

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

Stella Miil

**Eesti siirdesiia (*Coregonus maraena*) ja merisiia (*Coregonus widegreni*) asurkondade
morfomeetriline analüüs**

Magistritöö

Juhendajad: Lauri Saks PhD

Aare Verliin MSc

Tartu 2023

Infoleht

Eesti siirdesiia (*Coregonus maraena*) ja merisiia (*Coregonus widegreni*) asurkondade morfomeetriline analüüs

Morfomeetriliste mõõtmiste andmestikuga läbi viidud peakomponentanalüüsi põhjal oli kõige rohkem erinevusi merisiia ja siirdesiia vahel peamiselt pea kujus ja keha kõrgustes ning väiksemal määral ka sabavarre jämeduses ning keha pikkuses. Kanooniline diskriminantanalüüs kinnitas, et emased merisiid ja isased merisiid olid mõõtmispunktide paiknemise alusel siirdesiigadest eristatavad. Seevastu emaste ja isaste siirdesiigade puhul sellist erisust ei ilmnunud. Ristvalideerimise analüüsi põhjal suudeti merisiigu õigesti paigutada 81,7 % ja siirdesiigu 85,8 % kordadel. Emaseid merisiigu 68,1 % kordadel ja isaseid merisiigu 76,5 % kordadel, emaseid siirdesiigu 47,2 % kordadel ja isaseid siirdesiigu 37,3 % kordadel.

Märksõnad: liikide eristamine, morfomeetriline analüüs, merisiig (*Coregonus widegreni*), siirdesiig (*Coregonus maraena*)

Morphometric analysis of Estonian Maraena (*Coregonus maraena*) and Valaam (*Coregonus widegreni*) whitefish populations

Principal component analysis was carried out with the morphometric measurement dataset, the main differences between the Valaam whitefish and the Maraena whitefish were in the shape of the head and depth of the body and to a lesser extent in the roughness of the tail and in the body length. The canonical discrimination analysis confirmed that the female and male Valaam whitefish were distinguishable from the Maraena whitefish by the location of the measurement points. In contrast, no such difference was observed between female and male maraena whitefish. Based on the cross-validation analysis, 81.7% of the Valaam whitefish and 85.8% of the Maraena whitefish were correctly placed. In comparison between the sexes in Valaam whitefish females were correctly placed 68,1% of the time and males 76,5% of the time and in Maraena whitefish species the females 47,2% of the time and the males 37,3% of the time.

Keywords: differentiation between species, morphometric analysis, Valaam whitefish (*Coregonus widegreni*), Maraena whitefish (*Coregonus maraena*)

Sisukord

| | |
|---|----|
| 1. Sissejuhatus | 4 |
| 2. Materjal ja meetodika..... | 8 |
| 2.1. Püügiandmete kogumine | 8 |
| 2.2. Fotode valik..... | 10 |
| 2.3. Mõõtepunktide valik..... | 10 |
| 2.4. Mõõtepunktide määramine | 11 |
| 2.5. Fotode analüüs MorphoJ ja Statistica 7 programmiga | 12 |
| 2.6. Töö autori roll..... | 13 |
| 3. Tulemused | 14 |
| 3.1. Siialiikide eristamine peakomponentanalüüsi põhjal | 14 |
| 3.2. Gruppide paiknemine üksteise suhtes..... | 16 |
| 3.3. Klassifitseerimise täpsus..... | 19 |
| 4. Arutelu..... | 24 |
| 5. Kokkuvõte | 29 |
| 6. Summary..... | 30 |
| 7. Tänuavaldused..... | 32 |
| 8. Kasutatud kirjandus | 33 |
| Internetiallikad..... | 37 |
| Lisa 1 | 38 |
| Lisa 2 | 39 |

1. Sissejuhatus

Liikide levikut Euroopas on oluliselt mõjutanud jääaeg, mis lõppes Põhja-Euroopas ligikaudu 10 000 aastat tagasi. Sarnaselt mitmete teiste liikidega levisid euroopa erinevad siiavormid pärast viimase jääaja lõppu sobivatele aladele kolmest peamisest refuugiumist ehk isoleeritud kohast, kus ennist laialt levinud liigid said jäätumisperioodi üle elada (Østbye *et al.*, 2005). Refuugiumiteks olid liustike ette moodustunud järved, millest mööda jõgede valgalsid vee-elustik taas laiematele aladele levis. Üks olulisemaid levimisteid kujunes ida- ja kirdepoolsetelt aladelt Läänemere nõo suunas (Mangerud *et al.*, 2004).

I ja II maailmasõja ning seejärel raudse eesriide tõttu oli Euroopas takistatud teadustööde läbiviimine ning ka laiem teabevahetus riikide vahel. Sel perioodil polnud selgeid teadmisi siialiikide täpsest arvust Euroopas. Põhjalikuma ülevaate piirkonna mageveekalade süstemaatikast, koondades teadaolevate uurimistööde tulemusi, tegi 20. sajandi lõpul Šveitsi teadlane Maurice Kottelat (Kottelat, 1997).

Arvestades siia väga suurt vormirohkust Euroopas on mõistlik rääkida siia erinevate vormide puhul laiemast *Coregonus lavaretus* ehk euroopa siia kompleksist, kus liike ei ole tunnuste põhjal omavahel paraku kerge eristada. Kalade süstemaikat käsitleva veebiandmebaasi FishBase (<https://rb.gy/2uoebe>, 22.01.2024) järgi kuulub perekonda 78 liiki, kellest viis on levinud ka Eestis. Nendeks on rääbis (*Coregonus albula*), peipsi siig (*Coregonus maraenoides*), peled (*Coregonus peled*), merisiig (*Coregonus widegreni*) ja siirdesiig (*Coregonus maraena*). Eelnevatest on peledid ainukesed, kes elutsevad vaid järvedes, nii rääbis kui ka peipsi siig võivad ka merre riimveelisesse keskkonda laskuda. Meres esinevad merisiig ja anadroomne siirdesiig.

Kottelat (1997), leidis, et nii sugukondade oli nii *Salmonidae* kui ka *Coregonidae* puhul alahinnatud nende liigirohkust ning *Coregonidae* liikide puhul ei piisa pelgalt lõpusepiide arvu põhjal liikide määramisest. Eestis Läänemeres esinevaid siia liike on välispidiselt omavahel keeruline eristada, kuigi merisiia ja siirdesiia vahel on olulisi bioloogilisi ja füsioloogilisi erinevusi. Merisiia kudemisaeg kestab oktoobri lõpust detsembri esimese pooleni, mil ta koeb marja kruusa-liivasele pinnale poole kuni kahe meetri sügavusele, Ruhnu saare lähedal isegi 15 meetri sügavusele (Sõrmus ja Turovski, 2003). Kudemine toimub veepinna lähedal, kus siiad heidavad marja ja niisa vette ning seejärel vajub viljastatud mari põhja, kust aprillis koorunud maimud koguvad parvedesse (Sõrmus ja Turovski, 2003). Siirdesiig koeb suuremate jõgede kärestikes (Pärnu jões) või siis meres

kivise-kruusase põhjaga lõikudes oktoobri keskpaigast novembri alguseni (Rasmann *et al.*, 2016, Saat, 2022). Lisaks on siirdesiigade kasvukiirus ja viljakus suurem merisiigade omast (Saat, 2022; Sõrmus ja Turovski, 2003).

Kuna siialiigid on morfoomeetriliselt sarnased, siis on nende eristamiseks lähtunud peamiselt lõpusepiide arvust, mis on päritav tunnus ning hübriidide seas jääb lõpusepiide arv vahepealseks (Bernatchez, 2003). Seetõttu on see sageli usaldusväärne viis liikide määramiseks, kuid Eesti kalamajanduses ei eristata merisiiga ja siirdesiiga eraldi, vaid kõik andmed püügistatistikas kogutakse ühe liigina. Kui liike eristada, siis on merisiia püügikogused võrreldes siirdesiiga väga madalad (Saks *et al.*, 2020). Ajalooliselt on olnud siig Läänemere piirkonnas oluline püügikala. Suurenenud püügikoormus ja püügivahendite tõhustumine põhjustas siiasaakide kasvu 20. sajandi esimesel poolel, millele järgnes kiire saakide vähenemine 1950-datest alates (Verliin *et al.*, 2013). Eesti siiasaagid langesid perioodil 1960-2000 enam kui 100 tonnilt aastas vähem kui 10 tonnini aastas (Verliin *et al.*, 2013). Viimastel aastatel on püügikogused tõusnud, 2021. aastal püüti Eesti rannapüügis siiga kokku 24,96 tonni (Armulik ja Sirp, 2022) Eesti merealadel püütakse suurimad siiasaagid Pärnu lahe piirkonnast, Väinamerest ja Soome lahest (Armulik ja Sirp, 2022).

Veekogude eutrofeerumine on põhjustanud adaptiivse radiatsiooni tagasipöördumist siigade liikidel (Vonlanthen *et al.*, 2012). Tagasipöördumise oht on seetõttu ka Eesti meres, kuna Eesti mereala eutrofeerumise koondhinnang on kas kesine, halb või ka väga halb (Lips ja Stoicescu, 2022). Koetud siiamarja arenguperioodil laguneb veekogudes taimemass ja selle protsessi käigus tarvitatakse rohkelt hapnikku, mistõttu siiamari võib lämbuda (Eckmann, 2013). Soojad talved ja pikad kevaded ohustavad ka marjast koorunud vastsete ja arenevate kalamaimude edasist käekäiku. Soojad talved põhjustavad marja kiiremat koorumist, maimud toituvad esmalt rebukotist, kuid siis lähevad üle aktiivsele toitumisele zooplanktonist. Pikad jahedad kevaded ei soosi zooplanktoni arengut, mistõttu jääb merisiia maimude toidubaas kesiseks (Sõrmus ja Turovski, 2003).

Seega on siigade paremaks kaitseks ja varude majandamiseks oluline nende liike eristada. Rohtla *et al.* (2017) uurisid otoliitide keemia põhjal Eesti rannikult püütud euroopa siia isendite populatsioonide struktuuri. Eelnevalt tehti kindlaks kalakasvatusest pärit kalade otoliitide keemia ja edasises uuringus võrreldi seda loodusest püütud isendite otoliitide koostisega. Uuringus leiti, et Eesti rannikul esineb valdavalt Soome kalakasvatustest pärit euroopa siirdesiiga. Merisiid ja siirdesiid on väga koelmutruud kalad ning kudumine

toimub järjekindlalt samadel koelmualadel. Seetõttu on merisiia ja siirdesiia asurkondade seisundi kaitseks praegu eelkõige kehtestatud ajalised ja ruumilised piirangud siigade koelmualadel (Kalapüügieeskiri, 2024). Eestis esinevate merisiigade ja siirdesiigade kudemispaigad ei kattu. Veel mittesuguküpsed siirdesiid ja need täiskasvanud isendid, kes jätavad kudemise antud aastal vahele, püsivad siiski sügisel meres toitumisaladel ning võivad esineda ka merisiia kudealadel, mistõttu rannikumere koelmutelt püütud siid ei pruugi olla 100 % ulatuses merisiid (Lehtonen ja Böhling, 1988; Sõrmus ja Turovski, 2003).

Otoliitide ja lõpusepiide põhjal kalade eristamine on kalade jaoks letaalne, kuna otoliitide ja lõpusepiide uurimiseks on vaja kala hukata ja need eemaldada. Seega on sageli vajalik liike eristada ka vaid morfomeetriliste tunnuste põhjal. Kuna liike ohustavad nii eutrofeerumine ja ülepüük eelmainitud põhjusel, siis morfomeetiline analüüs annab likviidsust liikide eraldi majandamiseks. Peamised tunnused, mis *Coregonidae* liikide lahknemist mõjutavad on toitumisökoloogia, füsioloogia ja paljunemine (Selz *et al.*, 2020), mis omakorda väljenduvad liikide morfoloogias. Seetõttu peamiselt uuritakse pea kuju ning keha erinevate kõrguste ja pikkuste varieerumisi (Hudson *et al.*, 2013, Oreha ja Đkute, 2009).

Kõik geomeetrilised morfomeetrilised meetodid põhinevad kahe- või kolmedimensioonilisel mõõtepunktide koordinaatidel, mis esindavad asukohti mõõdetavatel objektidel (Mitteroecker ja Schaefer, 2022). On leitud, et see on traditsiooniliste morfoloogiliste analüüsidega võrreldes võimsam, et eristada morfoloogiliselt ebamääraste taksonite liikide ja populatsioonide vahel (Ruane, 2015). Samuti annab geomeetiline morfomeetiline meetod võimaluse käsitleda statistilises analüüsis kogu geomeetrist varieeruvust proovis ja seega on statistilised tulemused hõlpsasti seotud esialgse valimi füüsilise kujuga (Slice, 2007).

Eestis Läänemeres esinevaid siia liike on välispidiselt omavahel küllaltki keeruline eristada ning nagu varasemalt mainitud, on lõpusepiide ja otoliitide uurimine kala jaoks letaalne. Antud meetodid ei ole ka piisavalt kiired, et võimaldada nende efektiivset kasutust kalapüügilaeval, mistõttu on geomeetiline morfomeetiline analüüs vajalik, et uurida kas morfomeetiline analüüs tuvastab meetodi liikide efektiivseks eristamiseks. Selleks koguti nii Eesti Mereinstituudi püükidel kui ka kutseliste kalurite poolt püütud siigade fotosid ja loeti iga isendi piide arv. Piide põhjal määrati liik ning fotosid saab kasutada geomeetriliste morfomeetriliste analüüside läbiviimiseks.

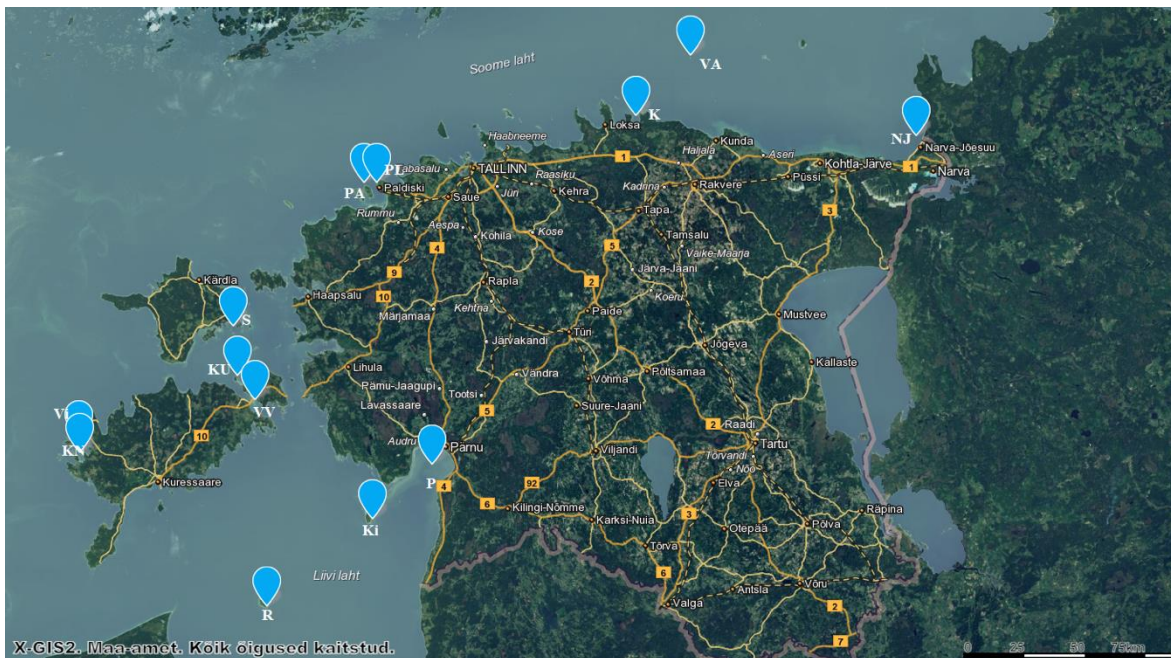
Selle magistritöö eesmärgiks on hinnata, kas merisiia ja siirdesiia eristamine morfomeetriliselt on teostatav kogutud fotode ja lõpusepiide loendamisel määratud liigi põhjal. Eeldati, et merisiia ja siirdesiia vormid on morfomeetriliselt eristatavad. Selle võrdluse läbiviimiseks määrati siia liik lõpusepiide arvu alusel ning seostati vastava fotoga pärast esmast morfomeetrilist mõõdistamist. Lisaks eeldati, et kuna tegemist on suhteliselt erinevate toitumiskäitumisega liikidega, siis võib esineda erinevusi pea morfoloogias. Teisena lähtuti hüpoteesist, et liikide erinevus on keha kõrguses, siis valiti analüüsiks peakõrgust, kaks kehakõrgust ning sabavarres sügavust kirjeldavad mõõtepunktid. Seega, selle magistritöö uurimisküsimused olid:

1. Kas merisiia ja siirdesiia geomeetrilise morfomeetrilise mõõtmise peakomponentanalüüsi tulemuste põhjal on need siialiigid ka morfomeetriliselt eristatavad?
2. Kas geomeetrilise morfomeetrilise mõõtmise andmestiku alusel moodustatud rühmad langevad kokku lõpusepiide alusel langetatud määrangutega?
3. Kas geomeetrilise morfomeetrilise mõõtmise andmestiku diskriminantanalüüsi abil on võimalik tuvastada erinevusi ka liikide ja sugude vahel?

2. Materjal ja metoodika

2.1. Püügiandmete kogumine

Püügiandmed on kogutud aastatel 2014 ja 2016-2021 järgnevatest asukohtadest: Käsmu (K), Pärnu laht (P), Vaindloo (VA), Vilsandi (Vi), Soonlepa laht (S), Narva-Jõesuu (NJ), Pakri (PA), Paldiski laht (PL), Ruhnu (R), Kuusnõmme laht (KN), Kõinastu (KU), Kihnu (Ki) ja Väike Väin (VV) (Joonis 1). Kokku püüti 303 siiga, kuid kuuel kalal olid suured vigastused ning need jäeti andmetest välja (Tabel 1).



Joonis 1. Püükide asukohad. Aluskaart: Maa-amet

Kalad püüti nakkevõrguga, võrgusilma suurused olid kas 25, 30, 38, 42, 45, 46, 50, 55, 60 või 65 mm. Kalad püüti kas Eesti mereinstituudi seirete käigus või kutseliste kalameeste poolt.

Fotod jäädvustati Pentax K10, objektiiviga SMC PENTAX-DA 1:3.5-5.6, kus kasutati fookuskaugust 55 mm. Samuti jäädvustati pildid ka nutitelefonidega. Kokku jäädvustati 303 isendit.

Tabel 1. Püügi aeg, asukoht, kuu ja püütud kalade arv.

| Aasta | Asukoht | Kuu | Kalade arv, N |
|--------------|----------------|------------|----------------------|
| 2014 | Vilsandi | juuli | 14 |
| | Pärnu laht | oktoober | 7 |
| | Käsmu | august | 11 |
| | vaindloo | august | 4 |
| 2016 | Vilsandi | juuli | 13 |
| | Käsmu | august | 14 |
| | Vaindloo | september | 9 |
| 2017 | Vilsandi | juuli | 13 |
| | Käsmu | august | 13 |
| | Vaindloo | august | 7 |
| | Kuusnõmme | november | 5 |
| | Kõinastu | november | 5 |
| | Saarnaki laht | november | 17 |
| 2018 | Vilsandi | juuli | 8 |
| | Vaindloo | august | 12 |
| | Käsmu | august | 18 |
| 2019 | Paldiski laht | | 1 |
| 2020 | Narva-Jõesuu | aprill | 1 |
| | Ruhnu | mai | 14 |
| | Pärnu laht | juuni | 1 |
| | Vilsandi | juuli | 18 |
| | Käsmu | august | 10 |
| | Vaindloo | august | 6 |
| | Suure-pakri | september | 2 |
| | Soonlepa laht | november | 18 |
| | Väike väin | november | 4 |
| 2021 | Ruhnu | mai | 10 |
| 2022 | Käsmu | august | 2 |
| | Soonlepa laht | november | 39 |

2.2. Fotode valik

Fotode jäädvustamisel jälgiti teatud nõudeid, et fotosid oleks võimalik edaspidi analüüsis kasutada. Iga foto juures oli referentsobjekt - joonlaud või muu ese, mille mõõtmed on täpselt teada. Samuti tuli kõik fotod jäädvustada sama nurga alt, mis võimalikult vähe moonutaks pildistatavat objekti. Valdavalt olid fotod pildistatud ülevalt alla, nii et foto keskpunkt jäi kala poole pikkuse ja kõrguse peale. Fotod, mis olid pildistatud teistsuguse nurga alt, jäeti analüüsist välja.

Samuti sobisid analüüsimiseks ainult need kalad, millede mõõtepunktide kohad olid vigastamata. Sageli võib võrku nakkunud kala end liigselt vigastada ja võrku tihedalt sisse keerutada. Võrgust välja võttes võidakse kala pigistada ja lõhkuda selliselt, et mõõtekohad saavad kahjustada ega kõlba edasiseks analüüsiks. Seetõttu langesid analüüsist välja need fotod, millel kaladel oli selgelt äratuntavad kahjustused. Eelnevaid kriteeriume arvesse võttes jäi analüüsiks alles 273 sobivat fotot.

Mõõtmistulemuste kergemaks analüüsimiseks on vajalik piltide sobiv valgustatus. Siid on selja pealt tumedamad ning kõhu poolt heledamad, seega pimedas keskkonnas on selgmisel ehk dorsaalsel poolel asuvate mõõtepunktide määramine raskendatud. Protsessi lihtsustab ka neutraalse tausta kasutamine piltide tegemisel, kuna valgel pinnal ei väljendu selgelt, kus jookseb kõhtmine ehk ventraalne kehapiir.

Samuti tasub kasutada pildistatava objekti stabiliseerivaid vahendeid. Näiteks kasutati osadel piltidel nõõpnõelu pea ja uimede paika sättimiseks. Piltidel, kus nõõpnõelu ei kasutatud, olid uimed sageli asendis, mida ei ole võimalik piltidelt mõõta. Sellisel juhul ei ole võimalik uimeid mõõtepunktidenä kasutada.

2.3. Mõõtepunktide valik

Analüüsimiseks valiti 25 mõõtepunkti: 1- ninamik, 2- silma vasakpoolne laiuse punkt, 3 ja 6- pea kõrgus silma kohalt, 4 ja 5- silma kõrgus, 7- lõpuskaane kaugeim äär, 8 ja 9- keha kõrgus lõpuskaane kaugeima ääre kohalt, 10 ja 11- rinnauime pikkus, 12 ja 13- keha kõrgus seljauime alguse kohalt, 14 ja 15- keha kõrgus anaaluime paremalt poolt, 16- rasvauime alguskoht, 17- anaaluime vasakpoolne punkt, 18 ja 19- saba punktid, 20- soomuste lõpp, 21- sabauime hõlmade lahkme koht, 22, 23, 24 ja 25- küljejoon (Joonis 2).



Joonis 2. Kollaste nummerdatud täppidega on märgitud mõõtepunktide asukohad siial. Sel pildil kasutati skaalaks kahe eurost münti. Kollane joon märgib diameetri asukohta.

Punktide valimisel eeldati, et kuna tegemist on erinevate toitumiskäitumisega liikidega, siis võib olla erinevusi pea morfoloogias. Teisena lähtuti hüpoteesist, et liikide erinevus on keha kõrguses, siis valiti analüüsiks peakõrgust, kaks kehakõrgust ning sabavarres sügavust kirjeldavad mõõtepunktid.

Küljejoone mõõtepunktid, 22 kuni 25, lisati ka selleks, et hiljem kalad nn lahti painutada kasutades tpsUtil32 programmis „Unbend“ funktsiooni. Nimelt on osa isendeid kõveras asendis, mõõtepunktid seetõttu ei kajasta tegelikku olukorda ning analüüs annaks ebatäpsed tulemused. „Unbend“ funktsioon kasutab küljejoonele asetatud punkte, et kalad nn sirgeks tõmmata ehk isendid ühtsesse asendisse seada.

Analüüsi ei lisatud rohkem uimede mõõtepunkte, kuna valdavalt olid analüüsis kasutatud siigade uimed kahjustunud, seda peamiselt kalade nakkevõrkudest eemaldamise käigus. Lisaks ei olnud paljud uimed nõopnõeltega asenditesse sätitud, mis laseks uimi adekvaatselt mõõta ning vastasel juhul oleks valim jäänud väga väikeseks.

Silma kõrgus ning silma kaugus ninamikust lisati analüüsi, sest mõnede siialiikide puhul on nende eristavaks tunnuseks silmakuju, nagu näiteks järvesiia (*Coregonus megalops*) puhul (Svärdson, 1979).

2.4. Mõõtepunktide määramine

Fotodele määrati koodid vastavalt püügi asukohale, püügi aastale ja järjekorranumbrile. Morfomeetriliste andmete genereerimiseks kasutati tpsUtil32 ning tpsdig programme. Esimesega vormistati fotod .tps failiks ning samuti segati fotode järjekord kasutades

„Randomly order specimens“ funktsiooni. Teise programmiga määrati igal fotol eraldi skaala ning seejärel mõõtepunktid.

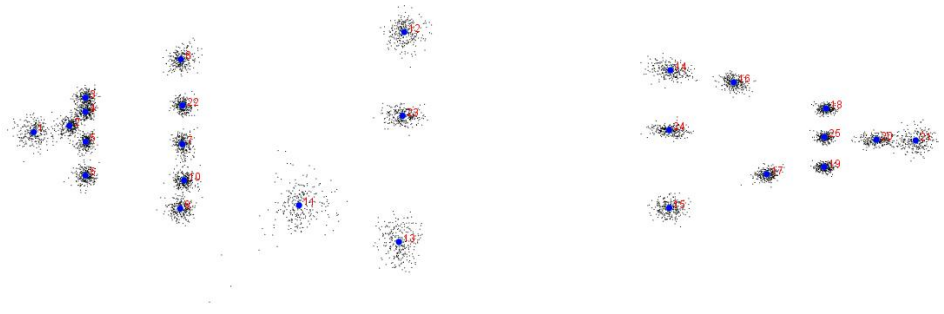
Pärast mõõtepunktide lisamist, määrati igal fotol ka mõõteskaala tpsDig „Set scale“ funktsiooni abil. Skaalaks kasutati kas kahe- või üheeurost münti või joonlauda.

Pärast mõõtepunktide lisamist piltidele koostati eraldi Exceli fail MorphoJ analüüsimiseks, milles kohaldati kalakood temale kuuluvate andmetega ehk püügikoha, soo, piide arvu, liigi, suguküpsuse astme, massi (TW g) ja täispikkusega (TL mm). Emaseid oli 130 ning isaseid 142 isendit, ühel isendil ei olnud võimalik sugu määrata. Piide arv varieerus vahemikus 17 – 34. Merisiigu oli valimis 116 ning siirdesiigu 157 isendit. Kalade täispikkus jäi vahemikku 166-599 mm ja täismass vahemikku 32-2294 g.

Salojärvi ja Auvinen (1981) töötasid välja meetodi, mille puhul saab lõpusepiide arvu võrdlemisel eristada sümpatrilisi siiavorme. Sarnast lähenemist kasutati ka Aare Verliini (2002) magistritöös „Merisiig Eesti rannikumeres: vormid, kasv, toitumine, viljakus“, kus Eesti rannikul siia vormide eristamisel loeti kuni 25 lõpusepiiga vorme merisiigadeks ja alates 26 lõpusepiiga isendeid siirdesiigadeks. Samast metoodikast lähtuti ka selles töös. Käesoleva töö valimis oli väikseim lõpusepiide arv 17 ja suurim 34.

2.5. Fotode analüüs MorphoJ ja Statistica 7 programmiga

MorphoJ on vabavara programm, mis keskendub morfoloogiliste mõõtmiste analüüsimiseks. MorphoJ's viidi kõigepealt läbi Procrustese analüüs 25 mõõtepunktiga. Procrustese analüüs andis keskmise kuju, mis järel sai näha kõrvalekaldeid. Procrustese analüüs näitas suurt hajuvust rinnauime ümber (Joonis 3). Suur hajuvus tekkis tõenäoliselt sellest, et rinnauime lõpud olid sageli asendis, mida „Unbend“ funktsiooniga ei olnud võimalik tsentraliseerida. Lisaks, sabauime lahknemiskoht ei olnud kõikidel fotodel tuvastatav. Seetõttu jäeti need punktid analüüsist välja ja arvestati ainult 23 mõõtepunkti. Procrustese analüüs hõlmas 273 vaatlust ja MorphoJ „Find Outliers“ funktsioon visualiseeris hajuvust keskmiste ümber. „Find Outliers“ funktsioon tuvastas, et väikesed isendid kaldusid keskmistest kõrvale ja seega edaspidi neid analüüsi ei arvestatud. Võimalik, et kõrvalekallete põhjuseks oli ka punktide valesti paigutamine, sest isendid olid kõik heledal taustal päikselisel päeval ja väikeste isendite puhul on raske mõõtepunkte täpselt määrata.



Joonis 3. Procrustese analüüsi joonis. Illustreerib hajuvust mõõtepunktide keskmiste ümber.

MorphoJ võimaldas mugavalt läbi viia ka Procrustes ANOVA analüüsi, millega võrreldi erinevate liikide morfomeetrilisi parameetreid. Saadud tulemused kinnitasid, et merisiig ja siirdesiig erinesid nii suuruse ($F_{1, 261} = 102,86$, $p = <,0001$) kui ka kehakuju ($F_{42, 10962} = 18,50$, $p = <,0001$) osas.

Seejärel tehti kovariatsioonimaatriks peakomponentanalüüsi läbiviimiseks. MorphoJ ei võimaldanud peakomponentanalüüsi juures eristada liikide lahknemist, seetõttu viidi läbi peakomponentanalüüs ka Statistica 7 programmis peakomponentide *box-plotide* genereerimiseks. Seejärel tehti kanooniline diskriminantanalüüs, kus vaadeldi täpsemalt liigi ja soo koosmõju kehakujule. Pärast seda viidi läbi diskriminantanalüüs „*Discriminant function ...* „ funktsiooniga, et näha, kas merisiia ja siirdesiia gruppide vahel on statistiliselt oluline erinevus.

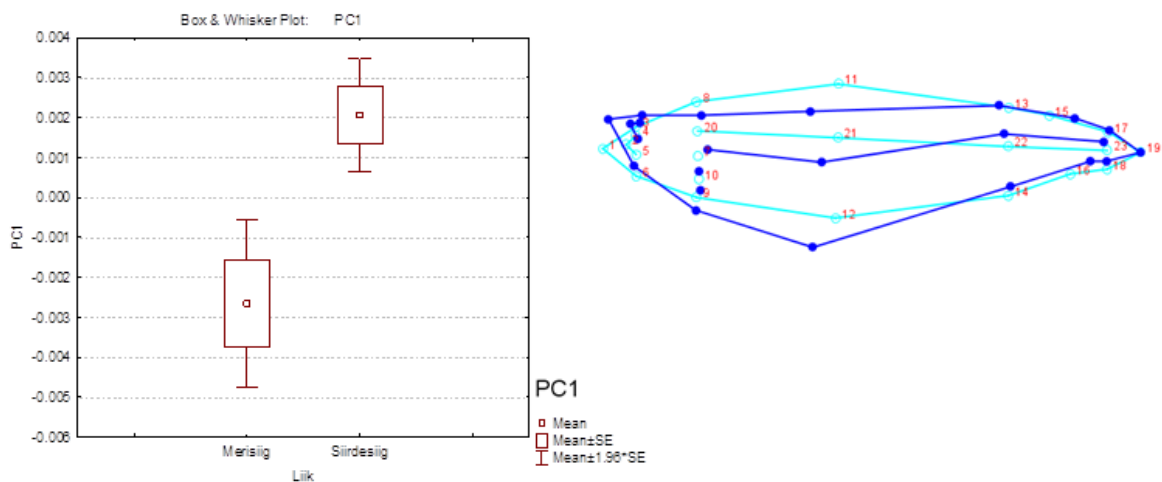
2.6. Töö autori roll

Käesoleva magistr töö autor osales magistr töö uuringu küsimuste püstitamisel, andmete korrastamisel, analüüsis ja tõlgendamises. Töö autor viis juhendajate juhendamisel läbi statistilised andmeanalüüsid ja tulemuste tõlgendamised. Andmestik koguti Eesti Mereinstituudi seirepüükide käigus ja väiksemas osas kutseliste kalurite poolt.

3. Tulemused

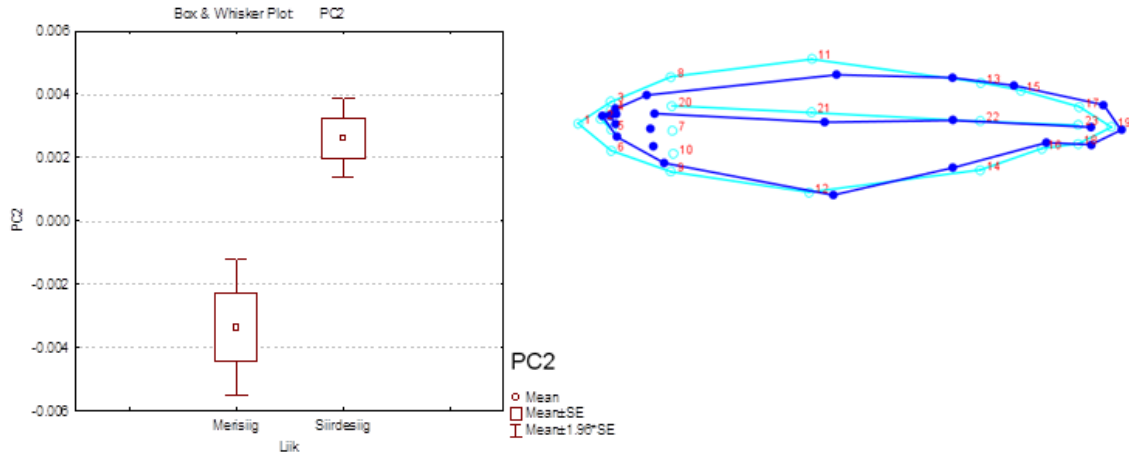
3.1. Siialiikide eristamine peakomponentanalüüsi põhjal

MorphoJ's viidi läbi peakomponentanalüüs, et uurida valimi ja liikide varieeruvust, ning Statistica 7 programmi kasutati, et uurida liikide vahelisi erisusi. Siinkohal arvestati varieeruvust oluliseks, kui koordinaadi varieeruvus on suurem kui 0,1. Esimene peakomponent (PC1) seletas 23,3 % varieeruvusest. PC1 oli eelkõige seotud keha dorsaalset poolt kirjeldavate mõõtepunktidega 1, 2, 8, 9, 10, 11, 12, 16, 20 ja 21 (v.a. punkt 16, mis kirjeldab pärakuume sabapoolset nurka) (joonis 4). Siirdesiia puhul laeb PC1 positiivselt ($M=0,002$, $SE=0,009$) ning merisiia puhul negatiivselt ($M=-0,003$, $SE=0,12$) (Joonis 4). Nõnda ilmnes ka selge erisus ($t=3,755$, $df=261$, $p=0,0002$) merisiia ja siirdesiia individuaalsete PC1 väärtuste osas (Joonis 4).



Joonis 4. Parempoolne joonis on merisiia ja siirdesiia PC väärtuste võrdlus, mis põhines peakomponentanalüüsil saadud esimese peakomponendi (PC1) individuaalsetel väärtustel. Karpdiaagrammil on gruppide keskmine, standardvea ja 95 % usaldusintervalli jooned. Vasakpoolne joonis on peakomponentanalüüsi illustratsioon. Helesinised punktid kujutavad keskmisi ning tumesinised punktid varieeruvust. Punktid on ühendatud "Create or Edit Wireframe" funktsiooniga, et paremini kujutada kehamuutusi.

Teine peakomponent (PC2) seletas ära 20,9 % varieeruvusest. PC2 oli seotud pea kuju, keha kõrgusi ja küljejoone asetust kirjeldavate mõõtepunktidega 1, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 (joonis 5). Siirdesiia puhul laeb PC2 positiivselt ($M=0,003$, $SE=0,009$) ning merisiia puhul negatiivselt ($M=-0,003$, $SE=0,012$). Ka siinkohal on statistiliselt oluline erinevus merisiia ja siirdesiia PC2 väärtustes ($t=-4,942$, $df=261$, $p<0,05$) (Joonis 5).



Joonis 5. Parempoolne joonis on merisiia ja siirdesiia peakomponentanalüüsil saadud teise peakomponendi (PC2) individuaalsetel väärtustel, PC skooridel. Karpdiaagrammil on gruppide keskmine, standardvea ja 95 % usaldusintervalli jooned. Vasakpoolne joonis on peakomponentanalüüsi illustratsioon. Helesinised punktid kujutavad keskmiisi ning tumesinised punktid varieeruvust. Punktid on ühendatud "Create or Edit Wireframe" funktsiooniga, et paremini kujutada kehamuutusi.

Kolmas peakomponent (PC3) seletas ära 14,1 % varieeruvusest. PC3 suurimad varieeruvused on mõõtepunktide 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 20, 21 juures (Lisa 2), mis kirjeldavad peakuju, küljejoone asetust, keha kõrgust. Siirdesiia puhul laeb PC3 positiivselt ($M= 0,002$, $SE= 0,009$) ning merisiia puhul negatiivselt ($M= -0,003$, $SE= 0,012$) ja selgus erinevus merisiia ja siirdesiia individuaalsetes PC3 mõõtepunktides ($t= 3,818$, $df = 261$, $p < 0,05$) (Lisa 1).

Neljas peakomponent (PC4) oli seotud mõõtepunktidega 1, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 21, mis kirjeldasid keha jämedust ja pikkust (Lisa 2). PC4 seletas ära 11,5 % varieeruvusest. Siirdesiia puhul laeb PC4 negatiivselt ($M= -0,001$, $SE= 0,007$) ning merisiia puhul positiivselt ($M= 0,002$, $SE= 0,007$), seega PC4 on erinevus siirdesiia ja merisiia individuaalsete väärtuste osas ($t= -0,001$, $df = 261$, $p < 0,05$) (Lisa 1).

PC5 puhul oli suur erinevus 12 punkti varieeruvuses (Lisa 2), kuid PC5 tulemus ei olnud statistiliselt oluline ($t= 0,001$, $df= 261$, $p = 0,129$). PC5 seletas 10,5 % varieeruvusest. Nii siirdesiia kui merisiia puhul laevad punktid nii negatiivselt kui ka positiivselt (vastavalt $M= 0,001$, $SE= 0,010$ ja $M=-0,001$, $SE= 0,010$) (Lisa 1).

Kuues peakomponent (PC6) oli seotud mõõtepunktidega, mis kirjeldasid pea kaju keha jämedust ja pikkust (1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 22) (Lisa 2). PC6 seletas 7,3% varieeruvusest. Merisiia punkte laeb positiivselt ($M= 0,002$, $SE= 0,006$) ja siirdesiia punkte negatiivselt ($M= -0,001$, $SE= 0,006$) ja oli statistiliselt oluline erinevus individuaalsete PC6 väärtustes ($t= -0,001$, $df= 261$, $p < 0,05$) (Lisa 1).

Seitsmenda peakomponendi (PC7) mõõtepunktid 1, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23 kirjeldavad pea kuju ning keha kõrgust (Lisa 2). PC7 seletas 3,6 % varieeruvusest. Merisiia puhul laeb negatiivselt ($M = -0,002$, $SE = 0,007$) ja siirdesiia puhul positiivselt ($M = 0,001$, $SE = 0,005$) ja oli selge erinevus merisiia ja siirdesiia PC7 väärtuste osas ($t = 0,001$, $df = 261$, $p < 0,05$) (Lisa 1).

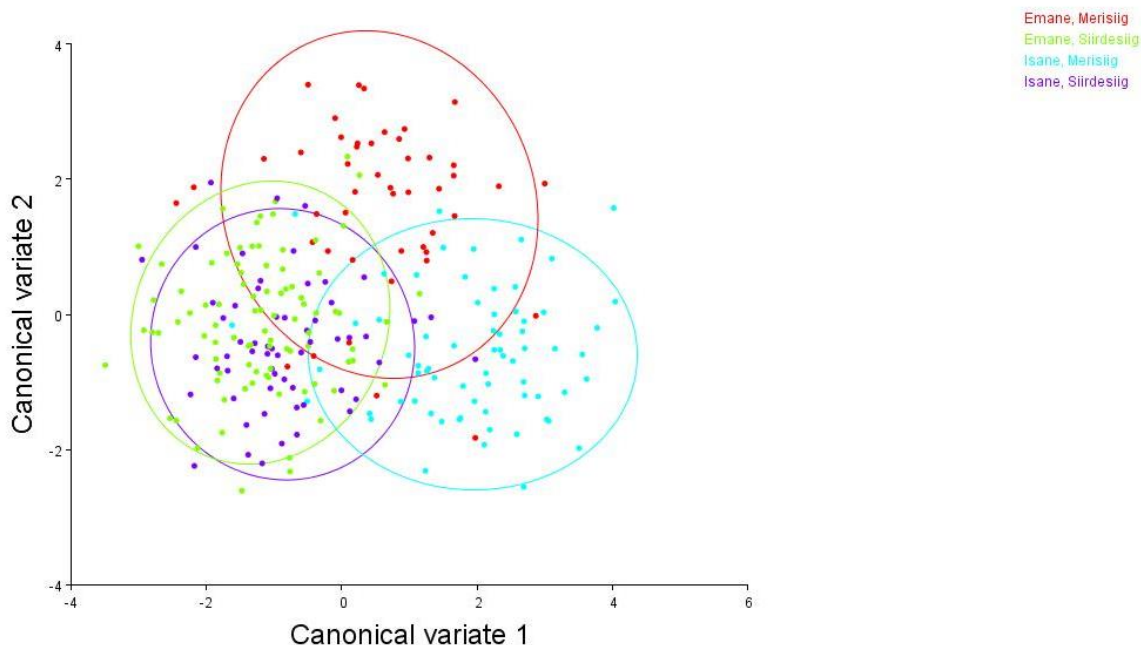
Kaheksas peakomponent (PC8) oli seotud pea ja sabavarre kuju mõõtepunktidega 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 23 (v.a. 12 mõõtepunkt, mis kirjeldas kõhu kuju) (Lisa 2). PC8 seletas 1,6 % varieeruvusest. Merisiiga laeb positiivselt ($M = 0,003$, $SE = 0,005$), siirdesiiga negatiivselt ($M = -0,002$, $SE = 0,004$). Seega ilmnes selge erisus merisiia ja siirdesiia individuaalsetes PC8 väärtuste osas ($t = -0,002$, $df = 261$, $p < 0,05$) (Lisa 1).

Üheksas peakomponent (PC9) oli eelkõige seotud pea, keha kõrguse ja sabavarre kuju mõõtepunktidega (Lisa 2), kuid tulemus ei olnud statistiliselt oluline ($t = -0,000$, $df = 261$, $p = 0,886$). PC9 seletas 1,3 % varieeruvusest. Nii merisiiga kui siirdesiiga laevad positiivselt ja negatiivselt (vastavalt $M = 0,000$, $SE = 0,005$ ja $M = -0,000$, $SE = 0,003$) (Lisa 1).

Kümnes peakomponent (PC10) oli eelkõige seotud peakuju ja sabavarre mõõtepunktidega 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23 (Lisa 2). PC10 seletas 0,9 % varieeruvusest. Merisiiga laeb positiivselt ($M = 0,002$, $SE = 0,003$) ja siirdesiiga negatiivselt ($M = -0,001$, $SE = 0,003$), seega on erisus merisiia ja siirdesiia individuaalsete PC10 väärtuste osas ($t = -0,001$, $df = 261$, $p < 0,05$) (Lisa 1).

3.2. Gruppide paiknemine üksteise suhtes

Teostati MorphoJ kanooniline diskriminantanalüüs (*Canonical Variate Analysis*), et iseloomustada gruppide suhtelist erisust morfomeetrilise andmestiku alusel (Joonis 7). Analüüs kinnitas, et emased merisiiad ja isased merisiiad olid mõõtmispunktide paiknemise alusel siirdesiigadest eristatavad (Joonis 6; Tabel 2). Seevastu emaste ja isaste siirdesiigade puhul sellist erisust ei ilmnenu (Joonis 6; Tabel 2).



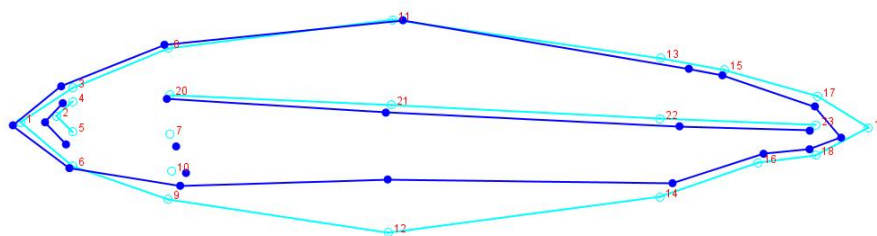
Joonis 6. Kanoonilise diskriminantanalüüsi tulemused. Hajuvusdiagrammil on kujutatud CV1 x-teljel ja CV2 y-teljel, vastavalt on joonistatud emaste merisiigade (punased täpid), isaste merisiigade (sinised täpid), emaste siirdesiigade (rohelised täpid) ja isaste siirdesiigade (lillad täpid) gruppide võrdse sagedusega ellipsitega (tõenäosus = 0,9)

Võrreldes merisiia ja siirdesiia gruppe, siis kanooniliste variaatide (CV) kuju muutused merisiigade varieeruvuses olid CV1 joonisel leitavad 12 ja 19 mõõtepunktides (Mahalanobise kaugus = 2,62, $p < 0,0001$), emastel negatiivses suunas ja isastel positiivses suunas, ning CV2 graafikul mõõtepunktides 1, 10, 11, 12, 13, 14, 15 ja 19, siin emastel positiivses ja isastel negatiivses suunas (Joonis 7). Võrreldes siirdesiia gruppe merisiia gruppidega, siis CV1 ja CV2 graafiku puhul lahknevad siirdesiia grupid merisiia gruppidest negatiivses suunas. Eelmainitud mõõtepunktid seostuvad keha kõrguse (11,12, 13,14 ja 15,16) ja sabavarre pikkuse (19) ning jämedusega (17 ja 18). Esimesed kaks CV telge seletavad 95,6 % varieeruvusest (CV1 = 70,2 %, CV2 = 25,4 %), aga joonise graafilisel analüüsil ilmnes, et grupid ei ole omavahel selgesti eristatavad ja eri gruppide isendite paigutus on enamasti kattuv (Joonis 6). Kuna CV3 seletas ainult 4,4 % varieeruvusest, siis seda tulemustes ei käsitletud.

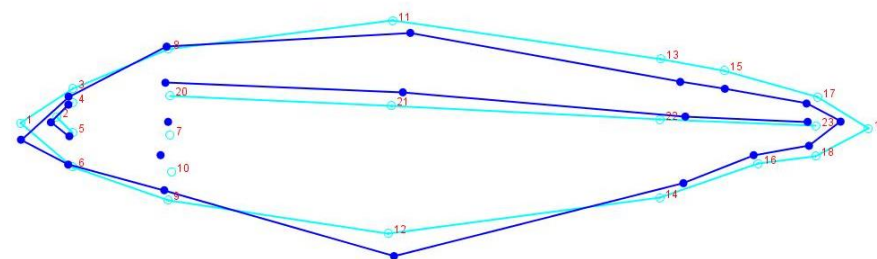
Tabel 2. Kanoonilise diskriminantanalüüsi andmed.

| Mahalanobise kaugused gruppide vahel: | | | |
|---------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| | Emane, Merisiig | Emane, Siirdesiig | Isane, Merisiig |
| Emane, Siirdesiig | 2,51 | | |
| Isane, Merisiig | 2,62 | 3,19 | |
| Isane, Siirdesiig | 2,55 | 0,99 | 2,89 |

| Permutatsioonitesti (10 000 permutatsiooni) gruppide vaheliste Mahalanobise kauguste p-väärtused: | | | |
|---|-----------------|-------------------|-----------------|
| | Emane, Merisiig | Emane, Siirdesiig | Isane, Merisiig |
| Emane, Siirdesiig | <.0001 | | |
| Isane, Merisiig | <.0001 | <.0001 | |
| Isane, Siirdesiig | <.0001 | 0,78 | <.0001 |



CV1

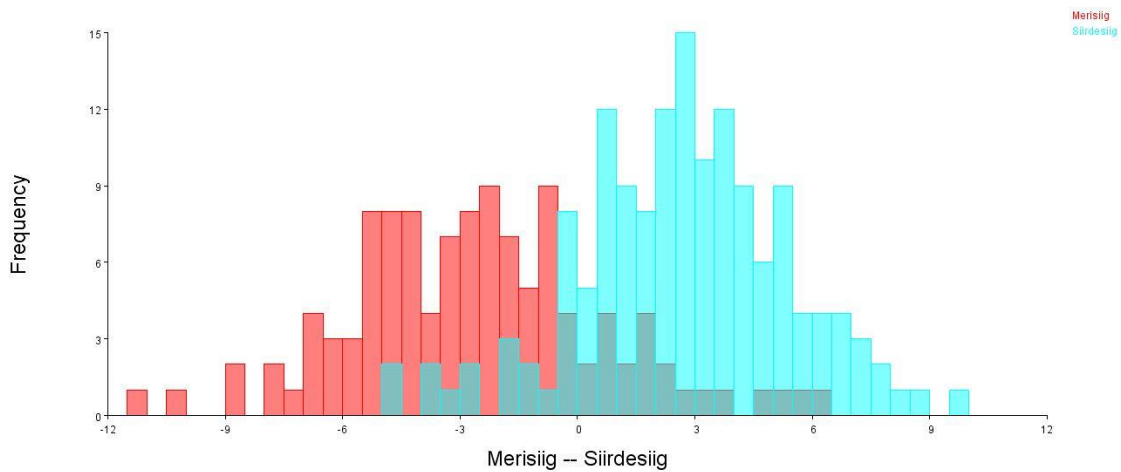


CV2

Joonis 7. CV1 ja CV2 variatide kujumuutuste graafikud. Helesinised punktid tähendavad keskmisi ja tumesinised täpid varieerumist.

3.3. Klassifitseerimise täpsus

MorphoJ's viidi läbi „*Discriminant Function*“ analüüs Procrustese koordinaatidega (Mahalanobise 1000 permutatsiooni) viidi läbi, et hinnata kui täpselt suudetakse isendeid mõõtepunktide põhjal õigestesse gruppidesse paigutada. Esmalt kontrolliti ristvalideerimise testi põhjal ainult merisiigade ja siirdesiigade grupe. Gruppide võrdluses suudeti merisiigu õigesti paigutada 81,7 % ja siirdesiigu 85,8 % kordadest (Mahalanobise kaugus= 2,45, T-square = 389,83, $p < 0,0001$) (Joonis 8; Tabel 3).



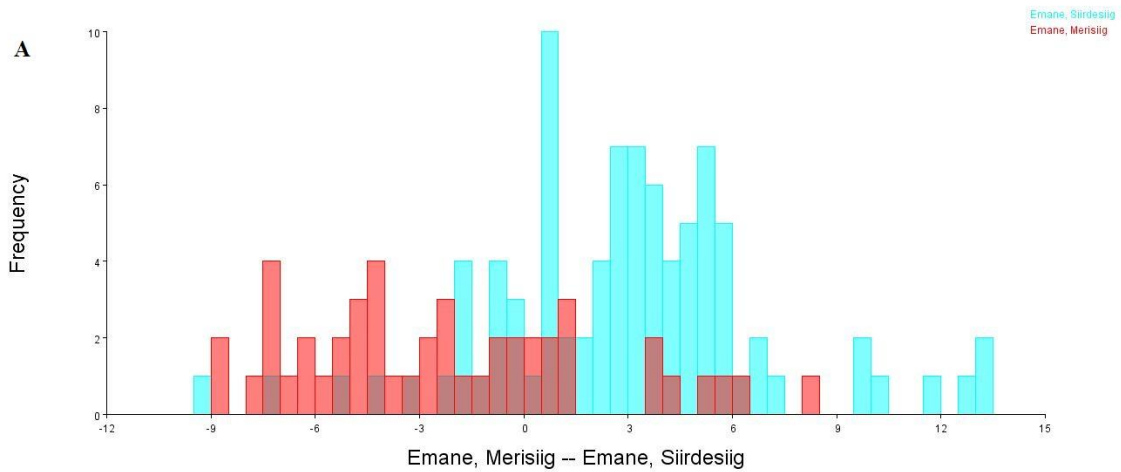
Joonis 8. Merisiia (punane) ja siirdesiia (sinine) ristvalideerimise tulemuste diagramm.

Tabel 3. Klassifitseerimise täpsus ristvalideerimise põhjal.

Merisiig vs siirdesiig

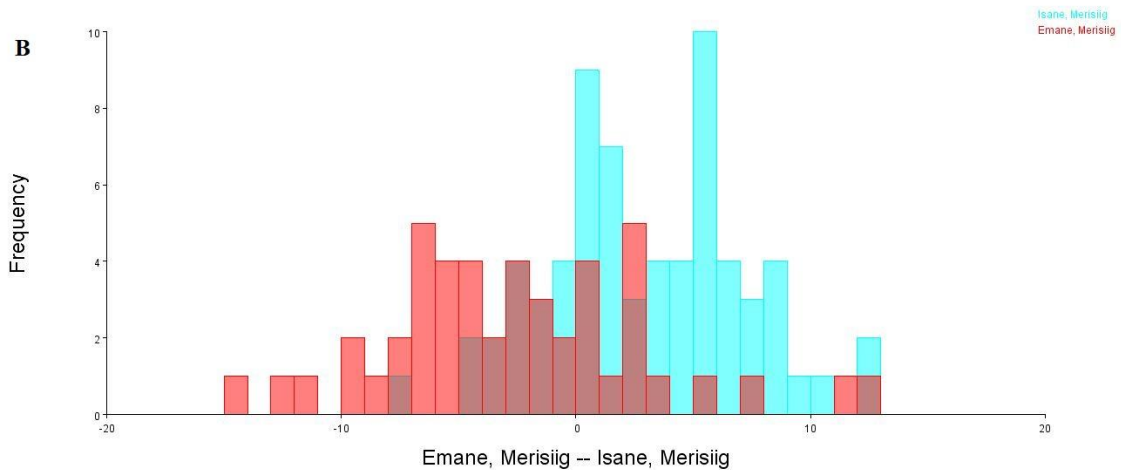
| | Merisiig | Siirdesiig | Kokku |
|------------|----------|------------|-------|
| Merisiig | 94 | 21 | 115 |
| Siirdesiig | 21 | 127 | 148 |

Seejärel testiti liigi ja soo põhjal klasside paigutamise täpsust. Ristvalideerimise testi põhjal emaste merisiigade ja siirdesiigade gruppide võrdluses suudeti õigesti klassidesse paigutada emaseid merisiigu 70,2% kordadel ning emaseid siirdesiigu 79,8% kordadel (Mahalanobise pikkus = 2,67, T-square = 218,52, $p < 0,0001$) (Joonis 9; Tabel 4).



Joonis 9. Emase merisiia (punane) vs emase siirdesiia (sinine) ristvalideerimise tulemuste diagramm A.

Emaste merisiigade ja isaste merisiigade gruppide võrdluses suudeti õigesti paigutada emaseid merisiigu 68,1 % kordadel ja isaseid merisiigu 76,5 % kordadel (Mahalanobise pikkus = 2,83, T-square = 222,32, $p < 0,0001$) (Joonis 10; Tabel 4).

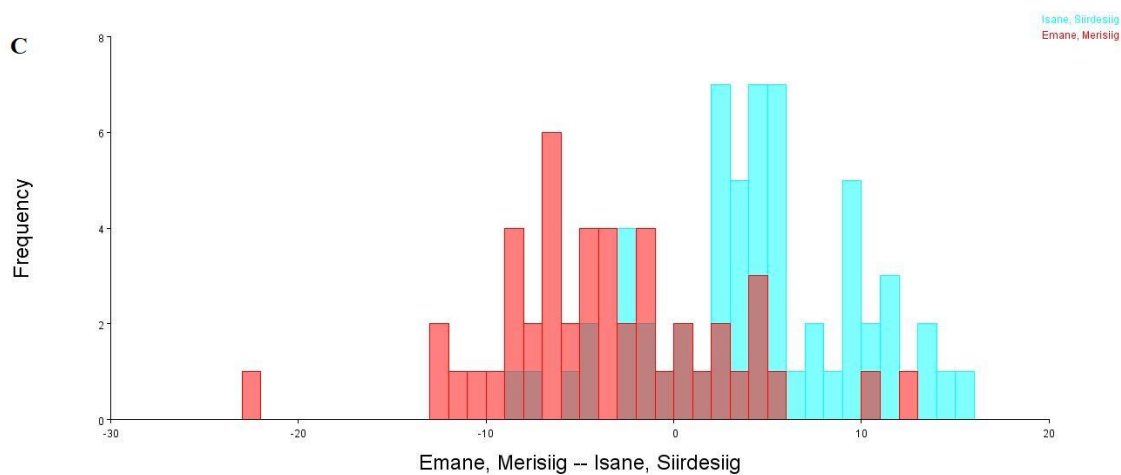


Joonis 10. Emase merisiia (punane) vs isase merisiia (sinine) ristvalideerimise tulemuste diagramm B.

Emaste merisiigade ja isaste siirdesiigade võrdluses suudeti isendid õigestesse klassidesse jagada emaseid merisiigu 74,5 % korral ja isaseid siirdesiigu 79,7 % kordadel (Mahalanobise pikkus = 3,28, T-square = 281,01, $p < 0,0001$) (Joonis 11; Tabel 4).

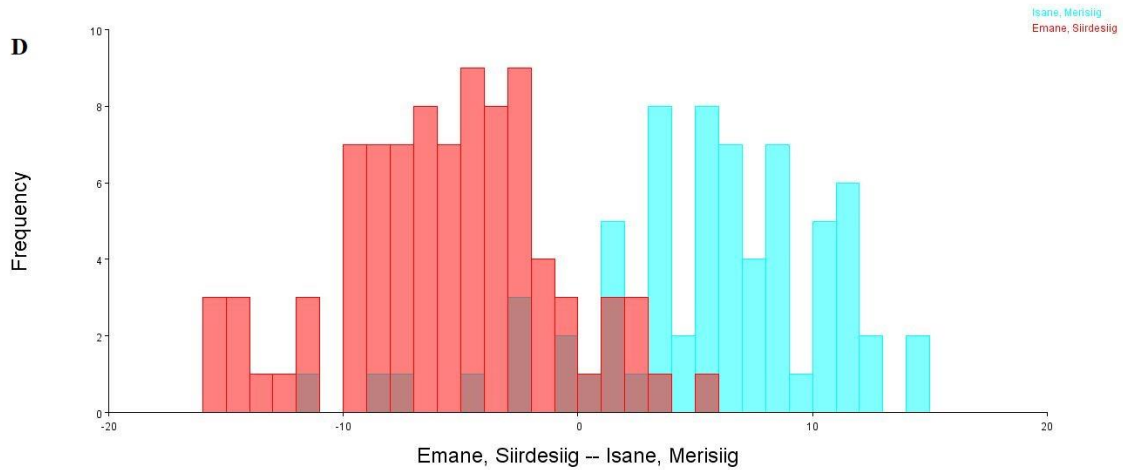
Tabel 4. Klassifitseerimise täpsus ristvalideerimise põhjal

| Emane merisiig vs Emane siirdesiig | | | |
|---|-------------------|-------------------|-------|
| | Emane, Merisiig | Emane, Siirdesiig | Kokku |
| Emane, Merisiig | 33 | 14 | 47 |
| Emane, Siirdesiig | 18 | 71 | 89 |
| Emane merisiig vs isane merisiig | | | |
| | Emane, Merisiig | Isane, Merisiig | Kokku |
| Emane, Merisiig | 32 | 15 | 47 |
| Isane, Merisiig | 16 | 52 | 68 |
| Emane merisiig vs isane siirdesiig | | | |
| | Emane, Merisiig | Isane, Siirdesiig | Kokku |
| Emane, Merisiig | 35 | 12 | 47 |
| Isane, Siirdesiig | 12 | 47 | 59 |
| Emane siirdesiig vs isane merisiig | | | |
| | Emane, Siirdesiig | Isane, Merisiig | Kokku |
| Emane, Siirdesiig | 80 | 9 | 89 |
| Isane, Merisiig | 9 | 59 | 68 |
| Emane siirdesiig vs isane siirdesiig | | | |
| | Emane, Siirdesiig | Isane, Siirdesiig | Kokku |
| Emane, Siirdesiig | 42 | 47 | 89 |
| Isane, Siirdesiig | 37 | 22 | 59 |
| Isane merisiig vs isane siirdesiig | | | |
| | Isane, Merisiig | Isane, Siirdesiig | Kokku |
| Isane, Merisiig | 53 | 15 | 68 |
| Isane, Siirdesiig | 10 | 49 | 59 |



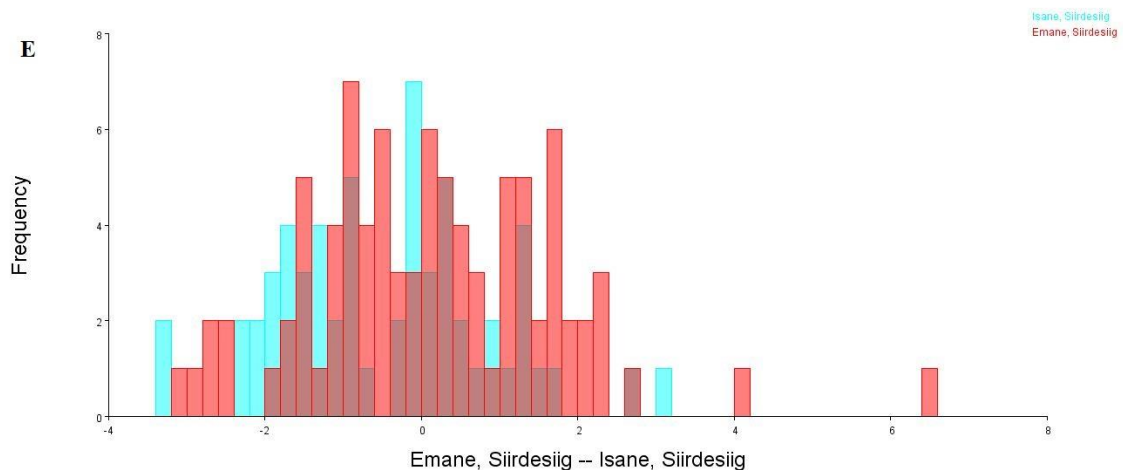
Joonis 11. Emase merisiia (punane) vs isase siirdesiia (sinine) ristvalideerimise tulemuste diagramm C.

Emaste siirdesiigade ja isaste merisiigade võrdluses suudeti paigutada õigetesse klassidesse emaseid siirdesiigu 89,9 % kordadel ja isaseid merisiigu 86,8 % kordadel (Mahalanobise pikkus = 3,53, T-square = 479,61, $p < 0,0001$) (Joonis 12; Tabel 4).



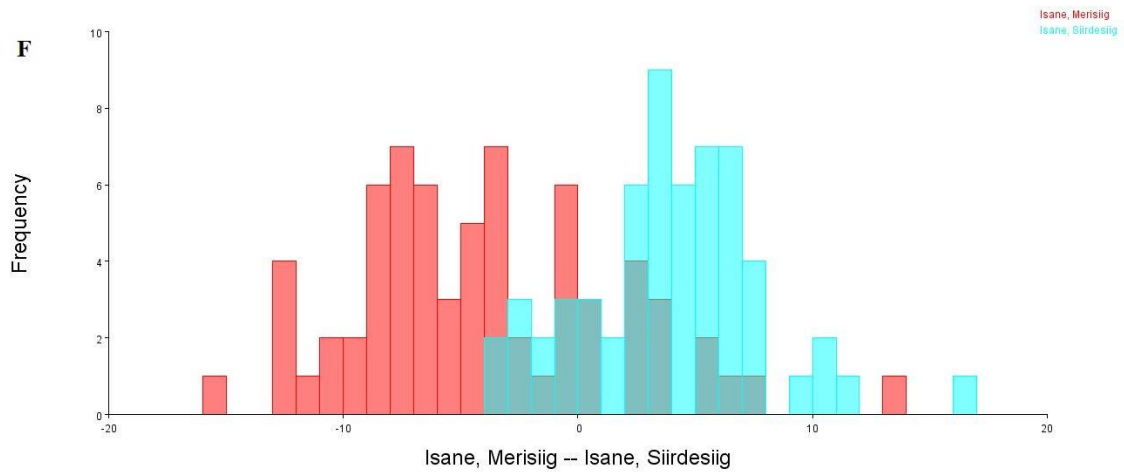
Joonis 12. Emase siirdesiia (punane) vs isase merisiia (sinine) ristvalideerimise tulemuste diagramm D.

Emaste siirdesiigade ja isaste siirdesiigade gruppide vahelises võrdluses suudeti õigesse klassi paigutada emaseid siirdesiigu 47,2 % kordadel ja isaseid siirdesiigu 37,3 % kordadel (Mahalanobise pikkus = 0,005, T-square = 38,27, $p = 0,94$) (Joonis 13; Tabel 4).



Joonis 13. Emase siirdesiia (punane) vs isase siirdesiia (sinine) ristvalideerimise tulemuste diagramm E.

Isaste merisiigade ja isaste siirdesiigade gruppide võrdluses suudet õigesti paigutada isaseid merisiigu 77,9 % kordadest ja isaseid siirdesiigu 83,1 % kordadel (Mahalanobise pikkus = 3,13, T-square = 309,22, $p < 0,0001$) (Joonis 14; Tabel 4).



Joonis 14. Isase merisiia (punane) vs isase siirdesiia (sinine) ristvalideerimise tulemuste diagramm F.

4. Arutelu

Nii diskriminantanalüüs kui ka kanooniline diskriminantanalüüs tõi välja, et kuigi merisiia ja siirdesiia morfomeetriliste mõõtmiste vahel esines märkimisväärne kattuvus, oli analüüsitud mõõtepunktide põhjal kahte liiki võimalik võrdlemisi selgesti eristada (Joonised 6-14). Seejuures ilmnes ka selge morfomeetiline erinevus merisiia emaste ja isaste isendite vahel. Siirdesiial aga sellist sugudevahelist erisust ei täheldatud (Joonis 6; Joonis 13). Procrustese analüüsi tulemused viitasid, et suurim siiaisendite vaheline varieerumine oli märgatav eelkõige seljauime esist keha kõrgust kirjeldava mõõtepunkti osas. (Joonis 3). See tulemus vihjab, et eeskätte tulenesid märgatavad erisused just keha kõrgust kirjeldavate tunnuste poolest (Joonised 4-7; Lisa 2).

Siiglased on väga plastilise fenotüübiga kalad. Jacobson *et al.* (2018) uuris muutusi Ülemjärve ameerika räabise (*Coregonus artedi*) Minnesota osariigi väiksematesse järvedesse 1930-ndatel aastatel ümber asustatud populatsioonides. Kuigi Ülemjärvest pärit Ameerika räabis oli mõõtmelst suurem ja piklikum, olid 80 aasta jooksul väikesed, kuid märgatavad muutused toimunud kehakujus ja uimede pikkuses, mistõttu asustatud räabised hakkasid sarnanema kohalike räabiseliikidega. Samuti leiti, kui kolme erinevate ökoloogiliste omadustega järvedesse (Laadoga järv Venemaal, Sevani järv Armeenias, kuhu kala asustati 1920-1930 aastatel, ja Ösök-Köli järv Kõrgõzstanis, kuhu asustati siiga Sevani järvest aastal 1966) viidi siiavormi *Coregonus lavaretus ludoga*, siis morfomeetriliste mõõtmiste tulemused näitasid, et peamiselt suurenes lõpusepiide arv, soomuste arv küljejoonel, ninamiku pikkus, alalõua pikkus, sabavarre pikkus ja pea sügavus (Asanova *et al.*, 2023). Lisaks, Rootsi Fegeni järves uuritu põhjal on 30-40 aasta jooksul kevadel kudeva räabise (*Coregonus albula*) populatsioon jõudnud geneetilise pudelikaelani ning samuti on varasemaga võrreldes tekkinud erinevused fenotüübis, nüüdseks on nad muutunud sarnasemaks sügisel-kudeva populatsiooniga, mis on ise jäänud muutumatuks (Delling ja Palm, 2019). Need tulemused viitavad, et siiad on väga kohanemisvõimelised erinevate keskkonnamuutuste ja ka antropogeensete mõjutuste suhtes, ning see kajastub sageli ka muutustena vastavate siiaasurkondade morfoloogias.

Käesoleva töö peamiseks eesmärgiks oli selgitada, kas merisiia ja siirdesiia morfomeetiline eristamine on võimalik. Morfomeetriliste mõõtmiste andmestikuga läbi viidud peakomponentanalüüsi põhjal oli kõige rohkem erinevusi peamiselt pea kujus ja keha kõrgustes ning väiksemal määral ka sabavarre jämeduses ning keha pikkuses (Joonised 4-7; lisa 2). On ootuspärane, et pea morfomeetria võib eeskätt olla mõjutatud

toitumisega seotud muutujatest, kus jõulisema ja pikema peaga liigid eelistavad bentoset toitumist ning saledama ja suuremate silmadega liigid pelaagilist toitumist (Garduño-Paz ja Adams, 2010). Eesti merisiig ja siirdesiig toituvad mõlemad maimuna zooplanktonist, kuid juba esimesel elusuvel liiguvad üle suuremale saagile, nagu zoobentos ja ka väikesed kalad (Saat, 2022). Täiskasvanud merisiiad toituvad talv-kevad perioodil kalda lähedal ja liiguvad suvel sügavamatesse jahedamatesse vetesse, siirdesiid laskuvad peale kudemist tagasi merre ja kasutavad turgutusalaena enamasti samu piirkondi, mida merisiidki (Sõrmus ja Turovski, 2003). Käesoleva töö tulemusena võib oletada, et kuna liikide vahelised pea morfoloogia erinevused ei olnud märkimisväärselt suured, liigid jagavad elupaika valdava osa elust ja toidu koostis kattuvad, on liikide vahel tugev toidukonkurents, mis väljendub pea morfoloogias. Samas on tõenäoline, et ilmnenud erisus võib ka tuleneda merisiia ja siirdesiia noorjärkude toitumisökoloogilistest erisustest.

Peakomponentanalüüsi tulemused näitasid, et siirdesiid on kõrgema kehaga kui merisiid. Kaladel on keha kõrguse muutlikus väga sageli on seletatud kiskluse mõjuga (Diana ja Höök, 2023). Kiskjate olemasolu puhul või nende arvukuse suurenemisel muutuvad saakkalade mõõtmed. Kõrgem ja piklikum keha, muudavad neelamise kiskjatele raskemaks, ning suuremad uimed ja jõulisem tagakeha võimaldavad kiiremaid sööste kiskjate eest (Mobley *et al.*, 2011, Langerhans *et al.*, 2004). Samas ei ole senised uuringud pööranud tähelepanu sellele, kas ka merisiia ja siirdesiia kehakuju mõjutab röövloomade kohalolu siigade elupaigas. Ka ei saa välistada, et siirdesiia kõrgem kehakuju võib olla seotud mõne muu surveteguriga. Sageli seostatakse kehakujuerinevusi sümpatrilistel siiaasurkondadel näiteks elupaiga ja toitumistüübiga (Doenz *et al.*, 2018).

Lisaks kisklusele mõjutab kalade morfoloogiat ka ülepüük. Aronsuu ja Huhmarniemi (2004) uurisid 1970-2000 perioodil Soomes Kalajoel asustatud Carlin-märgisega märgistatud kudema rändavate siirdesiigade keskmise suuruse, kasvu ja vanuselise koosseisu muutusi. Kuni 1990. aastate alguseni langes siigade keskmine vanus kiiresti. Pärast seda on see järk-järgult suurenenud. Tulemuste põhjal järeldati, et kasvu ja vanuselise koosseisu muutused olid seotud suurenenud püügikoormuse ja nakkevõrkude silmasuuruse vähenemisega Botnia lahes. Sarnaselt leiti, et püügisurvel võib olla oluline, ent erinev mõju sümpatriliste siiglaste kasvuparameetritele (Nussle *et al.*, 2010). Eesti rannikul siigade populatsioonis vanuselise koosseisu ja keskmise massi ja pikkuse muutuseid aastate lõikes uuritud ei ole, kuid nende uurimine süvendaks teadmisi siia varudest ja võimaldaks järeldada paremaid meetmeid varude kaitseks ja kasutamiseks.

Kehakujude võrdluses ilmnes, et emased merisiiad olid isaste merisiigadega ja siirdesiigadega võrreldes kõige väiksema keha kõrgustega, samas kui isased siirdesiiaid olid vaadeldud kaladest kõige pikemad ja suurimate kehakõrgustega. Siirdesiigade kasvukiirus ja viljakus on suurem merisiigade omast (Saat, 2022; Sõrmus ja Turovski, 2003). Kuna merisiiaid püüti peale kudemist, siirdesiiaid aga enne kudemist ning siirdesiigadel olid gonaadid võrdlemisi hilises küpsusastmes, võis see mõjutada emaste merisiigade kehakuju võrdluses teiste gruppidega - kuid siiski mitte pea ega kehapikkuse osas.

Siiski ilmnes, et kuigi emased ja isased merisiiaid olid morfomeetrilise analüüsi alusel selgesti eristatavad, siis morfoloogiliste tunnuste põhjal suudeti emaseid merisiigu õigesti tagasimäärata vaid 68,1 % ja isaseid 76,5 % korral. Seega oli eksliku tagasimääramise protsent liiga suur, et selle sugulise dimorfismi ilmingu ökoloogilise olulisuse osas tugevaid järeldusi teha (Tabel 4) (Monet *et al.*, 2006). Emaste ja isaste kalade vahel on sageli kirjeldatud erisusi kasvukiiruse ja suguküpseks saavutamise kiiruse osas (Morbey, 2018). Euroopa siialiikide kompleksis (*Coregonus lavaretus* kompleks) on kala pikkust sageli kasutatud tunnuseks, mille põhjal saab määrata kala suguküpseuse (Ficker *et al.*, 2014). Seejuures püügisurve, mille alusel on määratud püütava kala lubatud minimaalpikkus, soodustab emastes kalades varem suguküpseks saamist (Ficker *et al.*, 2014). Lisaks välistele morfoloogiliste tunnustele, saab seksuaalset dimorfismi kalades hinnata ka kehasiseste morfoloogiliste tunnuste põhjal. Casselman ja Schulte-Hostedde (2004) uurisid ameerika siia (*Coregonus clupeaformis*) soolist dimorfismi sisemiste ja välimiste morfoloogiliste tunnuste põhjal ja leidsid, et isastel oli pikemad lõuad, rinna- ja kõhuuimed, rohkem lihasmassi ning suuremad südamed, mis eeldatavalt parandavad paljunemisedukust. Samas oli emastel ameerika räabistel raskemad maksad, kuna maks on oluline rasvade lagundamiseks, mis läbi saadakse rohkem energiat suurema hulga marja tootmiseks (Casselman ja Schulte-Hostedde, 2004). Seega, et paremini iseloomustada siirdesiia ja merisiia liigisisest erinevust, tuleb tulemusi omavahel võrrelda pärast kudemisaega püütud siirdesiia ja enne kudemisaega püütud merisiia isenditega, ning soolise dimorfismi eripärade väljaselgitamiseks tuleb uurida ka organite kaalu ja lihasmassi.

Lisaks uuriti, kui täpselt on võimalik selles töös kasutatud mõõtepunktide põhjal isendeid rühmadesse määrata. Pea, keha kõrguse ja keha pikkuse põhjal suudeti merisiigu õigesti tagasi määrata 81,7 % ja siirdesiigu 85,8 % kordadest (Joonis 8; Tabel 3) ning lisaks soolisel eristamisel suudeti emaseid merisiigu 68,1 % kordadel ja isaseid merisiigu 76,5 %

kordadel eristada (Joonis 10: Tabel 4), seejuures emaste ja isaste siirdesiigade eristamine õnnestus vähem kui pooltel kordadel, vastavalt 47,2 % ja 37,3 % kordadel (Joonis 13; Tabel 4). Siia liigid, vormid või ka asurkonnad on sageli morfoloogiliselt raskesti eristatavad, sest neil võib kehakuju olla vähe lihtsalt eristatavaid visuaalseid erinevusi põhjusel, et tegu on hiljutise evolutsioonilise lahkevusega (Mehner *et al.*, 2018). Seni on erinevate siiavormide (k.a. merisiia ja siirdesiia) eristamisel eelkõige kasutatud lõpusepiide arvu (Mannsfeld, 1930 viidatud Sõrmus ja Turovski, 2003 kaudu; Säisä, 2009). Samas kujunevad ühise leviala piires erinevad sümpatrilised vormid välja elupaigaeelistuste, kudemisalade, rändemustrite, kasvukiiruste, morfoloogiliste tunnuste ja toitumisharjumuste erinevuste koosmõjul (Säisä, 2009). Kanadas Suures Karujärves uuritud lühilõug-rääbisele (*Coregonus zenithicus*) sarnased vormid, mis asustasid järve sügavamaid veekihte, olid vähemate, lühemate ja hõredamate lõpusepiidega ning heledamate paarisuimedega, madalamaid veekihte asustavatel vormidel aga oli voolujoonelisem keha, pigmenteerunud paarisuimed ning pikemad ja tihedamalt asetsevad lõpusepiid ning nende toitumine koosnes peamiselt zooplanktonist (Howland *et al.*, 2013). Selles magistritöös jäeti välja uimede pikkused, sest mitmetel kordadel olid üks või mitu uime asendis, mis ei võimaldanud teostada mõõtmisi, kuid soolise dimorfismi uurimiseks tuleb uurida ka merisiia ja siirdesiia emaste ja isaste kalade uimede pikkusi ning kuju.

Sooline eristamine võimaldab merisiiaga paremini kaitsta. Mittesuguküpsed siirdesiid ja ka isendid, kes jätavad kudemise antud aastal vahele, püsivad sügisel meres toitumisaladel ning võivad esineda ka merisiia kudealadel, mistõttu rannikumere koelmutelt püütud siid ei pruugi olla 100 % ulatuses merisiid (Lehtonen ja Böhling, 1988; Sõrmus ja Turovski, 2003). Isased merisiid saavutavad suguküpsuse enamasti 3-4, emased 4-5 aastaselt ning siirdesiig keskmiselt aasta hiljem (Pihu ja Turovski, 2001). Enne alamõõdu saavutamist jõuavad merisiid vähemalt ühe aasta kudedes (Sõrmus ja Turovski, 2003). Emased saavutavad suguküpsuse isastest aasta hiljem, mistõttu on neil võimalus võrku sattuda enne kudemist suurem. Ristvalideerimise analüüsi tulemusena on võimalik pea, keha kõrguste ja keha pikkuste põhjal emaseid merisiigu eristada isastest siirdesiigadest 74,5 %, isastest merisiigadest 68,1 % ja emastest siirdesiigadest 70,2 % kordadel. Kalapüügieeskirja järgi on sügisel siiapüük keelatud Pärnu jões ja mõnedes rannikumere koelmualadel. Ülejäänud kohtades on kudemisaegne siiapüük siiani lubatud, mis ajal saadakse ka kõige suuremad saagikogused. Olukorras, kus merisiia arvukus on jõudnud kriitilisse madalseisu, ei ole jätkusuutlik jätkata merisiia püügiga kudeajal asukohast hoolimata. Morfomeetriste

tunnuste põhjal on võimalik vähemalt pooltel kordadel eristada emaste ja isaste merisiigade isendeid saagis, ning võimalusel neid tagasi merre lasta, et võimaldada looduslikult merisiia asurkonna arvuskust suurendada.

Kutselise kalapüügi kasvades hakkavad siiavarud ammenduma ja eeldatavalt on kalade asustamine meede kalavarude hoidmiseks. Asustamine suurendab geenivoolu kalakasvatustes kasvatatud ja looduslike siiapopulatsioonide vahel, mistõttu võib kujuneda olukord, et erinevates paikades kudevate populatsioonide vahel on fenotüübilised ja geneetilised lahknevused äärmiselt väikesed (Ozerov *et al.*, 2015). Jokikokko ja Huhmarniemi (2014) leidsid, et asustamise intensiivsuse ja saagi koguste vahel oli märkimisväärne positiivne korrelatsioon nii kalade kaalu kui ka arvukuse poolest, mis näitas tugevat seost siiakala asustamise ja püügi vahel. Ka Eestis varasematel aastatel proovitud nn. merisiiga asustada, kuid 90datel käsitleti merisiiga, siirdesiiga ja peipsi siiga ühe liigina ning seega viidi kohati ka peipsi siiga (*Coregonus lavaretus maraenoides*) merre (Gross *et al.*, 2002). Merisiiad ja siirdesiidid võivad omavahel saada järglasi, kes on võimelised edasi sigima (Säisä, 2009). Põlula kalakasvatus on tegelenud aastail 2016-2021 samasuviste kalade ja siiavastete asustamisega ka Pärnu jõkke, kuhu on samasuviseid siigu kokku asustatud umbes 127 000 isendit (Riigimetsa Majandamise Keskus: Noorkalade asustamine, s.a.). Merisiia asustamine on keerulisem kui siirdesiia asustamine, kuna kudekarja tuleb hoida soolases vees, mis on kulukam kui mageveesüsteemid, ning merisiigu tuleb eristada kudemispaiaga järgi, kuna nad on lojaalsed kudemispaiigale, ja meres kudevate eri populatsioonide esineb ka lahknevus lõpusepiide arvus (Baikov *et al.*, 2017; Verliin *et al.*, 2011). Seetõttu on perspektiivne ka merisiia populatsioone püüda eristada geomeetrilise morfomeetriliste meetoditega. Kuna Eesti rannikul esineb palju Soome kalakasvatustest pärit kalu, on vajalik võrrelda ka naaberriigist pärit isendite morfomeetrilisi tunnuseid, et võimalusel neid Eesti kalasaagi kogustes eristada ja hinnata millise osa saagist nad moodustavad.

Et kuigi morfomeetiline analüüs viitab, et siirdesiidid on tüsedamad kui merisiidid, on siiski silma järgi nende eristamine väga keeruline. Ka ei võimalda käesolevaga sarnast analüüsi ilmselt välitingimustes teha selle töömahukus. Küll aga võiks selle töö põhjal väita, et kui on soov, siis saab siiasaakide pildistamise ja nende fotode analüüsi kaudu anda hinnanguid selle kohta, milline siialiik moodustab millise osakaalu saakidest. Liikide eristamine on vajalik, et paremini kaitsta Eesti kalavarusid, sest ka kalurite majanduslikust huvist lähtuvalt tuleb tagada merisiigade populatsioonide jätkusuutlikkus.

5. Kokkuvõte

Kalade süstemaatikat käsitleva andmebaasi FishBase järgi levib Eesti meres merisiig (*Coregonus widegreni*) ja anadroomne siirdesiig (*Coregonus maraena*), keda pikalt on käsitletud euroopa siia (*Coregonus lavaretus*) erinevate vormidena. Ka kalamajanduslike andmete kogumisel ei eristata merisiiga ja siirdesiiga erinevate liikidena. Samas erinevad need liigid kudepaiga, kasvukiiruse, absoluutse viljakuse ja lõpusepiide arvu poolest, aga liike on morfomeetriliselt omavahel keeruline eristada. Liikide paremaks kaitseks ja jätkusuutlikumaks majandamiseks on oluline uurida liikide morfomeetriat, et leida võimalikud erisused.

Selles magistritöös uuriti, kas liike on võimalik omavahel eristada. Peakomponentanalüüs tuvastas olulised erinevused merisiia ja siirdesiigade vahel. Seejärel uuriti kanoonilise diskriminantanalüüsi abil liigi ja soo gruppide omavahelist paiknemist, mis tuvastas, et merisiia emaste ja isaste vahel on suur lahknevus, kuid mitte siirdesiigade vahel. Nii peakomponentanalüüs ja kanooniline diskriminantanalüüs näitasid olulist erinevust pea kujus, keha kõrgustes kui ka keha pikkuses. Ristvalideerimise testi põhjal saab pea, keha kõrguse ja keha pikkuse põhjal merisiigu õigesti paigutada 81,7 % ja siirdesiigu 85,8 % kordadest.

Eesti rannikul siigade populatsioonis vanuselise koosseisu ja keskmise massi ja pikkuse muutuseid aastate lõikes uuritud ei ole. Küll aga süvendaks nende uurimine teadmisi siia varudest ja millest saaks järeldada paremaid meetmeid varude kaitseks ja kasutamiseks. Et paremini iseloomustada siirdesiia ja merisiia liigisisest erinevust, tuleb tulemusi omavahel võrrelda pärast kudemisaega püütud siirdesiia ja enne kudemisaega püütud merisiia isenditega, ning soolise dimorfismi eripärade väljaselgitamiseks tuleb uurida ka organite kaalu ja lihasmassi. Kuna Eesti rannikul esineb palju Soome kalakasvatustest pärit kalu, on vajalik võrrelda ka naaberriigist pärit isendite morfomeetrilisi tunnuseid, et võimalusel neid Eesti kalasaagi kogustes eristada ja hinnata millise koguse Eesti saagis nad moodustavad.

Püügiandmed koguti aastatel 2014 ja 2016-2021 Eesti Mereinstituudi seirete käigus ja kutseliste kalurite poolt. Kokku jäädvustati 303 fotot, millest pruugiti välja võrkudes kahjustada saanud isendid ja vale nurga alt jäädvustatud isendid. Pärast mõõtepunktide lisamist piltidele koostati eraldi Exceli fail MorphoJ analüüsimiseks, milles kohaldati

kalakood temale kuuluvate andmetega ehk püügikoha, soo, piide arvu, liigi, suguküpsuse astme, massi (TW g) ja täispikkusega (TL mm).

6. Summary

According to Fishbase, which displays the systematics of fish, in Estonian sea there are Valaam whitefish (*Coregonus widegreni*) and anadromous Maraena whitefish (*Coregonus maraena*), who for a long time were considered as forms of the European whitefish (*Coregonus lavaretus*). Valaam and Maraena whitefish are still considered as one species in fisheries data collection. For example, the species have different spawning grounds, growth, in absolute fertility and in the number of gill rakes, but there are no obvious morphometric differences. To better protect and to implement more sustainable management of species, it is important to explore the morphometry of species to find possible distinctions.

The aim of this master's thesis was to investigate whether species can be distinguished. Principal component analysis identified significant differences between Valaam and Maraena whitefish. Canonical discriminant analysis was used to study arrangement between the location of the species and the gender groups, which found that there was a great difference in Valaam whitefish females and males, but not between Maraena whitefish. Both the principal component analysis and the canonical discriminant analysis showed a significant difference in the shape of the head, in height of the body and in the length of the body. Cross-validation test showed that based on the head shape, body height and body length 81.7% of Valaam whitefish and 85.8% of Maraena whitefish can be correctly placed.

The Estonian coast whitefish populations' average weight and length changes over the years have not been studied. However, their research would deepen the knowledge of the stocks of which better protection measures and stocks use could be deduced. To better characterize the difference between the species, the results must be compared after spawning caught Maraena whitefish and with before spawning caught Valaam whitefish specimens, and to study species gender dimorphism peculiarities weight and muscle mass of the organs must also be studied. As there are many fish from Finnish fish farms on the Estonian coast, it is also necessary to compare the morphometric features of specimens from the neighboring country to assess what amount they make up in the Estonian fish yields.

The fishing data was collected during the monitoring of the Estonian Marine Institute and by professional fishermen in 2014 and in 2016-2021. A total of 303 photos were captured, but specimens damaged by the nets and specimens, which were photographed in the wrong angle, were excluded. After adding the measuring points to the images, a separate Excel file was prepared for analysis in Morphoj, which included fish code, fishing area, gender, gill rake number, species, sexual maturity, weight (TW g) and full length (TL mm).

7. Tänuavaldused

Täna väga oma juhendajaid, Lauri Saksi ning ka Aare Verliini põhjaliku juhendamise, asjaliku kriitika ja kannatlikkuse eest. Samuti kutselisi kalureid Kalle Kreist, Imre Kivi ja Endel Kaevatsit, kes oma töö kõrvalt panustasid andmete kogumisse. Tahan ka tänada oma pere ja sõpru, kes mind innustasid ja toeks olid.

8. Kasutatud kirjandus

- Langerhans R, Ayman C ja Hokrollahi A (2004) Predator-driven phenotypic diversification in *Gambusia affinis*. *Evolution* 58: 2305–2318. Available at: [http://gambusia.zo.ncsu.edu/Langerhans et al 2004.pdf](http://gambusia.zo.ncsu.edu/Langerhans%20et%20al%202004.pdf).
- Armulik T ja Sirp S (2022) *Eesti kalamajandus 2021. Kalanduse teabekeskus*.
- Aronsoo K ja Huhmarniemi A (2004) Changes in the European whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) population of the Kalajoki — potential consequences of the alterations of fishing patterns in the Gulf of Bothnia. *Annales Zoologici Fennici* 41: 195–204. Available at: <https://www.jstor.org/stable/23736203>.
- Asanova E, Maygulakova L, Karabaeva R, et al. (2023) Morphometric characters of the whitefish *Coregonus lavaretus ludoga* in connection with the lake Issyk-Kul ecological and geographical conditions and its introduction. *E3S Web of Conferences* 380. DOI: 10.1051/e3sconf/202338001018.
- Baikov A, Gross R, Hurt M, et al. (2017) Kalakasvatusliku taastootmise tegevuskava 2017–2019, perspektiiviga kuni 2023.
- Bernatchez L (2003) Ecological Theory of Adaptive Radiation: An Empirical Assessment from *Coregonine* Fishes (*Salmoniformes*). Hendry AP (toim) *Evolution Illuminated: Salmon and Their Relatives*. Oxford University Press.
- Casselman SJ ja Schulte-Hostedde AI (2004) Reproductive roles predict sexual dimorphism in internal and external morphology of lake whitefish, *Coregonus clupeaformis*. *Ecology of Freshwater Fish* 13: 217–222.
- Delling B ja Palm S (2019) Evolution and disappearance of sympatric *Coregonus albula* in a changing environment—A case study of the only remaining population pair in Sweden. *Ecology and Evolution* 9: 12727–12753. DOI: 10.1002/ece3.5745.
- Diana JS ja Höök TO (2023) *Biology and Ecology of Fishes*. 3. tr John Wiley & Sons.
- Doenz CJ, Bittner D, Vonlanthen P, et al. (2018) Rapid buildup of sympatric species diversity in Alpine whitefish. *Ecology and Evolution* 8: 1–15. DOI: 10.1002/ece3.4375.
- Eckmann R (2013) A review of the population dynamics of coregonids in European alpine lakes. *Advances in Limnology* 64.

- Ficker H, Mazzucco R, Gassner H, *et al.* (2014) Fish length exclusively determines sexual maturation in the European whitefish *Coregonus lavaretus* species complex. *Journal of Fish Biology* 84: 1164–1170. DOI: 10.1111/jfb.12301.
- Garduño-Paz M V. ja Adams CE (2010) Discrete prey availability promotes foraging segregation and early divergence in Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. *Hydrobiologia* 650: 15–26. DOI: 10.1007/s10750-009-0055-8.
- Gross R, Hurt M, Kangur M, *et al.* (2002) *Kalakasvatusliku taastootmise programm*. Paaver T (toim).
- Howland KL, Boguski D, Gallagher C, *et al.* (2013) Variation in morphology, life history and ecology of cisco in Great Bear Lake, Northwest Territories. *Fisheries and Oceans Canada*. DOI: 10.13140/2.1.4263.2965.
- Hudson AG, Vonlanthen P, Bezault E, *et al.* (2013) Genomic signatures of relaxed disruptive selection associated with speciation reversal in whitefish. *BMC Evolutionary Biology* 13. DOI: 10.1186/1471-2148-13-108.
- Jacobson PC, Emms SK, Cruise JL, *et al.* (2018) Retention of morphological and ecological traits of Lake Superior cisco *Coregonus artedii* after translocation into inland lakes. *Journal of Great Lakes Research* 44. International Association for Great Lakes Research.: 289–298. DOI: 10.1016/j.jglr.2017.12.005.
- Jokikokko E ja Huhmarniemi A (2014) The large-scale stocking of young anadromous whitefish (*Coregonus lavaretus*) and corresponding catches of returning spawners in the River Tornionjoki, northern Baltic Sea. *Fisheries Management and Ecology* 21: 250–258. DOI: 10.1111/fme.12068.
- Kottelat M (1997) European freshwater fishes. *Biologia* 52: 1–271.
- Lehtonen H ja Böhling P (1988) Management of the whitefish (*Coregonus lavaretus* L. s.l.) fishery in the Gulf of Botnia. *Finnish Fisheries Research* 9: 373–387.
- Lips U ja Stoicescu S-T (2022) *Eesti merestrateegia meetmekava ajakohastamine Uute meetmete teostatavuse ja piisavuse analüüs: Eutrofeerumine*. Tallinn.
- Mangerud J, Jakobsson M, Alexanderson H, *et al.* (2004) Ice-dammed lakes and rerouting of the drainage of northern Eurasia during the Last Glaciation. 23: 1313–1332. DOI: 10.1016/j.quascirev.2003.12.009.

- Mehner T, Pohlmann K, Bittner D, *et al.* (2018) Testing the devil ' s impact on southern Baltic and North Sea basins whitefish (*Coregonus* spp .) diversity. *BMC Evolutionary Biology*: 1–16.
- Mitteroecker P ja Schaefer K (2022) Thirty years of geometric morphometrics : Achievements , challenges , and the ongoing quest for biological meaningfulness. *178*: 181–210. DOI: 10.1002/ajpa.24531.
- Mobley KB, Lussetti D, Johansson F, *et al.* (2011) Morphological and genetic divergence in Swedish postglacial stickleback (*Pungitius pungitius*) populations. *BMC Evolutionary Biology volume 11*. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2148-11-287>.
- Monet G, Uyanik A ja Champigneulle A (2006) Geometric morphometrics reveals sexual and genotypic dimorphisms in the brown trout. *Aquatic Living Resources* 19: 47–57. DOI: 10.1051/alr:2006004.
- Morbey YE (2018) Female-biased dimorphism in size and age at maturity is reduced at higher latitudes in lake whitefish *Coregonus clupeaformis* Running headline: Female-biased ssd in *Coregonus clupeaformis* Y. E. M. *Journal of Fish Biology* 93: 40–46. DOI: 10.1111/jfb.13675.
- Nussle S, Brechon A ja Wedekind C (2010) Change in individual growth rate and its link to gill-net fishing in two sympatric whitefish species. *Evolutionary Ecology* 25: 681–693. DOI: 10.1007/s10682-010-9412-3.
- Oreha J ja Ģkute N (2009) Morphological characteristics of local populations of European vendace *Coregonus albula* (L .) in some lakes of latvia during 50 years. *latvian academy of sciences* 63: 271–278. DOI: 10.2478/v10046-010-0003-z.
- Østbye K, Bernatchez L, Næsje TF, *et al.* (2005) Evolutionary history of the European whitefish *Coregonus lavaretus* (L.) species complex as inferred from mtDNA phylogeography and gill-raker numbers. *Molecular Ecology* 14: 4371–4387. DOI: 10.1111/j.1365-294X.2005.02737.x.
- Ozerov MY, Himberg M, Aykanat T, *et al.* (2015) Generation of a neutral FST baseline for testing local adaptation on gill raker number within and between European whitefish ecotypes in the Baltic Sea basin. *Journal of Evolutionary Biology* 28: 1170–1183. DOI: 10.1111/jeb.12645.
- Pihu E ja Turovski A (2001) *Eesti mageveekalad*.

- Rasmann E, Sandberg S, Tuus H, *et al.* (2016) koelmualade taastamise programm 2017-2023.
- Rohtla M, Svirgsden R, Verliin A, *et al.* (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. Elsevier B.V.: 47–57. DOI: 10.1016/j.fishres.2016.11.004.
- Ruane S (2015) Using geometric morphometrics for integrative taxonomy : an examination of head shapes of milksnakes (genus *Lampropeltis*). *Zoological Journal of the Linnean Society*. DOI: 10.1111/zoj.12245.
- Saat T (2022) *Eesti kalad*. Verliin A, Saks L, Kesler M, *et al.* (toim). Tartu Ülikooli Kalanduse teabekeskus.
- Säisä M (2009) Genetic diversity of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and European whitefish (*Coregonus lavaretus*) in the Baltic Sea. University of Helsinki.
- Saks L, Meitern R, Eschbaum R, *et al.* (2020) Piirkondlike kalapüügipiirangute ning kalade piirmõõtude kaasajastamine.
- Salojärvi K ja Auvinen H (1981) A Computer program for classifying sympatric whitefish (*Coregonus lavaretus* L. 5. /.) stocks. *Finnish Fisheries Research* 3: 23–28.
- Selz OM, Doenz C, Vonlanthen P, *et al.* (2020) A taxonomic revision of the whitefish of lakes Brienz and Thun , Switzerland , with descriptions of four new species (*Teleostei* , *Coregonidae*). 162: 79–162. DOI: 10.3897/zookeys.989.32822.
- Slice DE (2007) Geometric Morphometrics. *The Annual Review of Anthropology* 36: 261–81. DOI: 10.1146/annurev.anthro.34.081804.120613.
- Sõrmus I ja Turovski A (2003) *Fishes of Estonia*. Ojaveer E, Pihu E, ja Saat T (toim). Teaduste Akadeemia Kirjastus.
- Svärdson G (1979) *Speciation of Scandinavian Coregonus*.
- Verliin A (2002) *Merisiig Eesti rannikumeres: vormid, kasv, toitumine, viljakus*. Tartu Ülikool.
- Verliin A, Saks L, Svirgsden R, *et al.* (2013) Whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) landings in the Baltic Sea during the past 100 years: Combining official datasets and grey literature. *Advances in Limnology* 64: 133–152. DOI: 10.1127/1612-

166X/2013/0064-0020.

Vonlanthen P, Bittner D, Hudson AG, *et al.* (2012) Eutrophication causes speciation reversal in whitefish adaptive radiations. *Nature* 482. Nature Publishing Group: 357–362. DOI: 10.1038/nature10824.

Internetiallikad

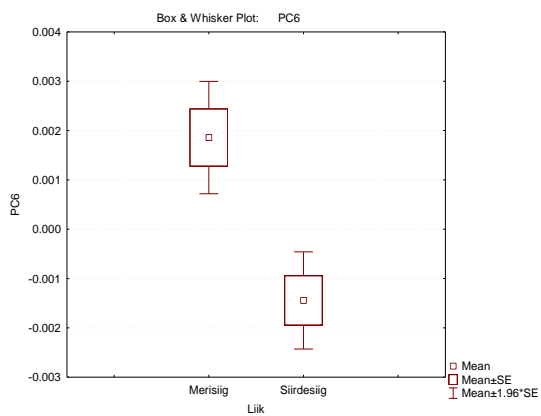
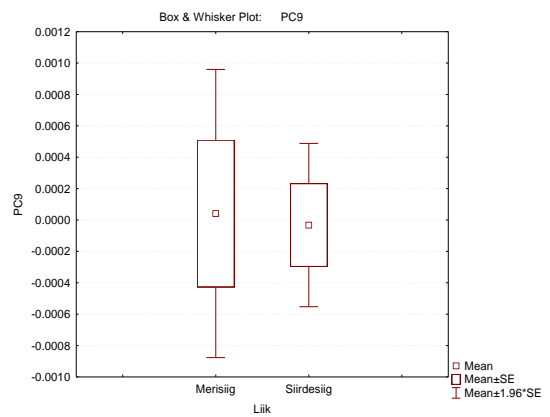
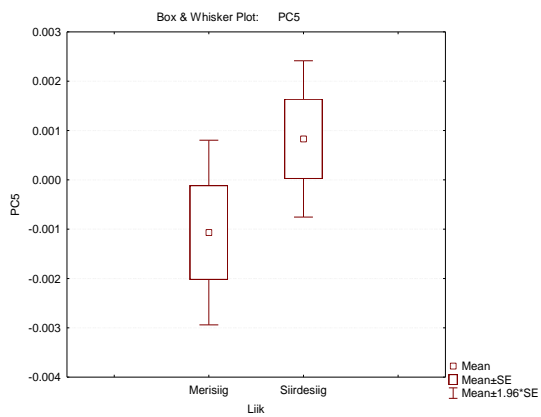
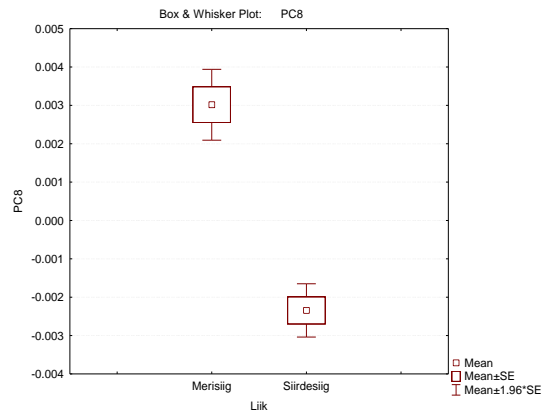
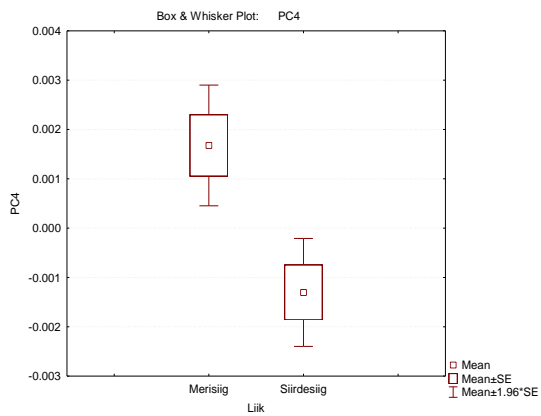
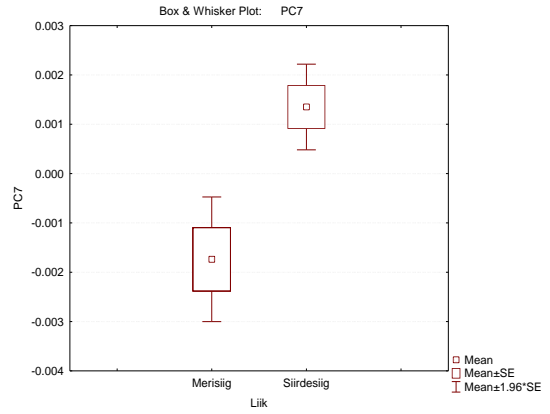
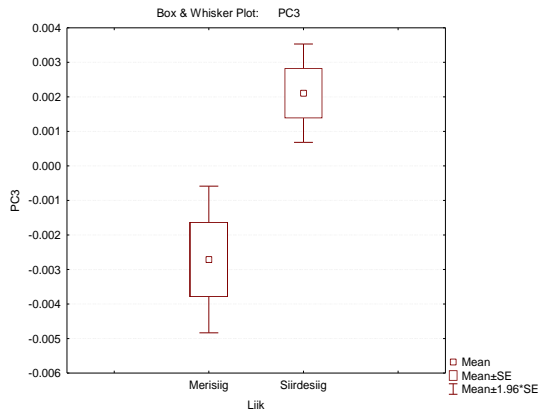
Fishbase. Veebiaadress: <https://www.fishbase.se/search.php> (22.01.2024)

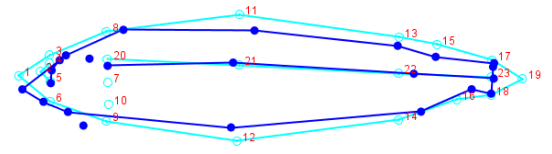
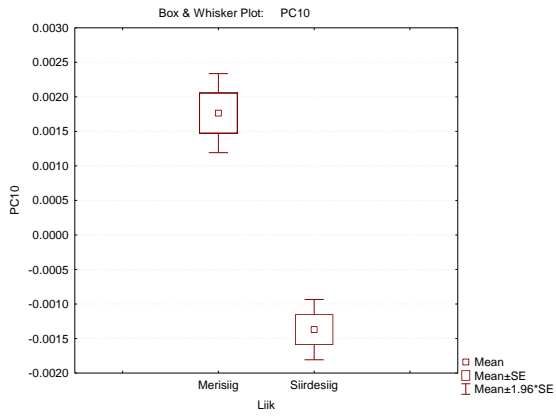
Kalapüügieeskiri (2024) Vabariigi Valitsus. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/129112023002>. (22.01.2024)

Riigimetsa Majandamise Keskus: Noorkalade asustamine (s.a.). Veebilehekülj: <https://www.rm.k.ee/organisatsioon/polula-kalakasvandus/noorkalade-asustamine>. (22.01.2024)

Viitamiseks on kasutatud Mendeley SAGE Harvard viitamisstiili.

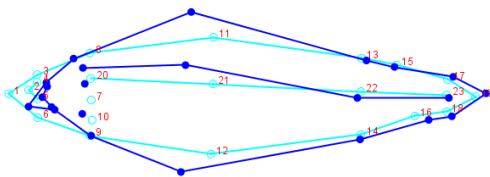
Lisa 1



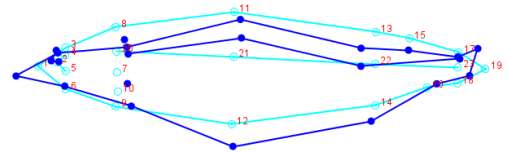


PC6

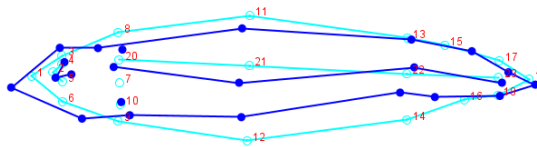
Lisa 2



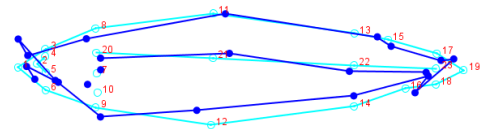
PC3



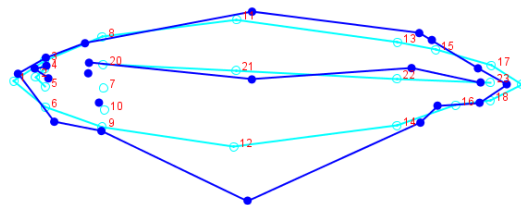
PC7



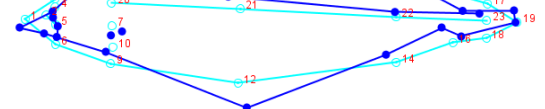
PC4



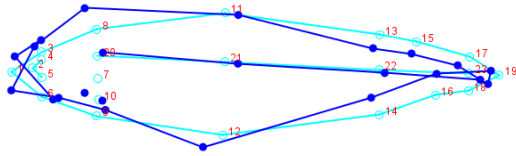
PC8



PC5



PC9



PC10

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Stella Miil,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Eesti siirdesiia (*Coregonus maraena*) ja merisiia (*Coregonus widegreni*) asurkondade morfomeetriline analüüs“, mille juhendajad on Lauri Saks ja aare Verliin, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. 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.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

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

Stella Miil

02.02.2024