tänusõnad ka Päärn Paistele, Mari-Liis Põlmele, Aare Verliinile ja teistele EMI kalabioloogia ja kalanduse osakonna töötajatele igakülgse toe ja juhendamise eest.

Lisaks „kalainimestele“ hoidsid magistritöö tegemise käigus motivatsiooni üleval sõbrad, lähedased ja pere. Aitäh, Robin, Annaleena, Elise Helena, Amaranta, Art, Tõnis, Pelle, Anni, Matis ja Liisa-Meta, et aitasite hoida kaht jalga maa peal ja pead pilvedes. Erilist mainimist on väärt minu vanavanemad, kes lasid mul lapsena värskelt merest püütud lestadega mängida, isa, kes on alati valmis mind teadusalaselt nõustama ja ema, kes õpetas elu mitte liiga tõsiselt võtma.

Aitäh!

## Kasutatud kirjandus

Viitamine vastab ajakirja Aquatic Invasions nõuetele.

Adámek Z, Andreji J, Gallardo JM (2007) Food Habits of Four Bottom-Dwelling Gobiid Species at the Confluence of the Danube and Hron Rivers (South Slovakia). *International Review of Hydrobiology* 92(4–5): 554–563, doi: 10.1002/iroh.200510998

Albert A, Taal I, Kisand V, Panksep K, Saks L (2024) Hingu (*Cobitis taenia*) ja võldase (*Cottus gobio*) leviku ulatuse hindamine ja seiremetoodika välja töötamine vastavalt EL merestrateegia raamdirektiivile. Tartu, 2024. Avaldamata andmed.

Antsulevich A (2007) First records of the tubenose goby *Proterorhinus marmoratus* (Pallas, 1814) in the Baltic Sea. *Aquatic Invasions* 2(4): 468–470, doi: 10.3391/ai.2007.2.4.23

AquaNIS (2024) Information System on Aquatic Non-Indigenous and Cryptogenic Species. [www.corpi.ku.lt/databases/aquanis](http://www.corpi.ku.lt/databases/aquanis) (Viimati külastatud: 09.04.2024)

Bagdanavičiūtė I, Umgiesser G, Vaičiūtė D, Bresciani M, Kozlov I, Zaiko A (2018) GIS-based multi-criteria site selection for zebra mussel cultivation: Addressing end-of-pipe remediation of a eutrophic coastal lagoon ecosystem. *Science of The Total Environment* 634: 990–1003, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.361

Bij De Vaate A, Jazdzewski K, Ketelaars HAM, Gollasch S, Van Der Velde G (2002) Geographical patterns in range extension of Ponto-Caspian macroinvertebrate species in Europe. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59(7): 1159–1174, doi: 10.1139/f02-098

Campana S (1999) Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series* 188: 263–297, doi: 10.3354/meps188263

Campana SE (2001) Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* 59: 197–242, doi: 10.1111/j.1095-8649.2001.tb00127.x

- Campana SE, Thorrold SR (2001) Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 30–38, doi: 10.1139/f00-177
- Canestrini G, Doria G, Ferrari PM, Lessona M (1862) Archivio per la zoologia, l'anatomia e la fisiologia / s.l., Genova, doi: 10.5962/bhl.title.52252
- Copilaș-Ciocianu D, Sidorov D, Šidagytė-Copilas E (2023) Global distribution and diversity of alien Ponto-Caspian amphipods. *Biological Invasions* 25: 179–195, doi: 10.1007/s10530-022-02908-1
- Cuthbert RN, Briski E (2021) Temperature, not salinity, drives impact of an emerging invasive species. *Science of The Total Environment* 780: 146640, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146640
- Demchuk AS, Uspenskiy AA, Golubkov SM (2021) Abundance and feeding of fish in the coastal zone of the Neva Estuary, eastern Gulf of Finland. *Boreal Environment Research* 26: 1–16
- Elsdon TS, Wells BK, Campana SE, Gillanders BM, Jones CM, Limburg CM, Secor DH, Thorrold SR, Walther BD (2008) Otolith chemistry to describe movements and life-history parameters of fishes: hypotheses, assumptions, limitations and inferences. *Oceanography and marine biology: an annual review* 46: 297–330
- Fisher NS, Guillard RRL, Bankston DC (1991) The accumulation of barium by marine phytoplankton grown in culture. *Journal of Marine Research* 49: 339–354
- French JRP, Jude DJ (2001) Diets and Diet Overlap of Nonindigenous Gobies and Small Benthic Native Fishes Co-inhabiting the St. Clair River, Michigan. *Journal of Great Lakes Research* 27: 300–311, doi: 10.1016/S0380-1330(01)70645-4
- Freyhof J, Naseka A (2007) *Proterorhinus tataricus*, a new tubenose goby from Crimea, Ukraine (Teleostei: Gobiidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters* 18(4): 325–334

- Fricke R, Eschmeyer WN, Van der Laan R (eds) (2024) Eschmeyer's catalog of fishes: genera, species, references.  
<https://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> (Viimati külastatud: 09.04.2024)
- Gallardo B, Aldridge DC (2015) Is Great Britain heading for a Ponto–Caspian invasional meltdown? *Journal of Applied Ecology* 52: 41–49, doi: 10.1111/1365-2664.12348
- García-Berthou E (2007) The characteristics of invasive fishes: what has been learned so far? *Journal of Fish Biology* 71: 33–55, doi: 10.1111/j.1095-8649.2007.01668.x
- Geladakis G, Somarakis S, Koumoundouros G (2021) Differences in otolith shape and fluctuating-asymmetry between reared and wild gilthead seabream (*Sparus aurata* Linnaeus, 1758). *Journal of Fish Biology* 98: 277–286, doi: 10.1111/jfb.14578
- Grabowska J, Błońska D, Marszał L, Przybylski M (2019) Reproductive traits of the established population of invasive western tubenose goby, *Proterorhinus semilunaris* (Actinopterygii: Perciformes: Gobiidae), in the Vistula River, Poland. *Acta Ichthyologica et Piscatoria* 49: 355–364, doi: 10.3750/AIEP/02642
- Harka A, Farkas J (2006) Growth and spawning period of the tubenose goby (*Proterorhinus marmoratus* (Pallas, 1811) in Lake Tisa (Eastern Hungary). *Oesterreichs Fischerei* 59: 194–201
- Hill JE (2008) Non-Native Species in Aquaculture: Terminology, Potential Impacts, and the Invasion Process. Southern Regional Aquaculture Center, University of Florida, USA, 8 lk
- Jude DJ, Reider RH, Smith GR (1992) Establishment of Gobiidae in the Great Lakes Basin. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49: 416–421, doi: 10.1139/f92-047
- Kliimaministeerium (2023) Võõrliigid. <https://kliimaministeerium.ee/voorliigid> (Viimati külastatud: 06.05.2024)
- Kocovsky PM, Tallman JA, Jude DJ, Murphy DM, Brown JE, Stepien CA (2011) Expansion of tubenose gobies *Proterorhinus semilunaris* into western Lake Erie

- and potential effects on native species. *Biological Invasions* 13: 2775–2784, doi: 10.1007/s10530-011-9962-5
- Koljonen M (2001) Conservation goals and fisheries management units for Atlantic salmon in the Baltic Sea area. *Journal of Fish Biology* 59: 269–288, doi: 10.1111/j.1095-8649.2001.tb01390.x
- Kotta J, Nurkse K, Puntila R, Ojaveer H (2016) Shipping and natural environmental conditions determine the distribution of the invasive non-indigenous round goby *Neogobius melanostomus* in a regional sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 169: 15–24, doi: 10.1016/j.ecss.2015.11.029
- Kotta J, Wernberg T, Jänes H, Kotta I, Nurkse K, Pärnoja M, Orav-Kotta H (2018) Novel crab predator causes marine ecosystem regime shift. *Scientific Reports* 8: 4956, doi: 10.1038/s41598-018-23282-w
- Kottelat M, Freyhof J (2007) Handbook of European freshwater fishes. Cornol, Switzerland and Berlin, Germany, 646 lk
- Kurina K, Rohtla M, Taal I, Albert A, Svirgsden R, Kuningas S, Lappalainen A, Eschbaum R, Saks L (2024) Here to stay: evaluating naturalization of eastern tubenose goby *Proterorhinus semipellucidus* (Kessler, 1877) in the Baltic Sea with otolith microchemistry and -structure. Avaldamiseks esitatud käsikiri.
- Kurina K (2022) Perekonna lontmudil (*Proterorhinus* Smitt, 1900) invasioon ja naturaliseerumine väljaspool looduslikku levilat. Bakalaureusetöö, Tartu Ülikool, 59 lk
- Leppäkoski E, Olenin S (2000) Non-native Species and Rates of Spread: Lessons from the Brackish Baltic Sea. *Biological Invasions* 2: 151–163, doi: 10.1023/A:1010052809567
- Liversage K, Kotta J, Kuprijanov I, Rätsep M, Nõomaa K (2021) A trophic cascade facilitates native habitat providers within assemblages of multiple invasive marine species. *Ecosphere* 12: e03621, doi: 10.1002/ecs2.3621



- Lusk S, Lusková V, Hanel L (2010) Alien fish species in the Czech Republic and their impact on the native fish fauna. *Folia Zoologica* 59: 57–72, doi: 10.25225/fozo.v59.i1.a9.2010
- Macdonald J, Crook D (2010) Variability in Sr:Ca and Ba:Ca ratios in water and fish otoliths across an estuarine salinity gradient. *Marine Ecology Progress Series* 413: 147–161, doi: 10.3354/meps08703
- Masin V (1992) Ökoloogialeksikon. Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn, 177 lk
- Matetski L, Rohtla M, Svirgsden R, Kesler M, Saks L, Taal I, Hommik K, Paiste P, Kielman-Schmitt M, Kooijman E, Birzaks J, Saura A, Ziņģis M, Vaitinen M, Vetemaa M (2022) Variability in stream water chemistry and brown trout (*Salmo trutta* L.) parr otolith microchemistry on different spatial scales. *Ecology of Freshwater Fish* 31: 438–453, doi: 10.1111/eff.12642
- Melo MT, Saturnino C, Santos JNS, Vasconcellos RM, Cruz-Filho AG, Araújo FG (2010) Correction of the weight and length for juveniles *Atherinella brasiliensis* (Actinopterygii: Atherinopsidae) after fixation in formalin and preservation in ethanol. *Zoologia (Curitiba)* 27: 892–896, doi: 10.1590/S1984-46702010000600009
- Mikl L, Adámek Z, Všetická L, Janáč M, Roche K, Šlapanský L, Jurajda P (2017) Response of benthic macroinvertebrate assemblages to round (*Neogobius melanostomus*, Pallas 1814) and tubenose (*Proterorhinus semilunaris*, Heckel 1837) goby predation pressure. *Hydrobiologia* 785: 219–232, doi: 10.1007/s10750-016-2927-z
- Momigliano P, Denys GPJ, Jokinen H, Merilä J (2018) *Platichthys solemdali* sp. nov. (Actinopterygii, Pleuronectiformes): A New Flounder Species From the Baltic Sea. *Frontiers in Marine Science* 5: 225, doi: 10.3389/fmars.2018.00225
- Morissette O, Whitley GW (2022) Listening with the invasive fish ear: applications and innovations of otolith chemistry analysis in invasive fish biology. *Environmental Biology of Fishes* 105: 327–343, doi: 10.1007/s10641-022-01217-9

- Neilson ME, Stepien CA (2009) Evolution and phylogeography of the tubenose goby genus *Proterorhinus* (Gobiidae: Teleostei): evidence for new cryptic species: Tubenose goby speciation and phylogeography. *Biological Journal of the Linnean Society* 96: 664–684, doi: 10.1111/j.1095-8312.2008.01135.x
- Nõomaa K, Kotta J, Szava-Kovats R, Herkül K, Eschbaum R, Vetemaa M (2022) Novel Fish Predator Causes Sustained Changes in Its Prey Populations. *Frontiers in Marine Science* 9: 849878, doi: 10.3389/fmars.2022.849878
- Ondračková M, Všeticková L, Adámek Z, Kopeček L, Jurajda P (2019) Ecological plasticity of tubenose goby, a small invader in South Moravian waters. *Hydrobiologia* 829: 217–235, doi: 10.1007/s10750-018-3833-3
- Orlova M, Golubkov S, Kalinina L, Ignatieva N (2004) *Dreissena polymorpha* (Bivalvia: Dreissenidae) in the Neva Estuary (eastern Gulf of Finland, Baltic Sea): Is it a biofilter or source for pollution? *Marine Pollution Bulletin* 49: 196–205, doi: 10.1016/j.marpolbul.2004.02.008
- Orlova MI, Telesh IV, Berezina NA, Antsulevich AE, Maximov AA, Litvinchuk LF (2006) Effects of nonindigenous species on diversity and community functioning in the eastern Gulf of Finland (Baltic Sea). *Helgoland Marine Research* 60: 98–105, doi: 10.1007/s10152-006-0026-7
- Pärn J (2021) Muutused Eesti rannikumere suvises püsikalastikus seoses ümarmudila invasiooniga aastatel 1997-2020. Magistritöö, Tartu Ülikool, 39 lk
- Popper AN, Ramcharitar J, Campana SE (2005) Why otoliths? Insights from inner ear physiology and fisheries biology. *Marine and Freshwater Research* 56: 497, doi: 10.1071/MF04267
- Reid DF, Orlova MI (2002) Geological and evolutionary underpinnings for the success of Ponto-Caspian species invasions in the Baltic Sea and North American Great Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59: 1144–1158, doi: 10.1139/f02-099

- Ricciardi A (2001) Facilitative interactions among aquatic invaders: is an “invasional meltdown” occurring in the Great Lakes? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 2513–2525, doi: 10.1139/f01-178
- Rohtla M, Svirgsden R, Verliin A, Rumvolt K, Matetski L, Hommik K, Saks L, Vetemaa M (2017) Developing novel means for unravelling population structure, provenance and migration patterns of European whitefish *Coregonus lavaretus* s.l. in the Baltic Sea. *Fisheries Research* 187: 47–57, doi: 10.1016/j.fishres.2016.11.004
- Rohtla M, Vetemaa M, Taal I, Svirgsden R, Urtson K, Saks L, Verliin A, Kesler M, Saat T (2014) Life history of anadromous burbot (*Lota lota*, Linnaeus) in the brackish Baltic Sea inferred from otolith microchemistry. *Ecology of Freshwater Fish* 23: 141–148, doi: 10.1111/eff.12057
- Sahyoun R, Claudet J, Fazio G, Da Silva C, Lecomte-Finiger R (2007) The otolith as stress indicator of parasitism on European eel. *Vie et Milieu / Life & Environment* 57: 193–200
- Slynko YV (2010) Naturalization of tubenose goby *Proterorhynchus marmoratus* (Pallas, 1814) (Pisces: Perciformes: Gobiidae) in the Rybinsk water reservoir. *Russian Journal of Biological Invasions* 1: 26–29, doi: 10.1134/S2075111710010066
- Snoeijs-Leijonmalm P, Schubert H, Radziejewska T (2017) Biological Oceanography of the Baltic Sea. Springer, Dordrecht, Netherlands, 696 lk
- Sorokin PA, Medvedev DA, Vasil’ev VP, Vasil’eva ED (2011) Further studies of mitochondrial genome variability in Ponto-Caspian *Proterorhynchus* species (Actinopterygii: Perciformes: Gobiidae) and their taxonomic implications. *Acta Ichthyologica Et Piscatoria* 41: 95–104, doi: 10.3750/AIP2011.41.2.04
- Sparholt H (1994) Fish species interactions in the Baltic Sea. *Dana* 10: 131–162
- Taal I (2017) Causes of variation in littoral fish communities of the Eastern Baltic Sea: from community structure to individual life histories. Doktoritöö, Tartu Ülikool, 62 lk

- Taal I, Svirgsden R, Kesler M, Saks L, Karvak J, Vetemaa M, Truuverk A (2024) Tubenose goby *Proterorhinus semipellucidus* continues its spread in the Baltic Sea basin: first record from temperate salmonid stream (Estonia). *Avaldamata andmed*.
- Truuverk A, Taal I, Eschbaum R, Albert A, Verliin A, Kurina K, Saks L (2021) Molecular analysis reveals the invasion of eastern tubenose goby *Proterorhinus nasalis* De Filippi, 1863 (Perciformes: Gobiidae) into the Baltic Sea. *BioInvasions Records* 10: 701–709, doi: 10.3391/bir.2021.10.3.20
- Tzeng WN, Severin KP, Wickström H, Wang CH (1999) Strontium Bands in Relation to Age Marks in Otoliths of European Eel *Anguilla anguilla*. *Zoological Studies* 38: 452–457
- Uspenskiy AA (2020) Distribution and population characteristics of the invasive tubenose goby *Proterorhinus marmoratus* (Pallas, 1814) in the eastern Gulf of Finland. *Proceedings of the Zoological Institute RAS* 324: 459–475, doi: 10.31610/trudyzin/2020.324.4.459
- Valová Z, Konečná M, Janáč M, Jurajda P (2015) Population and reproductive characteristics of a non-native western tubenose goby (*Proterorhinus semilunaris*) population unaffected by gobiid competitors. *Aquatic Invasions* 10: 57–68, doi: 10.3391/ai.2015.10.1.06
- Vašek M, Všeticková L, Roche K, Jurajda P (2014) Diet of two invading gobiid species (*Proterorhinus semilunaris* and *Neogobius melanostomus*) during the breeding and hatching season: No field evidence of extensive predation on fish eggs and fry. *Limnologica* 46: 31–36, doi: 10.1016/j.limno.2013.11.003
- Verliin A, Kesler M, Svirgsden R, Taal I, Saks L, Rohtla M, Hubel K, Eschbaum R, Vetemaa M, Saat T (2017) Invasion of round goby to the temperate salmonid streams in the Baltic Sea. *Ichthyological Research* 64: 155–158, doi: 10.1007/s10228-016-0537-4
- Vetemaa M (2006) Invasion history and population structure of the alien gibel carp *Carassius gibelio* in Estonian marine waters, in: Ojaveer, H. et al. (Ed.) *Alien*

- invasive species in the north-eastern Baltic Sea: population dynamics and ecological impacts. Estonian Marine Institute Report Series 14, 2006, 30–34 lk
- Vibrickas J (2000) Lietuvos žuvys (“Fish of Lithuania”). Trys žvaigždutės, Vilnius, 192 lk
- Witkowski A, Grabowska J (2012) The Non-Indigenous Freshwater Fishes of Poland: Threats to the Native Ichthyofauna and Consequences for the Fishery: A Review. *Acta Ichthyologica Et Piscatoria* 42: 77–87, doi: 10.3750/AIP2011.42.2.01
- Zaiko A, Paškauskas R, Krevš A (2010) Biogeochemical alteration of the benthic environment by the zebra mussel *Dreissena polymorpha* (Pallas). *Oceanologia* 52: 649–667
- Zarei F, Esmacili HR, Schliewen UK, Abbasi K (2022) Taxonomic diversity and distribution of the genus *Proterorhinus* (Teleostei: Gobiidae) in the Caucasus biodiversity hotspot with conservation implications. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 32: 129–138, doi: 10.1002/aqc.3728
- Zarei F, Esmacili HR, Schliewen UK, Abbasi K, Sayyadzadeh G (2021) Mitochondrial phylogeny, diversity, and ichthyogeography of gobies (Teleostei: Gobiidae) from the oldest and deepest Caspian sub-basin and tracing source and spread pattern of an introduced *Rhinogobius* species at the tricontinental crossroad. *Hydrobiologia* 848: 1267–1293, doi: 10.1007/s10750-021-04521-0
- Zarei F, Esmacili HR, Stepien CA, Kovačić M, Abbasi K (2023) Otoliths of Caspian gobies (Teleostei: Gobiidae): Morphological diversity and phylogenetic implications. *PLOS ONE* 18: e0285857, doi: 10.1371/journal.pone.0285857

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Katariina Kurina,

annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Ida-lontmudila (*Proterorhinus semipellucidus* (Kessler, 1877)) naturaliseerumise hindamine Soome lahes otoliitide mikrostruktuuri ja -keemiaga“, mille juhendaja on Lauri Saks,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

*Katariina Kurina*

**23.05.2024**