LATVIJAS UNIVERSITĀTE

Promocijas darba kopsavilkums

Summary of Doctoral Thesis

Ēriks Krūze

APAĻĀ JŪRASGRUNDUĻA *NEOGOBIUS MELANOSTOMUS* (PALLAS 1814) POPULĀCIJAS ATTĪSTĪBA UN LOMA GRUNTS ZIVJU SABIEDRĪBĀ

ROUND GOBY *NEOGOBIUS MELANOSTOMUS* (PALLAS 1814) POPULATION DEVELOPMENT AND ROLE ON THE DEMERSAL FISH COMMUNITY

Rīga 2023

LATVIJAS UNIVERSITĀTE

BIOLOĢIJAS FAKULTĀTE

Ēriks Krūze

APAĻĀ JŪRASGRUNDUĻA *NEOGOBIUS MELANOSTOMUS* (PALLAS 1814) POPULĀCIJAS ATTĪSTĪBA UN LOMA GRUNTS ZIVJU SABIEDRĪBĀ

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS

Doktora grāda iegūšanai dabas zinību nozarē
Apakšnozare: hidrobioloģija

Rīga 2023

Promocijas darbs izstrādāts Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskā institūta "BIOR" zivju resursu pētniecības departamentā un Latvijas Universitātes Bioloģijas fakultātē, Hidrobioloģijas katedrā laika posmā no 2014. gada līdz 2023. gadam

Darbs sastāv no ievada, 3 nodaļām, secinājumiem, literatūras saraksta, 3 pielikumiem.

Darba forma: publikāciju kopa dabaszinību nozarē, hidrobioloģijas apakšnozarē.

Darba zinātniskais vadītājs: *Dr. biol.* **Didzis Ustups**

Darba recenzenti:
1) prof. *Dr. biol.* **Artūrs Škute** Daugavpils Universitāte,
2) *Dr. biol.* **Ingrīda Andersone** Latvijas Hidroekoloģijas institūts,
3) asoc. prof. *PhD* **Tiit Raid**, Tartu Universitāte (tiit.raid@ut.ee).

Promocijas darba aizstāvēšana notiks 2023. gada 14. decembrī Latvijas Universitātes Bioloģijas zinātnes nozares hidrobioloģijas apakšnozares promocijas padomes atklātajā sēdē pulksten 14.00 Rīgā, Jelgavas ielā 1, 702. auditorijā.

Ar promocijas darbu un tā kopsavilkumu var iepazīties Latvijas Universitātes Bibliotēkā Rīgā, Kalpaka bulvārī 4.

LU Bioloģijas zinātņu nozares promocijas
padomes priekšsēdētājs
prof. *Dr. biol.* **Guntis Brūmelis**

promocijas padomes sekretāre
Vita Rovīte

© Ēriks, Krūze, 2023
© Latvijas Universitāte, 2023

ISBN 978-9934-36-123-4
ISBN 978-9934-36-124-1 (PDF)

KOPSAVILKUMS

Baltijas jūras unikālās fiziskās un ekoloģiskās īpašības padara to jūtīgu pret dažādu vides un antropogēno faktoru ietekmi, piemēram, tādu kā invazīvo sugu izplatīšanos. Veiksmīgā apaļā jūrasgrunduļa (*Neogobius melanostomus*) invāzija ir uzskatāms piemērs tam, kā jauna suga pielāgojas un attīsta stabilu populāciju, ieņemot nišu, kas ir svarīga vietējām zivju sabiedrībām. Šajā pētījumā pirmo reizi raksturota apaļo jūrasgrunduļu populācijas attīstība Latvijas ūdeņos. Izmantojot populāciju ilgtermiņa tendences, analizēta vietējo bentisko zivju sugu iespējamā atbildes reakcija, laika periodos pirms un pēc invāzijas (1979–2021). Barības bāzes analīze apraksta to, kā savstarpēji mijiedarbojas apaļais jūrasgrundulis ar vietējām zivīm. Rezultāti liecina par izmaiņām karpveidīgo un plēsīgo zivju populāciju tendencēs pēc 2009. gada. Bet akmeņplekstu (*Scophthalmus maximus*) mazuļu pieaugums ievērojami samazinājās pēc tam, kad bija sākusies apaļā jūrasgrunduļa invāzija barības konkurences ietekmē. Novērota bentisko zivju un bezmugurkaulnieku sugu biomasas tendenču samazināšanās Rīgas jūras līča atklātajā daļā. Ņemot vērā iespējamās izmaiņas ekosistēmas darbībā, ir aprakstītas iespējamās turpmākās pārvaldības iezīmes, tostarp tieši piemērojami ieteikumi attiecībā uz piekrastes zivju monitoringu, jo apaļais jūrasgrundulis turpina ietekmēt vietējo ekosistēmu un tas ir kļuvis par nozīmīgu zvejas objektu.

Atslēgvārdi: Baltijas jūra, apaļais jūrasgrundulis, invāzija, ietekme uz vietējām zivīm, barošanās analīze, piekrastes zivju monitorings

SATURS

KOPSAVILKUMS 3

SAĪSINĀJUMI 6

IEVADS 7

1. MATERIĀLI UN METODES 12
   1.1. Pētījuma teritorija un datu aptvērums laikā 12
   1.2. Grunts zivju paraugu ņemšanas metodes 12
      1.2.1. Piekrastes zivju mazuļu uzskaite ar velkamajiem vadiem 1998–2014 (III publikācija) 12
      1.2.2. Piekrastes zivju monitorings 1991–2021 (I un IV publikācija) 13
      1.2.3. Rīgas jūras līča bentisko zivju uzskaite 1979–2021 (I un II publikācija) 13
      1.2.4. Baltijas jūras starptautiskā grunts traļa uzskaites 2015–2021 (I publikācija) 13
   1.3. Datu apstrāde un statistiskā analīze pētījuma uzdevumu izpildei 14
      1.3.1. Apaļā jūrasgrunduļa populācijas attīstības analīze (I publikācija) 14
      1.3.2. Vietējo zivju populācijas izmaiņas pirms un pēc invāzijas (II, III un IV publikācija) 14
      1.3.3. Starpsugu mijiedarbība, izmantojot barības nišas analīzi (II un III publikācija) 15
      1.3.4. Ieteikumu izstrāde esošā piekrastes zivju monitoringa uzlabošanai (I publikācija) 16

2. REZULTĀTI 17
   2.1. Apaļā jūrasgrunduļa populācijas attīstība (I publikācija) 17
   2.2. Zivju populācijas izmaiņas pirms un pēc invāzijas (II, III un IV publikācijas) 18
   2.3. Starpsugu mijiedarbība starp apaļo jūrasgrunduli un vietējām zivju sugām, izmantojot barības nišas analīzi (II un III publikācija) 21
   2.4. Pamatojums ieteikumiem par apaļā jūrasgrunduļa turpmāko monitoringu (I publikācija) 24

3. DISKUSIJA 26
3.1. Apaļā jūrasgrunduļa *(Neogobius melanostomus)* invāzija Latvijas EEZ 26
3.2. Izmaiņas vietējo zivju populāciju tendencēs 27
3.3. Ietekme uz vietējo zivju sugu barošanos 28
3.4. Rekomendācijas tālākam monitoringam 29
SECINĀJUMI 32
PATEICĪBAS 33
LITERATŪRAS SARAKSTS 68
PIELIKUMI 72
1. pielikums 72
2. pielikums 73
3. pielikums 74
PUBLIKĀCIJAS 75

SAĪSINĀJUMI

BIOR	–	Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskais institūts "BIOR"
BITS	–	Baltijas jūras starptautiskā grunts traļa uzskaites
BSAP	–	Baltijas jūras rīcības plāns
CPUE	–	Nozveja uz piepūles vienību
DAU	–	Daugavgrīvas monitoringa stacija
EBA	–	Uz ekosistēmu balstīta pieeja
EEZ	–	Latvijas ekskluzīvā ekonomiskā zona
EU	–	Eiropas Savienība
FL1	–	Plekstu mazuļi līdz 3,5 cm
FL2	–	Plekstu mazuļi 3,5–5 cm
FL3	–	Plekstu mazuļi 5,5–9,5 cm
FL4	–	Plekstu mazuļi 10–15 cm
GLMM	–	Poisona vispārinātais lineārais jauktais modelis
HELCOM	–	Baltijas jūras vides aizsardzības komisija
ICES	–	Starptautiskā Jūras pētniecības padome
IEAs	–	Integrētie ekosistēmu novērtējumi
JUR	–	Jūrkalnes monitoringa stacija
MBU	–	Monciskes/Butinge monitoringa stacija
MSFD	–	Jūras stratēģijas pamatdirektīva
RG1	–	Apaļie jūrasgrunduļi 3–5 cm
RG2	–	Apaļie jūrasgrunduļi 7–14 cm
RG3	–	Apaļie jūrasgrunduļi 15–21 cm
TRIM	–	Statistiskās tendences un indeksi monitoringa datu analīzei
TU1	–	Akmeņplekstu mazuļi līdz 4 cm
TU2	–	Akmeņplekstu mazuļi 4–8 cm
TU3	–	Akmeņplekstu mazuļi 9–18 cm
WRS	–	Vilkoksona rangu summas tests

IEVADS

Pētījuma aktualitāte

Baltijas jūra ar tās zemo ūdens apmaiņu un lielo antropogēno slodzi padara tās ekosistēmas jutīgas pret dažādiem ietekmējošiem faktoriem (Dobrzycka-Krahel & Bogalecka, 2022). Tās jaunais vecums, fiziskās un ģeogrāfiskās īpatnības ir unikālas, tāpēc pasaulē nav daudz piemēru, ar ko salīdzināt (Snoeijs-Leijonmalm et al., 2017). Baltijas jūras iesāļūdens tips ir piemērots gan jūras, gan saldūdens sugām, tāpēc sugu bagātības ziņā daudzveidība ir liela (Hunt, 2022; Ojaveer et al., 2010; Plikss & Aleksejevs; 1998) tomēr lielākā daļa dominējošo zivju populāciju ir pakļautas zvejas spiedienam, un to krājumus starptautiskā līmenī stingri uzrauga atbildīgās iestādes (Lado, 2016; European Commission, 2007). Tāpēc daudz līdzekļu tiek ieguldīts pārrobežu zinātniskā monitoringa programmās, lai reģistrētu tā stāvokli visā Baltijas jūrā, piemēram, BONUS programma (Andrusaitis et al., 2016) un kopējā datu vākšanas sistēma (Eiropas Komisija 2017; Palialexis et al., 2021). Tas padara Baltijas jūru par vienu no visvairāk izpētītajām jūrām pasaulē, kurā ir identificētās ekoloģiskās problēmas un iespējamie risinājumi (Dobrzycka-Krahel & Bogalecka, 2022; Ojaveer, 2017). Baltijas jūra tiek salīdzināta ar laika mašīnu, lai ielūkotos citu jūru nākotnē (Reusch et al., 2018). Tomēr invazīvā apaļā jūrasgrunduļa (*Neogobius melanostomus*) kolonizācija Baltijas jūrā un tās veiksmīga integrācija vietējā ekosistēmā uzliek par pienākumu risināt jauna veida uzdevumus monitoringa sistēmās un izstrādāt jaunus aspektus bentisko zivju sabiedrību zivsaimniecības pārvaldībai nākotnē (Ojaveer et al., 2015). Ir ļoti svarīgi novērtēt jutīgās vietējo zivju kopienas nacionālā līmenī, lai padarītu aizsardzības pasākumus efektīvākus (Vullioud, 2016). Latvijā ir sava zivsaimniecības pārvaldības sistēma, kas tiek īstenota ar Zemkopības ministrijas starpniecību, kur zinātniskā padoma veidā vietējo zivju populāciju apsaimniekošana tiek īstenota, pamatojoties uz zinātniskiem novērojumiem un rūpnieciskās nozvejas datiem (www.zm.gov.lv).

Vispārējais mērķis ir ieviest uz ekosistēmu balstītu pieeju (EBA) jūras telpiskajā plānošanā, monitoringā un zivju krājumu novērtēšanā, jo vienā zvejas apgabalā tiek zvejotas vairākas zivju sugas, un dažādas flotes nozvejo atšķirīgas dažādu zivju sugu proporcijas, tādējādi ievērojami palielinot zvejas izraisīto mirstību (Vinther et al., 2004). Tāpēc ir svarīgi paplašināt pētījumus par dažādām sugām, trofiskajiem līmeņiem un telpiskajiem apgabaliem Baltijas jūrā (Eiropas Komisija, 2021). Integrētie ekosistēmu novērtējumi (IEA) ir izstrādāti, kā formāli sintēzes instrumenti, lai analizētu informāciju par attiecīgajiem dabas un sociālekonomiskajiem faktoriem noteiktiem pārvaldības mērķiem. Ekoloģiskie indikatori ir ļoti svarīgi IEA izstrādē, kas kalpo kā kvantitatīvi mērījumi, lai atspoguļotu galvenos ekoloģiskos procesus, sugu populācijas un vides apstākļus konkrētajā ekosistēmā (Eero et al., 2021). Svarīgi ir koncentrēties uz IEA pieejas

īstenošanu Baltijas jūras zivju krājumiem, apvienojot taktiskos un stratēģiskos pārvaldības aspektus vienotā stratēģijā, kas atbalsta pašreizējos ICES veiktos Baltijas jūras zivju krājumu ieteikumus (Möllmann et al., 2014). Kopumā dažādu paraugu ņemšanas metožu izmantošana un datu kombinācija ekoloģisko indikatoru izstrādē var uzlabot indikatoru efektivitāti un lietderību ekosistēmu pārvaldībā un lēmumu pieņemšanā (Sparrow et al., 2020). Ekoloģiskajiem indikatoriem ir izšķiroša nozīme Jūras stratēģijas pamatdirektīvas (MSFD) (Jūras stratēģijas pamatdirektīva 2008/56/EK, 2008) īstenošanā, kurā ietverti Eiropas Savienības politikas mērķi aizsargāt jūras vidi un nodrošināt tās ilgtspējīgu izmantošanu. ICES uztur nozīmīgas starptautiskas ilgtermiņa datubāzes par jūras dzīvajiem resursiem un jūras vidi, kas nepieciešamas, lai noteiktu MSFD rādītāju mērķus un robežvērtības (Cardoso et al., 2010; Eiropas Komisija, 2008). Latvija, piedaloties Baltijas jūras vides aizsardzības komisijas (HELCOM) izstrādātā Baltijas jūras rīcības plāna (BSAP) īstenošanā, ir iesaistīta Baltijas jūras vides problēmu novērtēšanā. Tajā ir izklāstīti konkrēti pasākumi un mērķi piesārņojuma samazināšanai un jūras ekoloģiskās veselības atjaunošanai. Plānā ir iekļauts ekoloģisko indikatoru kopums, lai uzraudzītu progresu mērķu sasniegšanā, un tos izmanto, lai novērtētu veikto pasākumu efektivitāti (HELCOM, 2021). Lai gan MSFD nosaka vispārējus mērķus un principus, BSAP paredz detalizētāku un pielāgotāku pieeju, lai risinātu konkrētas vides problēmas, ar kurām saskaras Baltijas jūras ekosistēma.

Apaļo jūrasgrunduļu apsaimniekošana būtu jāsāk ar ticamu novērtējumu iegūšanu par populācijas pašreizējo stāvokli, pamatojoties uz atbilstošu monitoringa programmu. Turklāt būtu jāizveido standartizēti turpmāki novērojumi reģionālās pārvaldības iestādes, piemēram, HELCOM uzraudzībā (Ojaveer et al., 2015). Latvijas apaļā jūrasgrunduļa gadījums ir piemērots pamats jaunu vadlīniju izstrādei plaši piemērojamām apsaimniekošanas stratēģijām, jo sugas populācija ir lokāla un ir pieejamas zināšanas no labi pielāgotas zvejas pieredzes kopā ar neatkarīgiem zinātniskiem novērojumiem (Ustups, 2021).

Pētījuma mērķis

Pētījuma mērķi ir aprakstīt vietējās ekosistēmas kolonizāciju ar invazīvu zivju sugu; novērtēt grunts zivju sabiedrības izmaiņas; izstrādāt metodes turpmākai zivsaimniecības pārvaldībai, pamatojoties uz iegūtajām jaunajām zināšanām.

Hipotēze

Apaļā jūrasgrunduļa invāzija radīja pārmaiņas grunts zivju sabiedrībā, kas izpaudās kā periodiskas izmaiņas barības ķēdes funkcionēšanā.

Pētījuma galvenie uzdevumi

1. Raksturot apaļā jūrasgrunduļa populācijas attīstību, apvienojot dažādu monitoringa metožu datu kopas.

2. Salīdzināt zivju populācijas tendenču izmaiņas pirms un pēc apaļā jūrasgrunduļa invāzijas.
3. Aprakstīt apaļā jūrasgrunduļa un vietējo zivju sugu starpsugu mijiedarbību, izmantojot barības nišas analīzi.
4. Izstrādāt ieteikumus esošā piekrastes zivju monitoringa uzlabošanai, lai labāk izprastu apaļā jūrasgrunduļa populācijas dinamiku.

Aizstāvamā tēze

Veiksmīgā apaļā jūrasgrunduļa invāzija neatgriezeniski izmainīja vietējo bentisko zivju sugu sabiedrību, periodiski ietekmējot populāciju apmēru un barības ķēdes darbību.

Rezultātu aprobācija

Pētījums ir balstīts uz šādām zinātniskajām publikācijām

(I) **Kruze, E**., Avotins, A., Rozenfelde, L., Putnis, I., Sics, I.; Briekmane, L., Olsson, J. 2023. The Population Development of the Invasive Round Goby *Neogobius Melanostomus* in Latvian Waters of the Baltic Sea. Fishes, 8, 305. **IF 3.17** https://doi.org/10.3390/fishes8060305

(II) Kortsch, S., Frelat, R., Pecuchet, L., Olivier, P., Putnis, I., Bonsdorff, E., Ojaveer, H., Jurgensone, I., Strake, S., Rubene, G., **Kruze, E.,** Nordstrom, M. C. 2021. Disentangling temporal food web dynamics facilitates understanding of ecosystem functioning, Journal of Animal Ecology, 90, 1205-1216. **IF 5.608** https://doi.org/10.1111/1365-2656.13447

(III) Ustups, D., Bergstrom, L., Florin, A. B., **Kruze, E.**, Zilniece, D., Elferts, D., Knospina, E., Uzars, D. 2016. Diet overlap between juvenile flatfish and the invasive Round Goby in the central Baltic Sea. Journal of Sea Research, 107, 121-129. **IF 2.029** https://doi.org/10.1016/j.seares.2015.06.021.

(IV) Bergström, L., Heikinheimo, O., Svirgsden, R., **Kruze, E.**, Lozys, L., Lappalainen, A., Saks, L., Minde, A., Dainys, J., Jakubaviciute, E., Adjers, K., Olsson, J. 2016. Long term changes in the status of coastal fish in the Baltic Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 169, 74-84. **IF 3.229** https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.12.013.

Konferences

Baltijas jūras zinātnes kongress, 2015. gada 15.–19. jūnijs, Rīga, Latvija; "Transitional fish classification index (TFCI) adaptation for Latvian transitional waters"; Perkons, V., **Kruze E.**, Strake S.

74. Latvijas Universitātes starptautiskā zinātniskā konference, 2016. gada 1. februāris, Latvijas ūdeņu vides pētījumi un aizsardzība, "Mencu (*Gadus morhua*) barošanās izmaiņas Baltijas jūras centrālajā daļā"; **Kruze E**.

75. Latvijas Universitātes starptautiskā zinātniskā konference, 2017. gada 2. februāris, Latvijas ūdeņu vides pētījumi un aizsardzība, "Apaļā jūrasgrunduļa

ietekme uz Baltijas jūras piekrastes ekosistēmu"; Putnis I., Briekmane L., Jermakovs V., Knospina E., **Kruze E.**, Strake S., Ustups D.

BONUS simpozijs, 2017. gada 17.–19. oktobris, Tallina, Igaunija; Science delivery for sustainable use of the Baltic Sea living resources, Session 3: Ecosystem internal and external drivers of change affecting biodiversity "The round goby *Neogobius melanostomus* colonization and potential impact on the coastal food web in Latvia"; Knospina E., Putnis I., Briekmane L., **Kruze E.**, Ustups D.

BONUS simpozijs, 2017. gada 17.–19. oktobris, Tallina, Igaunija; Science delivery for sustainable use of the Baltic Sea living resources, Session 4: Temporal dynamics in biodiversity "Has climate change affected the body condition of Baltic cod *Gadus morhua L.* In the eastern Baltic Sea?" Plikshs M., Amosova V., Baranova T., Elferts D., Karpushevskaya A., Karpushevskiy I., **Kruze E.**, Patokina F., Sics I., Statkus R., Vasilijeva T., Zezera A., Casini M.

BIOR starptautiskais zinātniskais simpozijs, 2020. gada 30.–31. janvāris, Rīga, Latvija; Science to Strengthen Sustainable and Safe Food Systems, "Has climate change affected feeding and body condition of Baltic cod *Gadus morhua* L. in the Gotland basin of the Baltic Sea" Plikshs M., Baranova T., **Kruze E.**, Sics I.

11. Starptautiskā bioloģiskās daudzveidības pētījumu konference, 2022. gada 20.–21. oktobris, Daugavpils, Latvija; "Diet, growth and body condition of Baltic cod (*Gadus morhua*) in response to ecosystem changes in the Eastern Baltic Sea"; **Kruze E.**, Baranova T., Sics I., Putnis I., Rozenfelde L., Plikss M., Deksne G., Ustups D.

Šī disertācija ietver pētījumu rezultātus un finansējumu no

1) Latvijas Nacionālā zivsaimniecības un akvakultūras datu vākšanas Darba plāna;
2) BIOR pārvaldes uzdevuma deleģēšanas līguma ar Latvijas Republikas Zemkopības ministriju par zivju resursu izpēti, izmantošanas regulēšanu un atražošanu;
3) Latvijas Zinātnes padomes fundamentālo un lietišķo pētījumu projekta Nr. lzp-2021/1-0024 "Baltijas mencas (*Gadus morhua*) kondīcija un veselības stāvoklis Austrum Baltijas mainīgajā ekosistēmā: CODHEALTH".

Zinātniskā novitāte

Šī promocijas darba ietvaros tiek piedāvāts jauns, oriģināls pārskats par apaļā jūrasgrunduļa invāzijas vēsturi Latvijas ūdeņos, kā arī tiek raksturota tā ietekmi uz vietējām zivju sabiedrībām un demonstrēta līdz šim praktiski pielietojama metode dažādu paraugu ņemšanas metožu salīdzināšanai un statistiskai izvērtēšanai, lai raksturotu zivju populāciju izmaiņu vispārējās tendences.

Vides politikas aktualitāte

Šis pētījums, kā arī visa Baltijas jūras apaļā jūrasgrunduļa gadījums ir atbilstošs MDFD 1. raksturlielumam "Tiek saglabāta bioloģiskā daudzveidība" (MSFD D1); 2. raksturlielumam "Cilvēka darbības rezultātā ieviesto svešzemju sugu daudzums ir tāds, kas negatīvi nemaina ekosistēmas" (MSFD D2), 3. raksturlielumam "Visu komerciāli izmantojamo zivju un gliemju populācijas ir drošās bioloģiskās robežās" (MSFD D3); 4. raksturlielumam "Visi jūras barības ķēdes elementi, ciktāl tie ir zināmi, sastopami normālā daudzumā un daudzveidībā" (MSFD D4) un 6. raksturlielumam "Jūras gultnes integritāte tādā līmenī, kas nodrošina, ka bentosa ekosistēmas netiek nelabvēlīgi ietekmētas" (MSFD D6) (Behrens et al., 2019).

Šis promocijas darbs sniedz recenzētus metodiskos norādījumus rezultātu novērtēšanai un turpmākā bentisko zivju monitoringa plānošanai kopumā, kā arī var tikt ņemta vērā lēmumu pieņemšanā nacionālā līmenī Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskā institūta "BIOR" rekomendāciju veidā par zivju resursu ilgtspējīgu izmantošanu Latvijas ūdeņos, un ir paredzēta izmantošanai, izstrādājot Baltijas jūras apaļā jūrasgrunduļa pirmreizēju krājuma novērtējumu. Šī promocijas darba saturs tiks integrēts HELCOM 4. starptautiskajā Baltijas jūras piekrastes zivju tematiskajā novērtējumā 2023. gada novembrī (HELCOM FISH-PRO III 2018–2023), kas dos ieguldījumu jaunu indikatoru (piemēram, apaļā jūrasgrunduļa populācijas tendences) izstrādē, aizpildot trūkstošās zināšanas par šo sugu un aktualizējot piekrastes zivju monitoringa vadlīnijas.

Praktiskais pielietojums

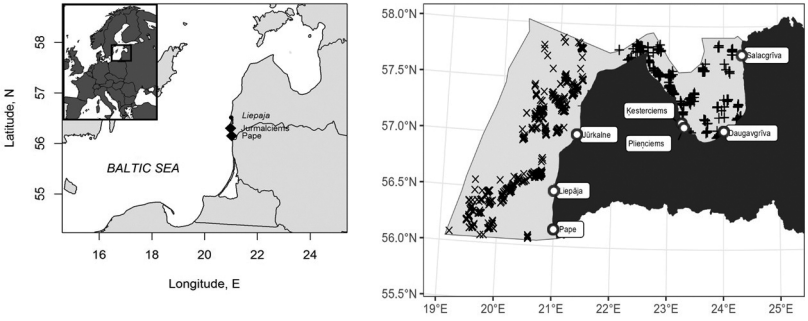
1. Izstrādāti plaši piemērojami pārrēķina koeficienti starp "Standarta piekrastes" tipa ("Coastal net series") un "Nordic" tipa daudzsienu ("Nordic multi-mesh gillnets") piekrastes monitoringa tīklu datiem, kas ļauj izmantot apaļā jūrasgrunduļa vēsturiskos datus.
2. Viegli lietojams statistikas rīks, kas radīts savvaļas dzīvnieku monitoringa datiem, pirmo reizi tiek pielietots zivsaimniecības jomā.
3. Izstrādāti konkrēti ieteikumi, kā nākotnē labāk veikt piekrastes zivju sugu monitoringu, lai labāk iekļautu arī apaļo jūrasgrunduli.
4. Šī pētījuma rezultāti tiks iestrādāti:
   - INTERREG zinātniskā projektā "Promoting commercial fishing of round goby in the Baltic Sea", 2024;
   - Papildinās praktiskās zināšanas šobrīd notiekošā (2020–2025) projektā LIFE19 NAT/LV/000973 REEF "Research of marine protected habitats in EEZ and determination of the necessary conservation status in Latvia". Aktivitātē C2: "Dabas aizsardzības plāna izstrāde aizsargājamām jūras teritorijām", aktivitātē C3: "Rīcības plāna izstrāde invazīvo jūras sugu samazināšanai un pasākumu plāna izstrāde putnu un zīdītāju piezvejas mazināšanai" un aktivitātē C4: "Piekrastes zvejas pārvaldības plāna izstrāde"

1. MATERIĀLI UN METODES

1.1. Pētījuma teritorija un datu aptvērums laikā

Šis pētījums tika veikts Latvijas EEZ ūdeņos, kas aptver Baltijas jūras centrālo daļu, Gotlandes austrumu apakšbaseinu un Rīgas jūras līci. Tika apsekotas gan Rīgas jūras līča piekrastes un atklātās jūras piekrastes zonas, gan atkraste (1. attēls).

Šajā pētījumā tika izmantotas četras atšķirīgas zivju paraugu ņemšanas metodes: piekrastes zivju monitorings (1995–2021); Rīgas jūras līča grunts tralēšana (1980–2021); grunts tralēšana atklātā jūrā Baltijas jūras starptautiskā grunts traļa uzskaites (BITS) ietvaros (2015–2021); ikgadējā piekrastes zivju mazuļu uzskaite ar velkamajiem vadiem (1998–2014).



1. attēls. Pētījuma teritorijas karte: melnie rombi – piekrastes velkamo vadu stacijas (A) (III publikācija); baltie punkti – piekrastes zivju monitoringa stacijas, krustiņi – Rīgas jūras līča tralēšanas vietas; X – atklātās jūras tralēšanas vietas (B) (I, II un IV publikācija)

1.2. Grunts zivju paraugu ņemšanas metodes

1.2.1. Piekrastes zivju mazuļu uzskaite ar velkamajiem vadiem 1998–2014 (III publikācija)

Piekrastes zivju mazuļu uzskaites pētījums tika veikts katru gadu pavasara beigās vai vasaras sākumā Baltijas jūras centrāl-austrumu daļas Latvijas piekrastes dienvidrietumu stūrī (1.A attēls). Katrā paraugu ņemšanas reizē, katrā vietā perpendikulāri krasta līnijai veiktas piecas paraugošanas reizes, izmantojot vadu ar 10 mm lielu linuma acu izmēru spārnos un 5 mm lielu linuma acu izmēru āmī. Spārnu platums bija 12,5 m, vertikālais atvērums – 1,5 m. Visas noķertās zivis un bezmugurkaulniekus sašķiroja pa sugām, saskaitīja, nosvēra (katras

sugas kopējais svars) un fiksēja etanolā (80%) turpmākai detalizētai analīzei un kuņģa satura pārbaudei laboratorijā. Paraugos iegūtie šķeltkājvēžu un desmitkājvēžu daudzumi tika reģistrēti kā piezveja.

1.2.2. Piekrastes zivju monitorings 1991–2021 (I un IV publikācija)

Piekrastes zivju monitorings tika veikts no 1991. līdz 2013. gadam, izmantojot, tikai "Standarta piekrastes" tipa monitoringa tīklus Daugavgrīvā (DAU) un Jūrkalnē (JUR) (1.B attēls), bet apaļo jūrasgrunduļu populācijas attīstības pētījumam tika izmantoti papildu piekrastes monitoringa dati no Liepājas, Papes, Ķesterciema, Plieņciema un Salacgrīvas no 2005. līdz 2021. gadam. "Standarta piekrastes" tipa tīklu linums bija izgatavots no daudzpavedienu auklas ("Capron" vai "Nylon-6"), un tam bija seši 30 m gari paneļi ar linuma acu izmēriem secībā 17; 22; 25; 30; 33; 38 mm Pēc 2016. gada tika izmantoti "Nordic" tipa tīkli, kas sastāv no deviņiem 5 m gariem paneļiem ar acu izmēriem 30; 15; 38; 10; 48; 12; 24; 60; 19 mm, un kuru linums ir izgatavots no neilona monopavediena auklas. Abas metodes tika savstarpēji kalibrētas un "Nordic" tipa tīkliem tika izstrādāti koeficienti (1. pielikums). Lai kalibrētu nozvejas starp abiem zvejas rīkiem, 2014.–2016. gadā tika izmantota vienlaicīga šo metožu piemērošana.

1.2.3. Rīgas jūras līča bentisko zivju uzskaite 1979–2021 (I un II publikācija)

Rīgas jūras līča grunts tralēšanas apsekojumus veica katru gadu maijā, augustā un oktobrī Rīgas jūras liča ICES 28.1. apakšrajonā (1.B attēls) saskaņā ar standarta BITS rokasgrāmatu. Paraugu ņemšanu veica ar speciālu grunts trali, kura platums ir 18 m, augstums – 1,5 m un linuma acs izmērs āmī ir no 6 mm līdz 17 mm (publikācija **I**). Lai raksturotu bentisko zivju un zoobentosa sugu populāciju tendences Rīgas jūras līcī, analīzēs tika iekļauti pētījumi, kas tika veikti maijā un stacijās dziļāk par 20 m, ieskaitot Rīgas jūras līča ziemeļu daļas paraugu ņemšanas stacijas pirms 1991. gada, kad pētījumi tika veikti arī Igaunijas EEZ (publikācija **II**)

1.2.4. Baltijas jūras starptautiskā grunts traļa uzskaites 2015–2021 (I publikācija)

Apsekojumi tika veikti katru gadu martā un decembrī Baltijas jūras Latvijas ūdeņu atklātā jūras akvatorijā (1.B attēls) pēc nejaušas stratificētas staciju atlases principa apgabalos ar tralējamiem grunts tipiem. Papildus bioloģiskajiem mērījumiem saskaņā ar starptautisko protokolu (ICES, 2017) tika reģistrēta detalizēta informācija par tralēšanas vietu un vides parametriem.

1.3. Datu apstrāde un statistiskā analīze pētījuma uzdevumu izpildei

1.3.1. Apaļā jūrasgrunduļa populācijas attīstības analīze (I publikācija)

Sākotnēji, lai raksturotu apaļo jūrasgrunduļu populācijas izmaiņas, tika veikta divu līdzīgu piekrastes paraugu ņemšanas metožu datu kopu savstarpēja kalibrēšana. Septiņās monitoringa vietās 2014.–2016. gadā vienlaikus tika izmantoti vēsturiski pielietotie "Standarta piekrastes" tipa tīklu sērijas (1995–2013) un vēlāk lietotie "Nordic" tipa (2014–2021) pētnieciskie tīkli. Tika iegūti pārrēķina koeficienti (1. pielikums) pa 1 cm garuma grupām 5–26 cm gariem apaļajiem jūrasgrunduļiem, lai tos tālāk reizinātu ar "Nordic" tipa tīklu nozvejojamības vērtībām. Otrkārt, no piekrastes zivju monitoringa iegūtās jaunās apaļo jūrasgrunduļu nozvejas tendences tika apvienotas ar tendencēm, kas iegūtas no divām tieši nesalīdzināmām atkrastes monitoringa metodēm, izmantojot statistisko monitoringa datu tendenču un indeksu (TRIM) analīzi (Bogaart et al., 2020). Gada indeksi tika aprēķināti no vienas vērtības katrā monitoringa vietā un gadā, kur tālāk iegūtās tendences tika apvienotas, izmantojot modeļa dispersijas–kovarianču matricas. Iegūtā apvienotā apaļā jūrasgrunduļa populācijas tendence tālāk tika izmantota turpmākajā populācijas attīstības raksturojumā.

1.3.2. Vietējo zivju populācijas izmaiņas pirms un pēc invāzijas (II, III un IV publikācija)

Salīdzinot seklūdens velkamo vadu monitoringa zivju daudzumu, dati tika iedalīti divos periodos: pirms (1998–2008) un pēc (2009–2014) apaļā jūrasgrunduļa kolonizācijas pētāmajā teritorijā. Vietējo plekstveidīgo zivju sugu skaita izmaiņas starp periodiem tika novērtētas, izmantojot Poisona vispārināto lineāro jaukto modeli (GLMM), kurā gads tika pievienots kā nejaušs faktors. (**III** publikācija).

Lai novērtētu piekrastes zivju kopienu vispārējo stāvokli, tika izmantoti divi indikatori: *Piscivores* (plēsēji) un *Cyprinids* (karpveidīgās zivju sugas). Šo rādītāju tendences tika novērtētas desmit gadu intervālos DAU un JUR. Nozveju uz zvejas piepūles vienību (CPUE) aprēķināja kā vidējo biomasu uz vienu tīklu un zvejas dienu, tālāk vērtības, pamatojoties uz kopējo gada nozveju un zvejas intensitāti, tika apkopotas uz apakšbaseina apgabala līmeni. Tendences tika noteiktas, aprakstot relatīvās izmaiņas, kas laika gaitā notikušas katrā apgabalā, izmantojot slīdošā loga metodi, kas aptver 10 gadus. Lai analizētu tendences, tika izmantota lineārā regresija, izmantojot kvadrātsaknes transformētus un normalizētus datus. Turklāt novēroto tendenču biežums tika novērtēts, izmantojot chi-kvadrāta testu. Plēsēju indikatorā iekļautās sugas bija asaris (*Perca fluviatilis*), menca (*Gadus morhua*), līdaka (*Esox lucius*) un zandarts (*Sander lucioperca*), akmeņplekste, lasis (*Salmo salar*), vējzivs (*Belone belone*), nigliņš (*Hyperoplus lanceolatus*) un salate (*Aspius aspius*). Karpveidīgo zivju indikatoru

pārstāvēja *Cyprinidae* taksonomiskās dzimtas sugas, no kurām galvenās analīzē iekļautās sugas bija raudas (*Rutilus rutilus*) un plauži (*Abramis* spp.). Abi rādītāji tika izvēlēti neatkarīgi no sugu identitātes, lai nodrošinātu salīdzināmību ģeogrāfiskajos apgabalos, neraugoties uz iespējamām dabiskām atšķirībām sugu sastāvā (**IV** publikācija). Grunts zivju sugu tendences Rīgas jūras līča atklātajā daļā tika iegūtas no Rīgas līča bentisko zivju uzskaites (sk. 2.2.3. sadaļu). Laika rindu dati tika iegūti 38 gadu laikā no 1979. līdz 2016. gadam. Lai gan pētījumā (**II** publikācija) tika veikta Rīgas jūras līča barības tīkla kompleksa modelēšana, šajā promocijas darbā tika raksturotas tikai bentisko zivju un zoobentosa biomasas tendences.

1.3.3. Starpsugu mijiedarbība, izmantojot barības nišas analīzi (II un III publikācija)

Papildus bentisko zivju populāciju novērojumiem tika analizēti deviņu dažādu zivju sugu (apaļais jūrasgrunduļu, plekstu (*Platichthys flesus*), akmeņplekstu, trīsadatu stagaru (*Gasterosteus aculeatus*), nigliņu, tūbīšu (*Ammodytes tobianus*), asaru (*Perca fluviatilis*), mazo jūrasgrunduļu (*Pomatoschistus* spp.) un salaku (*Osmerus eperlanus*) kuņģu saturs, kopā 2793 īpatņu kuņģi. Zivju barības sastāva analīze veikta divos laika periodos: pirms apaļā jūrasgrunduļa invāzijas (1998–2004) un faktiskās invāzijas laikā (2013–2014). Apaļie jūrasgrunduļi, plekstes un akmeņplekstes tika iedalīti izmēra grupās: plekstes – 3,5 cm (FL1), 3,5–5 cm (FL2), 5,5–9,5 cm (FL3) un 10–15 cm (FL4); akmeņplekstu mazuļi – 4 cm (TU1), 4–8 cm (TU2) un 9–18 cm (TU3); apaļie jūrasgrunduļi līdz 5 cm (RG1), 7–14 cm (RG2) un 15–21 cm (RG3). Katra barības objekta sastopamības biežums tika izteikts kā procentuālā daļa no kuņģu skaita vienā nozvejā. Lai novērtētu plekstu, akmeņplekstu un apaļo jūrasgrunduļu barošanās paradumus un savstarpējo konkurenci, tika novērtēts tukšo kuņģu īpatsvars. Barības objekti tika identificēti un iedalīti deviņās grupās: sānpeldvēži *Amphipoda*, perakarīdi *Bathiporeia*, desmitkājvēži *Decapods*, zivis, gliemji *Mollusca*, šķeltkājvēži *Mysis* sp., daudzsarutārpi *Polychaete*, zooplanktons un neidentificēti barības objekti. Lai analizētu pārtikas sastāva atšķirības starp plekstēm un akmeņplekstēm pa garuma grupām, tika izmantots Vilkoksona rangu summas tests (WRS), un, tā kā katrai grupai tika veikti vairāki testi, *p*-vērtības tika koriģētas, izmantojot Bonferroni korekciju. Lai aprakstītu ar bentosu barojošos zivju sugu barības bāzi, piekrastes velkamo vadu pētījumā, kā piezveja tika reģistrēta makrozoobentosa organismu sastopamība (**III** publikācija). Rīgas jūras līča atklātajā daļā (119. stacijā) bentosa biomasa (g/m^2) tika reģistrēta nacionālā monitoringa programmas ietvaros (https://latmare.lhei.lv/). No 1979. līdz 2016. gadam paraugi tika vākti katru gadu pavasarī no februāra līdz jūnijam, un vēlāk tika salīdzinātas zoobentosa organismu attīstības tendences periodos pirms un pēc apaļā jūrasgrunduļa invāzijas (**II** publikācija).

1.3.4. Ieteikumu izstrāde esošā piekrastes zivju monitoringa uzlabošanai (I publikācija)

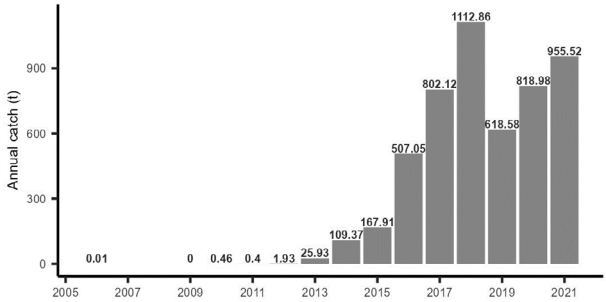
Lai raksturotu apaļo jūrasgrunduļu aktivitāti un nozvejas iespējas pasīvajos zvejas rīkos visa gada garumā, no piekrastes monitoringa datiem tika iegūts to vidējās relatīvās nozvejas sadalījums pa mēnešiem no 2005. līdz 2021. gadam. Kopumā pētījumā tika iekļautas 42 stacijas, kas izvietotas septiņos Latvijas piekrastes rajonos. Ņemot vērā maksimālo zvejas reižu skaitu katrā vietā un mēnesī, tālākai analīzei kopumā bija pieejami 1141 datu punkti (2. pielikums).

Lai noteiktu ar dažādiem zvejas rīkiem nozvejoto īpatņu daudzumu atsevišķās garuma grupās, tika izmantotas 1 cm garuma grupas īpatņiem, kuru garums pārsniedz 10 cm. Mazākām apaļo jūrasgrunduļu garuma grupām un zivīm, kas lielākas par 21 cm, tika aprēķināts vidējais svērtais ķermeņa garums, pamatojoties uz skaitu.

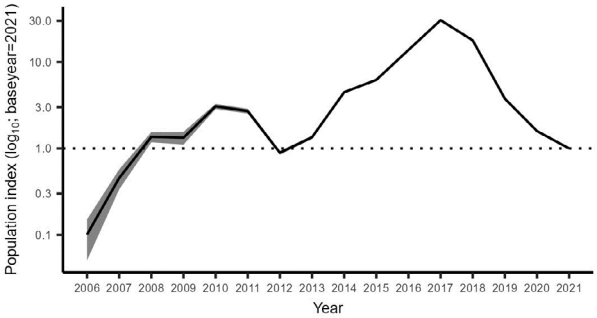
2. REZULTĀTI

2.1. Apaļā jūrasgrunduļa populācijas attīstība (I publikācija)

Pirmo reizi apaļais jūrasgrundulis Latvijas piekrastē reģistrēts 2004. gadā Liepājas tuvumā (Minde, 2007). Tomēr šīs sugas pirmie novērojumi piekrastes rūpnieciskajā zvejā parādījās divus gadus vēlāk, kad tika reģistrēti 6,3 kg gadā. Turpmākajos gados novērots populācijas lieluma pieaugums, un zvejas žurnāla ieraksti liecina, ka nozvejas apjoms palielinājās no mazāk nekā vienas tonnas 2011. gadā līdz vairāk nekā 1112 tonnām 2018. gadā, toties pēc šī gada turpmāk reģistrēts neliels nozvejas samazinājums (2. attēls). Savukārt pēdējā laikā novērots komerciālās nozvejas apjoma palielinājums Rīgas jūras līča austrumu daļā (3. pielikums).



2. attēls. Apaļā jūrasgrunduļa *(Neogobius melanostomus)* ikgadējā komerciālā nozveja Latvijas piekrastes ūdeņos (I publikācija)

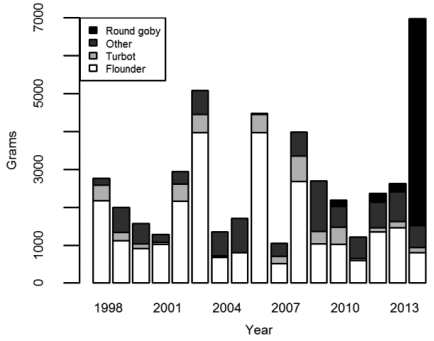


3. attēls. Kopējā populācijas attīstības tendence (gada indeksi ar standartkļūdu uz logaritmiskās skalas) apaļajiem jūrasgrunduļiem *(Neogobius melanostomus)* Latvijas EEZ. Y ass attēlo populācijas lielumu attiecībā pret populāciju 2021. gadā. Ar punktēto līniju attēlots relatīvais populācijas lielums bāzes 2021. gadā. (I publikācija)

Apvienojot trīs dažādu zinātniskā monitoringa metožu datus Latvijas EEZ, kombinētā TRIM modeļa rezultāti liecina par populācijas pieaugumu līdz 2017. gadam, kam sekoja straujš apaļo jūrasgrunduļu populācijas samazinājums, (3. attēls). Aplēstais populācijas lielums 2021. gadā bija aptuveni 7,6 reizes lielāks nekā 2006. gadā, bet 30 reižu mazāks salīdzinājumā ar 2017. gadā reģistrēto. (**I** publikācija).

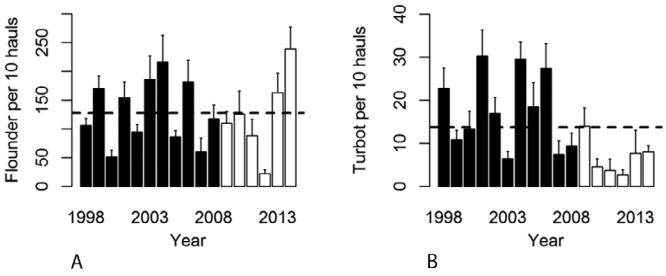
2.2. Zivju populācijas izmaiņas pirms un pēc invāzijas (II, III un IV publikācijas)

Plekstes bija dominējošā zivju suga ar velkamo vadu nozvejotajos paraugos visā pētījuma periodā, izņemot 2014. gadu, kad tika novērots apaļā jūrasgrunduļa skaita pieaugums. Apaļā jūrasgrunduļa biomasa ievērojami palielinājās kopš šīs sugas pirmās parādīšanās pētījuma teritorijā 2009. gadā. Visos gados akmeņplekste bija otra vai trešā biežāk sastopamā zivju suga. Pārējās biežāk sastopamās zivju sugas bija tūbītes, salakas, vimbas (*Vimba vimba*), raudas un nigliņi (4. attēls).



4. attēls. Vidējā plekstu (*Platichthys flesus*), akmeņplekstu (*Scophthalmus maximus*), apaļo jūragrunduļu (*Neogobius melanostomus*) un citu zivju sugu biomasa (g/vadā) apkopoti no 1998. līdz 2014. gadam. (**III** publikācija)

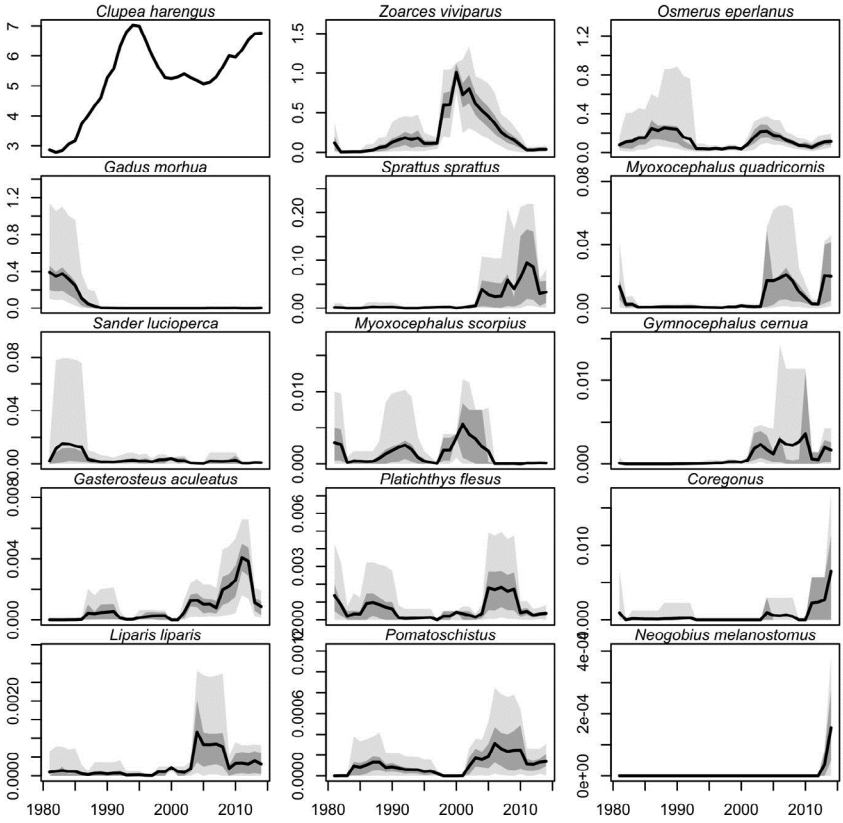
Apaļā jūrasgrunduļa invāzija būtiski negatīvi ietekmēja akmeņplekstes mazuļu skaitu (GLMM, p = 0,003). Sākotnēji ik pēc 2–3 gadiem bija novērojams salīdzinoši liels akmeņplekstu mazuļu papildinājums, bet vēlākajā periodā tikai 2009. gadā bija vērojams mērens skaita pieaugums, bet visās turpmākajās paaudzēs to skaits bija salīdzinoši neliels (5. attēls). Savukārt plekstu mazuļu daudzumam starp abiem laika periodiem netika novērota būtiska atšķirība (GLMM, p = 0,441) (**III** publikācija), un pat 2013.–2014. gadā bija vērojams neliels skaita pieaugums.



5. attēls. Viengadīgu plekstu (*Platichthys flesus*) (A) un akmeņplekstu (*Scophthalmus maximus*) mazuļu (B) skaits uz 10 novilktiem vadiem. Pilnās kolonas rāda periodu pirms apaļā jūrasgrunduļa invāzijas (1998–2008), bet tukšās – periodu pēc invāzijas (2009–2014). Aprēķinātie daudzumi ir vidējie rādītāji no apkopotajiem paraugiem, kas veidoti, apvienojot pavasara un vasaras uzskaites. Ar punktētām līnijām attēloti ilgtermiņa vidējie rādītāji (**III** publikācija)

Rezultāti liecināja, ka pētījuma laikā galvenokārt samazinājās plēsīgo zivju skaits un palielinājās karpveidīgo zivju skaits. Abi novērojumi liecina par ekosistēmas vispārējā stāvokļa vai veselības pasliktināšanos. Plēsīgo zivju skaita samazināšanās tendences dominēja visos laika periodos, lielāks samazinājums bija vērojams no 1999. līdz 2008. gadam līdz 2002. līdz 2011. gadam. Savukārt 2012.–2013. gados, kas ir pēdējie pētījuma gadi, īpaši Latvijas EEZ, tendence bija pretēja. Kamēr Rīgas jūras līča DAU dienvidu daļā plēsīgo zivju skaita tendence ir salīdzinoši nemainīga, Gotlandes baseina austrumu daļas atklātās jūras stacijās JUR pēc 2008. gada novērots neliels ($p > 0,05$) plēsīgo zivju daudzuma pieaugums (**IV** publikācija). Attiecībā uz karpveidīgajām zivīm gan DAU, gan JUR stacijās tika novērota vienmērīgāka tendence ar maksimumu 2011. gadā.

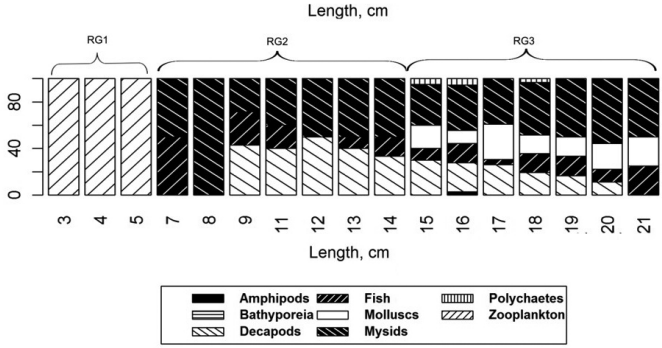
Kopumā Rīgas jūras līča piekrastē 2000. gados palielinājās vairāku zivju taksonu sastopamības biežums un biomasa visās funkcionālajās grupās. Piemēram, tādas pelaģisko zivju sugas kā trīssadatu stagari un brētliņas (*Sprattus sprattus*), kā arī tādas bentosa-ēdāju sugas kā plūkšņzivis (*Liparis liparis*) un četrragu buļļzivis (*Myoxocephalus quadricornis*), visām tām bija augsta biomasa. Pēc 2009. gada novērojumos sāka parādīties apaļais jūrasgrundulis. Laika posmā no 2009. līdz 2014. gadam bija vērojama tradicionālo bentisko zivju sugu, piemēram, plūkšņuzivju, lucīšu (*Zoarces viviparusi*), ziemeļu buļļzivju (*Myoxocephalus scorpius*), plekstu un mazo jūrasgrunduļu, biomasas samazināšanās. Savukārt sīgu (*Coregonus* spp.), četrragu buļļzivju un apaļo jūrasgrunduļu populācijas pieauga (6. attēls).



6. attēls. Zivju biomasas (g/m^2) laikrindas pētījuma periodā no 1979. līdz 2016. gadam: reņģēm (*Clupea harengus*) (balstoties uz krājuma novērtējuma datiem), lucīšiem (*Zoarces viviparus*), salakām (*Osmerus eperlanus*), mencām (*Gadus morhua*), brētliņām (*Sprattus sprattus*), četrragu buļļzivīm (*Myoxocephalus quadricornis)*, zandartiem (*Sander lucioperca*), ziemeļu buļļzivīm (*Myoxocephalus scorpius*), ķīšiem (*Gymnocephalus cernua*), trīsadatu stagariem (*Gasterosteus aculeatus*), plekstēm (*Platichthys flesus*), sīgam (*Coregonus* spp.), plūkšņzivīm (*Liparis liparis*), mazajiem jūrasgrunduļiem (*Pomatoschistus* spp.), un apaļajiem jūrasgrunduļiem (*Neogobius melanostomus*). Y ass skalas atšķiras taksonu atšķirīgās biomasas dēļ. Taksoni sakārtoti no augšas pa kreisi uz leju pa labi samazinoties biomasai. Ar treknrakstu ir vidējā biomasa 1000 atkārtojumu pastāvīgās paraugu ņemšanas reizēs (nejauši izvēlētas astoņas stacijas 5 gadu periodā). Tumši un gaiši pelēki laukumi ir attiecīgi starpceturkšņu diapazons un 95 % intervāls (**II** publikācija)

2.3. Starpsugu mijiedarbība starp apaļo jūrasgrunduli un vietējām zivju sugām, izmantojot barības nišas analīzi (II un III publikācija)

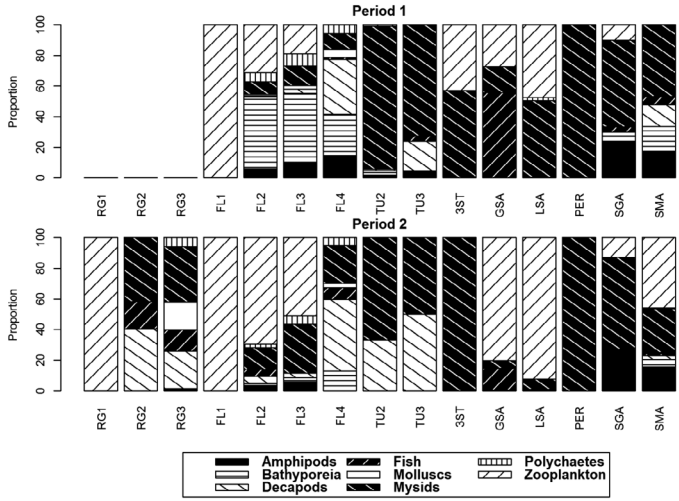
Analizējot apaļo jūrasgrunduļu barošanās paradumus seklā piekrastes zonā, ar velkamo vadu, tika novērots, ka mazākā apaļo jūrasgrunduļu garuma grupa (RG1) barojas tikai ar zooplanktonu un izceļas uz pārējo garuma grupu fona. Lielākās atsevišķās grupās (RG2 un RG3) galvenie barības objekti bija šķeltkājvēži un desmitkājvēži. Palielinoties apaļo jūrasgrunduļu izmēriem, to kuņģos samazinājās desmitkājvēžu skaits, un pakāpeniski palielinājās gliemju daudzums. (7. attēls).



7. attēls. Apaļo jūrasgrunduļu *(Neobobobius melanostomus)* barības sastāvs garuma grupās RG1 (3–5 cm), RG2 (7–14 cm) un RG3 (15–21 cm) (**III** publikācija)

Barības analīzes rezultāti liecina, ka akmeņplekstei (TU2 un TU3) pirms apaļā jūrasgrunduļa invāzijas vissvarīgākais barības objekts bija desmitkājvēži, attiecīgi 92% un 67%. Pēc invāzijas šā barības elementa sastopamība samazinājās līdz 67% TU2 (WRS tests, p = 0,08) un līdz 50% TU3 (p = 0,06). Otrajā periodā (TU2, WRS tests, p = 0,005) ievērojami palielinājās desmitkājvēžu (galvenokārt smilšu garneles *Crangon crangon*) nozīme. Plekstei (FL2 un FL3) pirmajā periodā svarīgākais barības objekts bija sānpeldvēži *Bathiporeia pilosa*, otrādi, 2013.–2014. gada pētījuma otrajā periodā sānpeldvēžu daudzums plekstu uzturā samazinājās. Turklāt mazāko plekstu FL1 un mazāko apaļo jūrasgrunduļu RG1 uzturs pilnībā pārklājās, jo tie barojās ar zooplanktonu (8. attēls).

Piekrastes velkamajos vados nozvejoto šķeltkājvēžu skaits katru gadu bija atšķirīgs, sasniedzot maksimumu 2002. gadā, kad vidēji vienā vilkšanas reizē tika nozvejoti 6956 īpatņi (1. tabula). Pirmajā periodā vienā vadā vidēji tika nozvejotas 1392 šķeltkājvēži. Turpretī otrajā periodā to daudzums ievērojami samazinājās, un tikai 2013. gadā vienā nozvejā bija tikai 1,4 īpatņi.



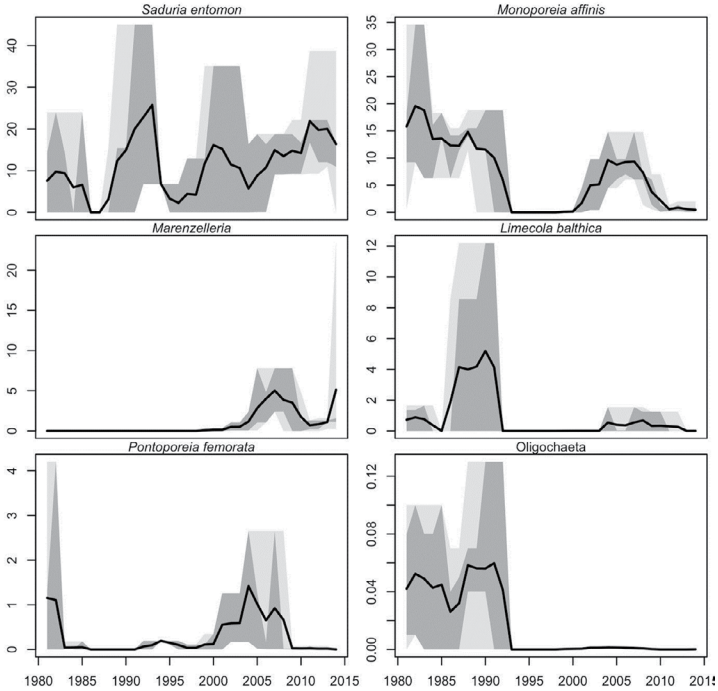
8. attēls. Piekrastes zivju sugu barības sastāvs piekrastes velkamo vadu uzskaitēs no 1998.–2004. līdz gadiem (1. periods – pirms apaļā jūrasgrunduļa invāzijas) augšā un 2013.–2014. (2. periods – pēc apaļā jūrasgrunduļa invāzijas) apakšā. RG1-3 ir trīs apaļā jūrasgrunduļa (*Neogobius melanostomus*) garuma grupas (detalizēti 7. attēlā). FL1-4 ir četras plekstu (*Platichthys flesus*) mazuļu garuma grupas < 3,5 cm (FL1), 3,5–5 cm (FL2), 5,5–9,5 cm (FL3), 10–15 cm (FL4), un TU2-3 ir divas akmeņplekstu (*Scophthalmus maximus*) mazuļu garuma grupas (4–8 cm (TU2) un 9–18 cm (TU3)). Sugas, kas nav sadalītas pa garuma grupām, ir trīsadatu stagari (*Gasterosteus aculeatus*) (3ST), nigliņi (*Hyperoplus lanceolatus*) (GSA), tūbītes (*Ammodytes tobianus*) (LSA), asari (*Perca fluviatilis*) (PER), mazie jūrasgrunduļi (*Pomatoschistus* spp.) (SGA) un salakas (*Osmerus eperlanus*) (SMA) (**III** publikācija)

1. tabula. Vidējais īpatņu skaits kā piezveja vienā piekrastes velkamjā vadā ar ± standartkļūdu smilšu garnelēm *Crangon crangon* un šķeltkājvēžiem *Mysis* sp.

Gads	Periods	*C. crangon*	*Mysis* sp.
1999	1	78,4 ± 32	1120 ±351
2000	1	35 ± 12	469 ± 157
2001	1	32 ± 19	69 ± 53
2002	1	19 ± 13	6956 ± 6777
2003	1	25 ± 5	161 ± 47
2004	1	115 ± 28	1219 ± 973
2005	1	13 ± 7	3,0 ± 1
2013	2	70 ± 11	2,9 ± 1,9
2014	2	351 ± 206	0 ± 0

Atšķirība šķeltkājvēžu skaita ziņā starp abiem periodiem bija ļoti nozīmīga (GLMM, $p < 0{,}001$). Turpretī smilšu garneles (*Crangon crangon*) pēdējā periodā salīdzinājumā ar periodu pirms apaļā jūrasgrunduļa invāzijas ievērojami palielinājās (GLMM, $p = 0{,}01$). Vidējais smilšu garneļu daudzums pēdējā periodā bija 269 īpatņi vienā vadā, salīdzinot ar vidēji 49 īpatņiem pirmajā pētījuma periodā (1. tabula) (**III** publikācija).

Rīgas līča zoobentosa biomasas tendences norāda, ka laika posmā no 2009. līdz 2014. gadam kopumā samazinājies sānpeldvēžu *Monoporeia affinis* un *Pontoporeia femorata* daudzums. Salīdzinot biomasas apjomus starp sugām, *M. affinis* ar aptuveni 10 g/m^2 bija otrā lielākā grupa aiz grēvjiem *Saduria entomon* 2000.–2010. gados (9. attēls).

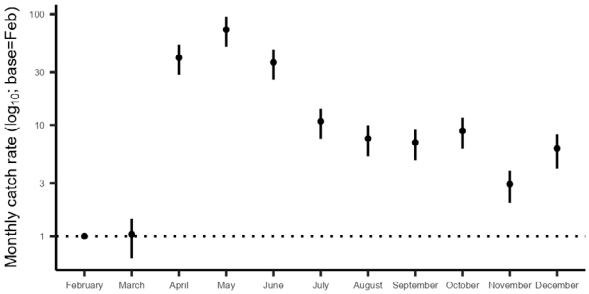


9. attēls. Bentosa biomasas (g/m^2) laika rinda Rīgas līča 119. stacijā no 1979. līdz 2016. gadam: grēvji *Saduria entomon*, sānpeldvēži *Monoporeia affinis* un *Pontoporeia femorata*, invazīvais daudzsarutārps *Marenzelleria* sp, gliemji *Limecola balthica* un mazsartārpi *Oligochaeta*. Y ass skalas atšķiras taksonu atšķirīgās biomasas dēļ. Taksoni sakārtoti no augšas pa kreisi uz leju pa labi pēc samazinoties biomasai. Ar treknrakstu iegrāmatotā līnija ir vidējā biomasa 1000 atkārtojumu pastāvīgās paraugu ņemšanas reizēs (vienas stacijas nejauša izvēle 5 gadu periodā). Tumši un gaiši pelēki laukumi ir attiecīgi starpceturkšņu diapazons un 95% intervāls (Publikācija **II**)

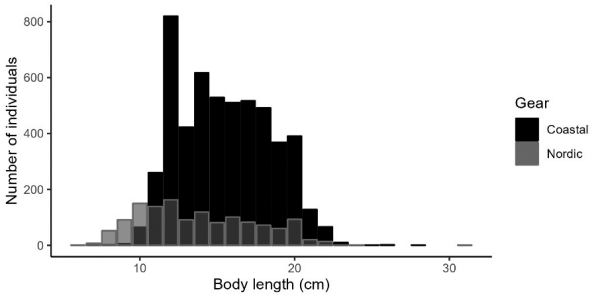
2.4. Pamatojums ieteikumiem par apaļā jūrasgrunduļa turpmāko monitoringu (I publikācija)

Salīdzinot apaļo jūrasgrunduļu ikmēneša nozvejas rādītājus piekrastes monitoringā, vislielākās nozvejas tika novērotas maijā, kas bija aptuveni 10 reizes lielākas nekā vasaras beigās un rudenī reģistrētās nozvejas. Aprīlī un jūnijā nozvejas bija aptuveni uz pusi mazākas nekā maijā reģistrētā maksimālā nozveja. Aukstūdens periodā (februārī–martā) apaļo jūrasgrunduļu praktiski netika nozvejoti (10. attēls).

Ar "Nordic" tipa tīkliem vairāk tika nozvejotas mazizmēra zivis un, sākot no 12 cm garuma grupas, bija vērojama ievērojama to daudzuma palielināšanās arī "standarta piekrastes" tipa tīklos (11. attēls).



10. attēls. Apaļā jūras grunduļa (*Neogobius melanostomus*) ķeramības multiplikatīvie koeficienti logaritmiskā skalā (references mēnesis ir februāris) piekrastes zivju monitoringā 2006.–2021. gadā. Attēlotas mēneša vidējās vērtības ar standartkļūdu (SE). Punktu līnija attēlo relatīvo nozvejojamību bāzes mēnesī februārī (**I** publikācija)



11. attēls. Kopējais apaļo jūrasgrunduļu (*Neogobius melanostomus*) īpatņu skaits katrā garuma grupā (cm), kas nozvejoti ar diviem dažādiem zinātniskajiem zvejas tīkliem (**I** publikācija)

Nozvejojamību, sākot ar 12 cm garām zivīm, var uzskatīt par relatīvi stabilu (ticamības intervāla robežās), un tā ir aptuveni 5,35 reizes lielāka "Standarta piekrastes" tipa tīklu sērijās nekā "Nordic" tipa tīklos (11. attēls). "Standarta piekrastes" tipa tīkliem garums ir 180 m, kas veido četras reizes lielāku zvejas laukumu kā "Nordic" tipa rīkos ar garumu 45 m. Tā kā analītiski novērotais sadalījums bija >5 reizēm (virs 12 cm garām zivīm), ķeramības ziņā ir vērojama rīka preference (tomēr ticamības intervāla robežās) "Standarta piekrastes" tipa tīkliem. Tomēr šī zvejas rīku garuma attiecība bija korekcijas vērtību ticamības intervāla robežās.

3. DISKUSIJA

3.1. Apaļā jūrasgrunduļa *(Neogobius melanostomus)* invāzija Latvijas EEZ

Šī pētījuma rezultāti liecina, ka, noliekot robežu ilgtermiņa datu rindās no apaļā jūrasgrunduļa invāzijas sākuma 2009. gadā, iespējams noteikt bāzes līniju līdz šim neietekmētai ekosistēmai, un, novērtējot izmaiņas dažādās ilgtermiņa monitoringa tendencēs, pēc apaļā jūrasgrunduļa parādīšanās vidē kļūst redzamas vides pārmaiņas.

Pirmie signāli par apaļā jūrasgrunduļa invāziju parādījās nacionālajos monitoringa apsekojumos, un vēlāk tiem sekoja ziņojumi komerciālajos piekrastes zvejas žurnālos (Minde, 2007). Turpmākais straujais populācijas pieaugums, par ko liecina gan zinātniskie novērojumi, gan zvejas žurnāli, liek uzdot jautājumu par to, kā tika ietekmēta vietējā ekosistēma un vai ir kādas netiešas norādes, kas konstatējamas vietējo grunts zivju un zoobentosa ilgtermiņa tendencēs.

Balstoties uz zinātniskajiem novērojumiem, pēc maksimuma sasniegšanas 2017. gadā apaļā jūrasgrunduļa populācija piedzīvoja kritumu, kā rezultātā līdz 2021. gadam tā ievērojami samazinājās – trīsdesmit reizes (**I** publikācija), pat ja rūpnieciskās zvejas rādītāji palika relatīvi nemainīgi (2. attēls.) (Behrens et al., 2022a). Rodas jautājums par iespējamiem cēloņiem šādai divu dažādu tendenču attīstībai. Lielākā daļa rūpnieciskās zvejas tiek veikta konsekventās piekrastes teritorijās (3. pielikums) ar sugām labvēlīgiem piekrastes biotopiem. Turpretī gan piekrastes, gan jūras apvienotajās populācijas tendencēs tika novērots populācijas pieaugums un vēlāk samazinājums (3. attēls), kas liecina par apaļā jūrasgrunduļa vispārēju izplatību un no tā izrietošo pārejas efektu uz citām dzīves vietām, populācijai pieaugot. Pietiekošs dabisko plēsēju daudzums ekosistēmā, kā arī progresējošā zvejniecības pielāgošanās jaunajiem resursiem tiek uzskatīti par galvenajiem sugu ierobežojošiem faktoriem (Ojaveer et al., 2015). Neraugoties uz konstatēto apaļā jūrasgrunduļa populācijas samazināšanos pēc 2017. gada, sekojošais komerciālās zvejas samazinājums nebija izteikts, kas varētu būt saistīts ar nevienmērīgi sadalīto piekrastes specializēto zveju un tās ierobežoto spēju pilnībā nozvejot apaļo jūrasgrunduli populācijas maksimuma periodā 2017. gadā. Populācijai turpinot samazināties ir aizdomas par zvejas sekmju pasliktināšanos brīdī, kad flotes kapacitāte nozvejos apaļos jūrasgrunduļus tā brīža populācijas maksimālajā apjomā. Kā arī, krājumam samazinoties, sagaidāma turpmāka apaļā jūrasgrunduļa populācijas mozaīkveida telpiskā izkliedēšanās Latvijas EEZ. Lai gan ar zvejas intensitāti potenciāli varētu samazināt apaļā jūrasgrunduļa populāciju lielākajā daļā Baltijas jūras valstu, šī suga pagaidām netiek uzskatīta par vērtīgu cilvēku uzturam. Lai efektīvi pārvaldītu un kontrolētu apaļā jūrasgrunduļa populācijas daudzumu, kļūst būtiski atbalstīt dabiskās vides noturību, nodrošinot šīs zivs plēsēju klātbūtni pietiekamā skaitā

(Behrens et al., 2019; Ojaveer et al., 2015). Pagaidām Latvijas EEZ apzinātās plēsīgās zivju sugas uz apaļo jūrasgrunduli atklātā jūrā ir menca un akmeņplekste, bet Rīgas jūras līča piekrastes zonā – galvenokārt asaris (D. Ustups, personīgs komentārs, Ē. Krūze nepublicēti dati). Tā kā apaļais jūrasgrundulis migrē starp piekrastes un atklātās jūras nišām (Andres et al. 2020), arvien būtiskāk ir novērtēt populāciju abās zonās vienlaikus. Līdz šim novērtējumi tika koncentrēti tikai uz piekrastes teritorijām (Behrens et al., 2022b). Šis pētījums pirmreizēji aptver gan piekrastes, gan atkrastes ūdeņus. Aplūkojot šīs invazīvās sugas iespējamo atšķirīgo populācijas dinamiku abos biotopos, ir iespējams izstrādāt visaptverošākas un efektīvākas pārvaldības stratēģijas, lai mazinātu apaļā jūrasgrunduļa ietekmi un saglabātu līdzsvarotu ekosistēmu Baltijas jūrā.

3.2. Izmaiņas vietējo zivju populāciju tendencēs

Salīdzinot periodus pirms un pēc apaļā jūrasgrunduļa invāzijas, bija iespējams gūt vērtīgu ieskatu par šīs invazīvās sugas ekoloģisko ietekmi un tās mijiedarbību ar vietējām zivīm. Baltijas jūras centrālajā daļā, analizējot tendences, galvenā uzmanība tiek pievērsta dominējošajām un komerciāli vērtīgajām pelaģisko zivju populācijām – brētliņām, reņģēm un mencām (ICES 2012). Šajā pētījumā tiek analizētas arī citu pieejamo piekrastes zivju sugu populāciju tendences. Piekrastes zivju populāciju tendences attiecas uz vispārējo virzienu vai modeli, kādā noteiktā laika posmā mainās zivju populācijas bagātība vai lielums, kas norāda, vai populācija palielinās, samazinās vai paliek stabila (**IV** publikācija). Trūkst visaptveroša pārskata par rezultātiem, kas iegūti ar dažādām ilgtermiņa monitoringa metodēm, lai sniegtu zinātniski pamatotu ieskatu pašreizējā situācijā no apaļā jūrasgrunduļa invāzijas viedokļa.

Baltijas jūras piekrastes zivju sabiedrību indikatoru izstrādes mērķis ir novērtēt antropogēno un dabisko vides faktoru iespējamo ietekmi. Latvijas gadījumā Rīgas jūras līča DAU stacija pārstāv teritoriju ar lielu antropogēno slodzi, savukārt JUR stacija atklātā jūrā ir relatīvi minimāli traucēta vide (Neuman et al., 1999). Karpveidīgo zivju sugu *Cyprinids* indikators galvenokārt ir eitrofikācijas indikators, jo to labvēlīgi ietekmē ūdens caurredzamības samazināšanās, savukārt plēsīgo zivju *Piscivore* indikatoru galvenokārt pārstāv komerciālajai vai atpūtas zvejai ļoti nozīmīgas sugas. (**IV** publikācija). Dominējošas pieauguma tendences, kas novērojamas karpveidīgo zivju indikatoram, bet nedaudz mazākā mērā nekā 2000. gadu sākumā, saskan ar veiktajiem eitrofikācijas novērtējumiem un barības vielu monitoringa datu analīzi (Snoeijs-Leijonmalm et al., 2017), norādot, ka eitrofikācija ir pastāvīga problēma visos Baltijas jūras apgabalos. Abi rādītāji ir potenciāli jutīgi pret biotopu zudumu un vides kvalitātes izmaiņām, taču tie ietver arī dabiskus vides faktorus, piemēram, plēsēju klātbūtni un vispārējās klimata pārmaiņas. Turpretī, ja galvenās pārmaiņas piekrastes zivju sabiedrībās būtu saistītas ar temperatūras paaugstināšanos, sagaidāms, ka laika gaitā abos rādītājos būs līdzīga tendence, taču plēsīgo zivju un karpveidīgo zivju

nozveja kopumā nebija savstarpēji saistīta, kas nozīmē, ka pašreizējā pētījuma mērogā katru rādītāju nozīmīgāk ietekmē kādi atšķirīgi faktori (**IV** publikācija).

Izmaiņas abu indikatoru tendenču attīstībā 2008. gadā (7. un 8. attēls) tieši sakrīt ar laika periodu, kad Baltijas jūras Gotlandes baseina austrumu reģionā pastiprinājās apaļā jūrasgrunduļa invāzija (Rakauskas et al., 2008). Kamēr tika novērota vispārēja plēsēju skaita samazināšanās visā Baltijas jūrā pēc 2008. gada, JUR stacijā bija vērojams pieaugums, kas sakrīt ar apaļo jūrasgrunduļu invāzijas izplatīšanās virzienu (Puntila et al., 2018) un sugas rūpnieciskās zvejas aktivitāšu pieauguma vietu (3. pielikums). Bet vienīgais nozīmīgs ($p < 0,05$) plēsīgo zivju skaita pieaugums tika novērots nākamajā dienvidu virziena Lietuvas monitoringa stacijā MBU (**IV** publikācija), kuru invāzija skāra jau iepriekšējos gados (Rakauskas et al., 2013).

Seklūdens piekrastes zonās, kurās paraugi tika ņemti ar velkamajiem vadiem, visā periodā piekrastes zivju kopējā biomasa būtiski nemainījās. Pēc apaļā jūrasgrunduļa ieceļošanas ievērojami samazinājās akmeņplekstes mazuļu skaits, savukārt plekstes mazuļu skaitā acīmredzamas izmaiņas netika novērotas. Jautājums paliek par akmeņplekstu produktivitātes svārstībām, vai saglabājas neproduktīvas akmeņplekstes paaudzes, vai arī šī suga ir pielāgojusies, reaģējot uz ekosistēmas stāvokļa izmaiņām (**III** publikācija). Apskatot grunts zivju biomasas tendences Rīgas jūras līča piekrastē (6. attēls) ar apaļā jūrasgrunduļa parādīšanās periodu, vietējo grunts zivju biomasas samazināšanos varētu skaidrot ar dažādiem vides faktoriem, kas nav tieši saistīti ar invāziju. Gan antropogēnie faktori, kas ietver eitrofikāciju, zvejas intensitāti, biotopu izzušanu un biotopu kvalitātes izmaiņas, gan dabiskie faktori, kas ietver plēsonību un klimata pārmaiņas, būtu jānovērtē kā faktori, kas var atsevišķi vai sinerģiski ietekmēt šo bentisko zivju sabiedrības. Apvienojot šīs zināšanas ar periodu, kad notika tendenču maiņa un cik taksonomiskos un trofiskos līmeņos tā koeksistē, ir iespējams diskutēt, vai Baltijas jūrā ir notikusi režīma maiņa. Piemēram, lielo plēsēju dominances maiņa uz mazo trīsadatu stagaru dominanci Zviedrijas piekrastes seklos līčos 2000. gados (Eklöf et al., 2020). Klimata pārmaiņas un temperatūras paaugstināšanās izraisa vispārēju aukstūdens jūras grunts zivju sugu samazināšanos, vienlaikus paātrinot tādu invazīvu sugu kā apaļā jūrasgrunduļa, izplatību tā lielās termiskās noturības dēļ (Christensen et al., 2021), kā arī samazinot piekrastes zivju sabiedrības kopējo sugu bagātību (Bowser et al., 2022).

3.3. Ietekme uz vietējo zivju sugu barošanos

Pekstu mazuļu uzturā notika pāreja no šķeltkājvēžiem *Mysidae* sp. uz desmitkājvēžiem smilšu garnelēm *Crangon crangon*, kas, iespējams, bija saistīts ar *Mysidae* sp. skaita samazināšanos un *C. crangon* skaita palielināšanos biotopā (1. tabula). Tomēr tika novērots sānpeldvēžu (tostarp Bathiporeia) samazinājums plekstu kuņģos (8. attēls), kas sakrita ar to pašu laika posmu Rīgas jūras līcī (9. attēls). Arī otrajā novērojumu periodā tika novērots ievērojams akmeņplekstu

mazuļu skaita samazinājums (**III** publikācija). Plekstu mazuļi, kuriem bija visplašākais barība objektu spektrs no pētītajām sugām, palielināja zooplanktona uzņemšanu, kad samazinājās to primārā barības avota (*Bathyporeia pilosa*) pieejamība. Plekstu un akmeņplekstu atražošanās aplēses pēc apaļā jūrasgrunduļa invāzijas uzrādīja pieaugošu kopvariāciju, kas liecina, ka abu sugu atražošanos var regulēt procesi kopīgajā mazuļu dzīvotnē seklos (< 2 m) piekrastes ūdeņos. Vai arī, īstenojot spiedienu uz plekstes kopējo dzīves telpu apaļā jūrasgrunduļa nārsta laikā, kad tie ir sastopami ļoti lielā skaitā. Kā tika konstatēts, apaļo jūrasgrunduļu nārsta laikā pieaugušo plekstes izplatība dziļumā no 3–7 m līdz 10–13 m pārvietojās uz dziļākām vietām, bet, kad apaļo jūrasgrunduļu daudzums bija neliels, kā tas bija jūlijā, plekstes tika atrastas visos paraugu ņemšanas zonas dziļumos (Karlson et al., 2007). Akmeņplekstu mazuļi, kuru dominējošais barības objekts pirms apaļo jūrasgrunduļu invāzijas bija šķeltkājvēži, pārorientējās uz smilšu garnelēm, kas norāda uz iespējamu barības pieejamības maiņu. Attiecībā uz akmeņpleksti kā sugu ir zināms, ka to mazuļi konkurē par barību, bet pieaugušie īpatņi veiksmīgi barojas ar apaļajiem jūrasgrunduļiem (D. Ustups nepublicēti dati), tādējādi veidojas neskaidra situācija starp šīm sugām attiecībā uz uztura novērtējumiem un enerģētisko apriti trofisko līmeņu ietvaros. Apaļais jūrasgrundulis papildus bentosa bezmugurkaulniekiem barojas arī ar vairākām dažādām ekoloģiski un komerciāli nozīmīgām zivju sugu mazuļiem un ikriem. Līdz ar to pastāv plēsēju un upuru maiņas potenciāls un invazīvā apaļā jūrasgrunduļa negatīva ietekme uz lielām plēsīgām zivīm (Wallin Kihlberg et al., 2023). Garuma grupās virs 7 cm apaļā jūrasgrunduļa uzturā sāk parādīties zivis (7. attēls) gan ikru, gan zivju mazuļu veidā (Ē. Krūzes nepublicētie dati, kas balstīti uz **III** publikācijas pētījuma datiem), tostarp apaļo jūrasgrunduļu mazuļi, lucīši un trīsadatu stagari Rīgas jūras līča atkrastes paraugos (L. Rozenfeldes nepublicētie dati, 2018–2022). Abiotisko faktoru izmaiņas, konkrēti, temperatūras paaugstināšanās noteiktos periodos, bija saistītas ar ekosistēmas kopējās struktūras izmaiņām, ko iezīmēja detrītēdāju organismu skaita samazināšanās un fito- un zooplanktotrofo taksonu grupu skaita palielināšanās (**II** publikācija). Turpretī pēdējā pētījuma novērojumu periodā (2009.–2014. gadā) būtu jāņem vērā jauna dalībnieka ietekme uz barības ķēdi, piemēram, kā jaunā apaļā jūrasgrunduļa parādīšanās, un ir jāpievērš uzmanība, ja ir kādas pazīmes, kas liecina par ekosistēmā novērojamām vispārējām funkcionēšanas izmaiņām laikā.

3.4. Rekomendācijas tālākam monitoringam

Salīdzinot pasīvas metodes piekrastes tīklu monitoringa apaļo jūrasgrunduļu nozvejas apjomus ar aktīvās-zinātniskās tralēšanas sekmēm atklājās, ka piekrastes ūdeņos nozvejas apjoms ir daudz lielāks, jo īpaši nārsta migrācijas laikā pavasarī un vasaras sākumā (**I** publikācija). Lai gan aktīvie paraugu ņemšanas rīki nodrošina labākus kvantitatīvos datus par zivju daudzumu uz platības vienību, šī metode saskaras ar ierobežojumiem akmeņainā grunts tipos, seklos ūdeņos,

kā arī kopumā lielākiem izdevumiem (Franco et al., 2022). Tomēr apaļais jūrasgrundulis sezonāli migrē starp ekoloģiskajām nišām piekrastes teritorijās un atkrastes teritorijās (Andres et al. 2020; Behrens et al., 2022b), tāpēc piekrastes paraugu ņemšana varētu norādīt arī uz ietekmi uz tuvējiem dziļūdens biotopiem, kur aktīvo paraugu ņemšanas rīku izmantošana ir sarežģīta. Līdz šim saskaņā ar HELCOM vadlīnijām no zvejniecības neatkarīgu piekrastes zivju monitoringu veic vasaras beigās (Neuman et al., 1999), kad apaļā jūrasgrunduļa aktivitāte ir neliela un tā ķeramība ar pasīvajiem zvejas rīkiem ir zema (10. attēls). Maijā novērotā apaļo jūrasgrunduļu nozveja bija aptuveni 10 reizes lielāka nekā vasaras beigās un rudenī. Tāpēc apaļo jūrasgrunduļu monitoringam piekrastes teritorijās būtu jākoncentrējas uz plašāku periodu no aprīļa beigām līdz jūnija sākumam, jo nozvejas pa gadiem var zināmā mērā atšķirties (**I** publikācija). "Nordic" tipa tīkli nodrošina plašāku apaļo jūrasgrunduļu garuma grupu diapazonu it īpaši noķerot mazākus indivīdus, kā arī ar mazāku vidēja lieluma zivju (12–20 cm) kopējo nozvejas apjomu, padarot mērījumus lauka darbos efektīvākus un mazāk darbietilpīgus. Pārrēķinot "Nordic" tipa tīklu datus uz vēsturiskajām "Standarta piekrastes" tipa vērtībām (1. pielikums), pieejamo datu nepietiekamības dēļ ieteicams piesardzīgi izmantot korekcijas vērtības īpatņiem, kas mazāki par 9 cm vai lielāki par 22 cm. Metode ir labi izstrādāta un aprakstīta, lai to varētu izmantot dažādām zivju sugām, ja to daudzums ir pietiekams (**I** publikācija). Vēl viens "Nordic" tipa tīklu paraugu ņemšanas metodes piemērošanas aspekts ir iespējami ātrāka maksimālās nozvejojamības sasniegšana zvejas rīkiem raksturīgajā linuma acu izmēra panelī, ja zivju koncentrācija ir liela. Lai ierobežotu šīs nianses iespējamību un iegūtu reprezentatīvas CPUE vērtības, varētu tikt veikti atkārtojumi ar dažādiem zvejas ilgumiem (Rotherdam et al., 2006). Ar "Nordic" tipa tīkliem parasti netiek reprezentatīvi paņemti paraugi no mazām zivju sugām un zivju mazuļiem (līdz 5 cm), un, lai aptvertu visu mērķa zivju sabiedrības izmēru spektru, būtu jāizmanto kombinētas metodes, kurās vienlaicīgi izmantojami abi aktīvie un pasīvie zvejas rīki.

Ja ir mērķis samazināt svešzemju zivju sugu izplatību un tiek izveidota specializēta zvejniecības nozare, ir ļoti svarīgi nozares attīstības sākumā izveidot nepieciešamo zināšanu bāzi. Zveja jāpilnveido, ievērojot sezonālos termiņus un zvejas rīku tehniskos ierobežojumus, lai nepieļautu nepietiekama izmēra vērtīgu, aizsargājamu un apdraudētu zivju sugu piezveju un vispārēju kaitējumu videi. Specializētajā zvejā obligāti jāveic arī piezvejas uzraudzība, izmantojot novērotājus. No otras puses, zvejniecības nozare pēta potenciāli ienesīgas tirgus iespējas, un, kā liecina Latvijas scenārijs, šīs iespējas galvenokārt atrodas ārpus Eiropas Savienības robežām (Behrens et al., 2022a). Tādējādi būtu atbalstāma apaļo jūrasgrunduļu rūpnieciskās zvejas nozares veicināšana un progresīva augstas vērtības produktu paraugražošanas attīstība vietējiem tirgiem. Lai vai kā, apaļā jūrasgrunduļa turpmākā loma vides un zvejniecības jomā ir neskaidra, tāpēc ir ļoti svarīgi izstrādāt Baltijas jūras apaļā jūrasgrunduļa krājumu novērtējuma pionieru novērtējumu. Baltijas jūras reģionā trūkst piekrastes nekto-zoobentosa

novērojumu un izstrādātu monitoringa programmu, kas ir būtiskas, lai raksturotu piekrastes un grunts zivju sabiedrības lomu piekrastes barības tīklos.

Baltijas jūras reģionā būtu jāapsver jauna apaļā jūrasgrunduļa ekoloģiskā indikatora izstrāde (MARMONI 2014; Olsson et al., 2018) ar līdz šim nezināmām sasniedzamajām mērķa vērtībām, jo tā loma ekosistēmā ir neskaidra, kā arī dēļ bio-ekonomiskais paradoksa, ka invazīva zivju suga ir komerciāli vērtīga.

SECINĀJUMI

1. Līdz 2009. gadam piekrastes zonās izveidojās stabila apaļā jūrasgrunduļa populācija, kas strauji palielinājās un izplatījās jūrā līdz 2017. gadam, bet pēc tam tika novērots ievērojams populācijas zinātnisko novērtējumu samazinājums, kas skaidrojams ar mērķtiecīgas apaļā jūrasgrunduļa zvejas pārvaldības pasākumiem (**I** publikācija).
2. Baltijas jūras centrālajā daļā pēc 2009. gada tika reģistrēts ievērojams karpveidīgo zivju populāciju pieaugums, kas saistīts ar eitrofikāciju, bet tika novērotas netiešas izmaiņas karpveidīgo zivju un plēsīgo zivju populāciju tendencēs (**IV** publikācija). Pēc apaļā jūrasgrunduļa invāzijas tika novērots ievērojams akmeņplekstu mazuļu daudzuma sarukums (**III** publikācija). Pēc 2010. gada Rīgas jūras līcī samazinājās bentisko zivju sugu biomasa (**II** publikācija).
3. Konkurences pār šķeltkājvēžiem *Mysidae* sp. ietekmē izmainījās akmeņplekstu mazuļu barības izvēles stratēģija pēc invāzijas (**III** publikācija). Pēc 2009. gada Rīgas līcī novērots sānpežvēžu *Monoporeia affinis* un *Pontoporeia femorata* biomasas samazinājums (**II** publikācija).
4. Lai novērtētu apaļā jūrasgrunduļa populācijas tendences, piekrastes zivju monitorings būtu jāveic maijā–jūnijā apaļā jūrasgrunduļa pirms nārsta migrācijas laikā, izmantojot "Nordic" tipa tīklus, vēlams veikt eksperimentus ar dažādiem zvejas ilgumiem (**I** publikācija).

PATEICĪBAS

Vēlos izteikt sirsnīgu pateicību visiem apbrīnojamajiem cilvēkiem, kuri mani atbalstīja šajā doktorantūras ceļojumā.

Pirmkārt un galvenokārt liels paldies manam darba vadītājam Didzim Ustupam, kurš bija līdzās ik uz soļa, vadīja un atbalstīja mani.

Vēlos pateikties arī Gunitai Deksnei par vērtīgo ieguldījumu un iedrošinājumu. Tavs ieguldījums ir nenovērtējams šī pētījuma veidošanā.

Liels paldies manai brīnišķīgajai pētnieku komandai un kolēģiem Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskajā institūtā "BIOR" – Ivaram Putnim, Andrim Avotiņam, Loretai Rozenfeldei, Ivo Šicam, Laurai Briekmanei, Jānim Grudulam, Kārlim Heimrātam, Viesturam Bērziņam, Guntai Rubenei, Dacei Zīlniecei un Tatjanai Baranovai.

Esmu pateicīgs visiem bijušajiem kolēģiem, kuri piedalījās lauka, laboratorijas un biroja darbos, lai īstenotu šo ilggadējo pētījumu: Atim Mindem, Ivarsam Kažmeram, Edgaram Sūnākslim, Viktoram Pērkonam, Elīnai Knospiņai-Meikulei, Maritai Pjusei, Inesei Ozoliņai, Danutei Uzars un Didzim Elfertam. Jūsu ieguldījums ir bijis ļoti svarīgs, lai šis pētījums būtu veiksmīgs.

Arī Māra Plikša piemiņai, kura intelektuālā zinātkāre un atbalstošais raksturs rosināja uzsākt šo pētījumu.

Paldies, Solvitai Strāķei, Matīsam Žagaram un Andrim Andrušaitim no Latvijas Hidroekoloģijas institūta par padomu un iespēju piedalīties dažādos zinātniskos projektos.

Paldies visiem starptautiskajiem līdzautoriem, īpaši Lena Bergström un Susanne Kortsch par iespēju man sniegt savu ieguldījumu publikāciju tapšanā, kā arī paldies Jens Olsson par Jūsu padomiem un atbalstu.

Protams, nekas no tā nebūtu bijis iespējams bez manas brīnišķīgās ģimenes nelokāmā atbalsta: sievas Lindas Loginas-Krūzes un bērniem Emīla Krūzes, Olivera Krūzes, Līnas Krūzes, Niklāva Krūzes, Gusta Krūzes. Mammas Lolitas Krūzes un brāļa Jāņa Krūzes, kā arī sievas vecākiem Juria Logina un Sandras Loginas. Jūsu mīlestība un sapratne ir uzturējusi mani nebeidzamajās jūras darbu prombūtnes ekspedīcijās un saspringtajos aizņemtības periodos, kad fiziski atrados blakus, bet uzmanība tika veltīta darbam.

UNIVERSITY
OF LATVIA

FACULTY OF BIOLOGY

Ēriks Krūze

ROUND GOBY *NEOGOBIUS MELANOSTOMUS* (PALLAS 1814) POPULATION DEVELOPMENT AND ROLE ON THE DEMERSAL FISH COMMUNITY

SUMMARY OF DOCTORAL THESIS

Submitted for the degree of Doctor of Natural Sciences
Subfield of Hydrobiology

Riga 2023

The doctoral thesis was carried out at the Institute of Food Safety, Animal Health, and Environment "BIOR" Fish resource research department and the department of Hydrobiology Faculty of Biology, University of Latvia, from 2014 to 2023.

The thesis contains the introduction, 3 chapters, conclusions, reference list, 3 annexes.

Form of the thesis: a collection of articles in Hydrobiology.

Supervisor: *Dr. biol.* **Didzis Ustups**, Head of the Fish Resource Research Department, Institute of Food Safety, Animal Health and Environment BIOR

Reviewers:

1) Prof. *Dr. biol.* **Artūrs Škute**, Daugavpils University,
2) *Dr. biol.* **Ingrīda Andersone**, Latvian Institute of Aquatic Ecology,
3) Assoc. prof., *PhD* **Tiit Raid**, University of Tartu (tiit.raid@ut.ee).

The thesis will be defended at the public session of the Doctoral Committee of Biology, University of Latvia, at 14:00, on 14th December, 2023, in auditorium 702, 1 Jelgavas st., Riga.

The thesis is available at the Library of the University of Latvia, Kalpaka blvd. 4.

This thesis is accepted for the commencement of the degree of Doctor of Natural Sciences on 14th December, 2023 by the Doctoral Committee of Biology, University of Latvia.

Chairman of the Doctoral Committee
Prof. *Dr. biol.* **Guntis Brūmelis**

Secretary of the Doctoral Committee
Vita Rovīte

© Ēriks, Krūze, 2023
© University of Latvia, 2023

ISBN 978-9934-36-123-4
ISBN 978-9934-36-124-1 (PDF)

ABSTRACT

The Baltic Sea unique physical and ecological characteristics makes it very vulnerable to various environmental and anthropogenic pressures, such as invasive species. The successful invasion of the round goby (*Neogobius melanostomus*) gives a considered example of how a new species adopts and develops a stable population by occupying a niche of great importance for the local fish communities. In this study, the spatiotemporal development of the round goby population in Latvian waters is characterized for the first time. Native demersal fish response via population long-year trends are analyzed in periods before and after the advancement of the invasion (1979–2021). Aspects of the potential interspecific interactions of the round goby with the native fish are described through food basis analysis. The results describe shifts in cyprinid and piscivore population trends after 2009. While turbot (*Scophthalmus maximus*) juvenile recruitment significantly decreased following the invasion of round goby through food competition, along with decreasing biomass trends of benthic fish and invertebrate species that appeared in the Gulf of Riga offshore. Considering a possible shift in the ecosystem functioning, possible further management features are included which could be directly applicable for monitoring recommendations for the round goby as its role in the local ecosystem persists and becomes significant for the local fisheries.

Key words: Baltic Sea, round goby, invasion, impact on native fish, feeding analysis, coastal fish monitoring

CONTENTS

ABSTRACT 37

ABBREVIATIONS 40

INTRODUCTION 41

1. MATERIALS AND METHODS 46
   1.1. Study area and the temporal coverage of the data 46
   1.2. Demersal fish sampling methods 46
      1.2.1. Beach-seine survey 1998–2014 (Paper III) 46
      1.2.2. Coastal fish monitoring 1991–2021 (Papers I and IV) 47
      1.2.3. Gulf of Riga bottom trawling 1979–2021 (Papers I and II) 47
      1.2.4. Baltic International Benthic Trawl Survey 2015–2021 (Paper I) 47
   1.3. Data processing and statistical analysis for achieving the tasks of the study 47
      1.3.1. Population development estimates of the round goby (Paper I) 47
      1.3.2. Native fish population changes before and after the invasion (Papers III, IV, and II) 48
      1.3.3. Interspecific interactions via food niche analysis (Papers II and III) 49
      1.3.4. Developing recommendations for the improvement of the existing coastal fish monitoring (Paper I) 49

2. RESULTS 51
   2.1. Population development of the round goby Neogobius melanostomus (Paper I) 51
   2.2. Fish population changes before and after the invasion (Papers II, III and IV) 52
   2.3. Interspecific interactions between the round goby and native fish species via food niche analysis (Papers II and III) 55
   2.4. Reasoning for recommendations on further monitoring of the round goby (Paper I) 58

3. DISCUSSION 60
3.1. The round goby *(Neogobius melanostomus)* invasion in Latvian EEZ 60
3.2. Changes in local fish population trends 61
3.3. The impact on local fish communities' food web 62
3.4. Recommendations for further monitoring 63

CONCLUSIONS 66

ACKNOWLEDGMENTS 67

REFERENCES 68

ANNEXES 72
Annex 1 72
Annex 2 73
Annex 3 74

PUBLICATIONS 75

ABBREVIATIONS

BIOR – Institute of Food Safety, Animal Health and Environment "BIOR"
BITS – The Baltic International Benthic Trawl Survey
BSAP – The Baltic Sea Action Plan
CPUE – The Catch per Unit Effort
DAU – Daugavgriva monitoring station
EBA – Ecosystem-based approach
EEZ – The Latvian exclusive economic zone
EU – European Union
FL1 – Flounder juveniles to 3.5 cm
FL2 – Flounder juveniles 3.5–5 cm
FL3 – Flounder juveniles 5.5–9.5 cm
FL4 – Flounder juveniles 10–15 cm
GLMM – Poisson generalized linear mixed model
HELCOM – The Baltic Marine Environment Protection Commission
ICES – International Council for the Exploration of the Sea
IEAs – Integrated ecosystem assessments
JUR – Jurkalne monitoring station
MBU – Monciskes/Butinge monitoring station in Eastern Gotland Basin
MSFD – The Marine Strategy Framework Directive
RG1 – Round goby 3–5 cm
RG2 – Round goby 7–14 cm
RG3 – Round goby 15–21 cm
TRIM – Statistical Trends & Indices for Monitoring Data Analysis
TU1 – Turbot juveniles to 4 cm
TU2 – Turbot juveniles 4–8 cm
TU3 – Turbot juveniles 9–18 cm
WRS – Wilcoxon rank-sum test

INTRODUCTION

Actuality of the research

The Baltic Sea with its low water exchange and high anthropogenic pressures makes its ecosystems vulnerable to various impacting factors (Dobrzycka-Krahel & Bogalecka, 2022). Its young age, physical and geographical characteristics are unique, so there are not many examples in the World to compare (Snoeijs-Leijonmalm et al., 2017). The brackish water type of the Baltic Sea is suitable for both marine and freshwater species, so the diversity is high in terms of species richness (Hunt, 2022; Ojaveer et al., 2010; Plikss & Aleksejevs, 1998), nevertheless, most of the dominant fish populations are under heavy fishing pressure and their stocks are strictly supervised by the responsible authorities at the international level (Lado, 2016; European Commission, 2007). Therefore, lots of funding is invested in cross-border scientific monitoring programs to record its condition across the whole Baltic Sea, for example, the BONUS program (Andrusaitis et al., 2016) and the common data collection framework (European Commission 2017; Palialexis et al., 2021). This makes the Baltic Sea one of the most explored Seas in the world with predominantly identified ecological challenges and possible actions for solutions (Dobrzycka-Krahel & Bogalecka, 2022; Ojaveer, 2017). The Baltic Sea is compared with a time machine to look into the future of other Seas (Reusch et al., 2018). However, the colonization of the invasive round goby (*Neogobius melanostomus*) in the Baltic Sea and its successful integration into the local ecosystem obliges new kind of challenges in monitoring systems and the development of new aspects for the future fisheries management of the demersal fish communities (Ojaveer et al., 2015).

It is important to assess the sensitive local fish communities at the national level to make the conservation measures more efficient (Vullioud, 2016). Latvia has its own fisheries management system, which is implemented through the Ministry of Agriculture. In the form of scientific advice, management of local fish populations is performed based on scientific observations and commercial log-book records (www.zm.gov.lv).

A mixed-type species approach should be developed because multiple fish species are caught in the same area, and different fleets catch differing proportions of the different fish species therefore significantly increasing the fishing mortality (Vinther et al., 2004). The overall aim is to implement an ecosystem-based approach (EBA) in Maritime Spatial Planning, monitoring, and fish stock assessment thus it is important to expand the research in different species, trophic levels, and spatial areas in the Baltic Sea (European Commission, 2021). Integrated ecosystem assessments (IEAs) have been developed as formal synthesis tools to analyze information on relevant natural and socio-economic factors for specified management objectives. Ecological indicators are crucial to develop IEAs which serve as quantitative measures to capture key ecological processes,

species populations, and environmental conditions within a given ecosystem (Eero et al., 2021). It is important to focus on implementing the IEA approach for the Baltic Sea fish stocks, combining tactical and strategic management aspects into a single strategy that supports the present Baltic Sea fish stock advice conducted by the ICES (Möllmann et al., 2014). Overall, the use of multiple sampling methods and a combination of data in ecological indicator development can enhance the effectiveness and usefulness of indicators for ecosystem management and decision-making (Sparrow et al., 2020). Ecological indicators play a crucial role in the implementation of the Marine Strategy Framework Directive (MSFD) (Marine Strategy Framework Directive 2008/56/EC, 2008) which holds the European Union policy aims to protect the marine environment and ensure its sustainable use. ICES maintains substantial international long-term databases on marine living resources and the marine environment required for defining targets and setting thresholds for MSFD indicators (Cardoso et al., 2010; European Commission 2008).

Latvia as the engaged party of a regional agreement – The Baltic Sea Action Plan (BSAP), developed by the Baltic Marine Environment Protection Commission (HELCOM) is involved in assessing the environmental issues facing the Baltic Sea. This outlines specific measures and targets for reducing pollution and restoring the ecological health of the sea. The plan includes a set of ecological indicators to monitor progress toward the targets, which are used to assess the effectiveness of the measures taken (HELCOM, 2021). While the MSFD sets overarching goals and principles, the BSAP provides a more detailed and tailored approach to address the specific environmental challenges faced by the Baltic Sea ecosystem.

The round goby management should be started with attaining validated estimates of the current status of the population based on an appropriate monitoring program. Additionally, standardized further observations should be established under supervision at a regional management body level such as HELCOM (Ojaveer et al., 2015). The Latvian round goby case is a suitable basis for the development of new guidelines for widely applicable management strategies due to the local population size of the species and the availability of knowledge from well-adapted targeted fisheries experience together with independent scientific observations (Ustups, 2021).

The Aim of the Study

The aims of this study are: to describe the colonization of the local ecosystem by an invasive fish species; to assess the demersal fish community changes; to develop methods for further fisheries management based on gained new knowledge.

Research hypothesis

The invasion of the round goby triggered a shift in the demersal fish community, through temporal changes in the food web functioning.

The main tasks of the study are to:

1. To characterize population development of the round goby by combining data sets from different monitoring methods.
2. To compare the fish population trend changes before and after the invasion of round goby.
3. To describe the interspecific interactions between the round goby and native fish species via food niche analysis.
4. To develop recommendations on the improvement of the existing coastal fish monitoring to better understand the round goby population dynamics.

Thesis for defence

The successful invasion of the round goby irreversibly changed the native demersal fish species community by affecting the population's temporal size and the food web functioning.

Approbation of the research results

The thesis is based on the following Papers:

(I) **Kruze, E**., Avotins, A., Rozenfelde, L., Putnis, I., Sics, I.; Briekmane, L., Olsson, J. 2023. The Population Development of the Invasive Round Goby *Neogobius Melanostomus* in Latvian Waters of the Baltic Sea. Fishes, 8, 305. **IF 3.17** https://doi.org/10.3390/fishes8060305

(II) Kortsch, S., Frelat, R., Pecuchet, L., Olivier, P., Putnis, I., Bonsdorff, E., Ojaveer, H., Jurgensone, I., Strake, S., Rubene, G., **Kruze, E.,** Nordstrom, M. C. 2021. Disentangling temporal food web dynamics facilitates understanding of ecosystem functioning, Journal of Animal Ecology, 90, 1205-1216. **IF 5.608** https://doi.org/10.1111/1365-2656.13447

(III) Ustups, D., Bergstrom, L., Florin, A. B., **Kruze, E.**, Zilniece, D., Elferts, D., Knospina, E., Uzars, D. 2016. Diet overlap between juvenile flatfish and the invasive Round Goby in the central Baltic Sea. Journal of Sea Research, 107, 121-129. **IF 2.029** https://doi.org/10.1016/j.seares.2015.06.021.

(IV) Bergström, L., Heikinheimo, O., Svirgsden, R., **Kruze, E.**, Lozys, L., Lappalainen, A., Saks, L., Minde, A., Dainys, J., Jakubaviciute, E., Adjers, K., Olsson, J. 2016. Long term changes in the status of coastal fish in the Baltic Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 169, 74-84. **IF 3.229** https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.12.013.

Conferences

Baltic Sea Science Congress, 15-19 June 2015, Riga, Latvia; "Transitional fish classification index (TFCI) adaptation for Latvian transitional waters"; Perkons V., **Kruze E.**, Strake S.

74th International Scientific conference of the University of Latvia, 1. February 2016, Latvijas ūdeņu vides pētījumi un aizsardzība, "Mencu (*Gadus morhua*) barošanās izmaiņas Baltijas jūras centrālajā daļā"; **Kruze E**.

75th International Scientific conference of the University of Latvia, 2 February 2017, Latvijas ūdeņu vides pētījumi un aizsardzība, "Apaļā jūrasgrunduļa ietekme uz Baltijas jūras piekrastes ekosistēmu"; Putnis I., Briekmane L., Jermakovs V., Knospina E., **Kruze E.**, Strake S., Ustups D.

BONUS Symposium, 17-19 October 2017, Tallinn, Estonia; Science delivery for sustainable use of the Baltic Sea living resources, Session 3: Ecosystem internal and external drivers of change affecting biodiversity "The round goby *Neogobius melanostomus* colonization and potential impact on the coastal food web in Latvia"; Knospina E., Putnis I., Briekmane L., **Kruze E.**, Ustups D.

BONUS Symposium, 17-19 October 2017, Tallinn, Estonia; Science delivery for sustainable use of the Baltic Sea living resources, Session 4: Temporal dynamics in biodiversity "Has climate change affected the body condition of Baltic cod *Gadus morhua L.* In the eastern Baltic Sea?" Plikshs M., Amosova V., Baranova T., Elferts D., Karpushevskaya A., Karpushevskiy I., **Kruze E.**, Patokina F., Sics I., Statkus R., Vasilijeva T., Zezera A., Casini M.

BIOR International Scientific Symposium, 30-31 January 2020, Riga, Latvia; Science to Strengthen Sustainable and Safe Food Systems," Has climate change affected feeding and body condition of Baltic cod *Gadus morhua* L. in the Gotland basin of the Baltic Sea" Plikshs M., Baranova T., **Kruze E.**, Sics I.

11th International Conference on Biodiversity Research, 20-21 October 2022, Daugavpils, Latvia; "Diet, growth and body condition of Baltic cod (*Gadus morhua*) in response to ecosystem changes in the Eastern Baltic Sea" **Kruze E.**, Baranova T., Sics I., Putnis I., Rozenfelde L., Plikss M., Deksne G., Ustups D.

This dissertation includes research results and funding

1) The Latvian Work Plan for data collection in the Fisheries and aquaculture sector;
2) Annual Contract with the Ministry of Agriculture the Republic of Latvia on research, regulation of use, and reproduction of fish resources;
3) The Fundamental and Applied Research program project "Baltic cod (*Gadus morhua*) condition and health status in the changing ecosystem of Eastern Baltic: CODHEALTH" (lzp-2021/1-0024).

Scientific novelty

This dissertation offers a new original overdue per-viewed reference on the round goby invasion history in Latvian waters as well as characterizes its impact on local fish communities as well as demonstrates a so far overseen practically applicable method of comparison and statistical evaluation of different sampling methods for characterization of overall trends in changes in fish populations.

Aspects of environmental policy

This study, as well as the whole round goby case in the Baltic Sea, is relevant to the assessment of the MDFD Descriptor 1 "Biological diversity is maintained" (MSFD D1); Descriptor 2 "Non-indigenous species introduced by human activities are at levels that do not adversely alter the ecosystems" (MSFD D2), Descriptor 3 "Populations of all commercially exploited fish and shellfish are within safe biological limits" (MSFD D3); Descriptor 4 "All elements of the marine food webs, to the extent that they are known, occur at normal abundance and diversity" (MSFD D4) and Descriptor 6 "The sea floor integrity at a level ensuring benthic ecosystems not adversely effected" (MSFD D6) (Behrens et al., 2019).

This dissertation provides peer-reviewed methodological guidance on assessing results and planning for future monitoring of demersal fish altogether as well as can be considered in decision-making at the National level in the form of the Institute of Food Safety, Animal Health and Environment "BIOR" recommendations on sustainable use of fish resources in the Latvian waters and is intended to be used in developing a pioneering stock assessment for the round goby in The Baltic Sea. The content of this dissertation will be integrated into the HELCOM 4th International Baltic Sea thematic assessment of coastal fish in November 2023 (HELCOM FISH– PRO III 2018–2023) serving in the development of new indicators (like the round goby population trend), filling knowledge gaps on the species and in updating the coastal fish monitoring guidelines.

Practical significance

1. Widely applicable recalculation coefficients between "Coastal net series" and "Nordic Coastal Multi-mesh" type monitoring nets data are provided allowing the use of the historical data of the round goby.
2. An easy-to-use statistical tool that has been created for wildlife monitoring data, is introduced first time in the field of fisheries.
3. Specific recommendations on better future monitoring design for the coastal fish communities are developed to include the round goby.
4. The results of this study will be integrated into:
   - a new INTERREG project "Promoting commercial fishing of round goby in the Baltic Sea" in 2024 and
   - adds practical knowledge in an ongoing (2020–2025) Project LIFE19 NAT/LV/000973 REEF "Research of marine protected habitats in EEZ and determination of the necessary conservation status in Latvia".

1. MATERIALS AND METHODS

1.1. Study area and the temporal coverage of the data

This study was performed in the Latvian EEZ waters, encompassing the Central Baltic Sea, the Eastern Gotland subbasin, and the Gulf of Riga. Both offshore and coastal areas of the Gulf of Riga and the open sea were surveyed (Figure 1).

Four distinct fish sampling methods were employed in this study: coastal fish monitoring (1995–2021); Gulf of Riga bottom trawling (1980–2021); open sea bottom trawling as part of the Baltic International Benthic Trawl Survey (BITS) (2015–2021); an annual beach-seine survey (1998–2014).

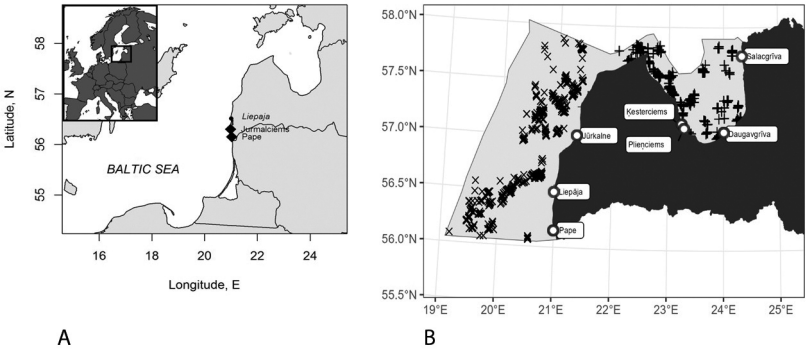


Figure 1. Map of the study area: black diamonds– beach seine stations (A) (Paper III); white dots – coastal fish monitoring stations, crosses – Gulf of Riga, X – open Sea trawling sites (B) (Papers I, II and IV)

1.2. Demersal fish sampling methods

1.2.1. Beach-seine survey 1998–2014 (Paper III)

The beach-seine study was conducted annually in late spring or early summer at the southwestern corner of the Latvian coast of the eastern-central Baltic Sea (Figure 1A). Each sampling occasion involved five hauls per location perpendicularly to the shoreline using a seine with a mesh size of 10 mm in the wings and 5 mm in the cod-end. The wings had a width of 12.5 m, with a vertical opening of 1.5 m. All captured fish and invertebrates were sorted by species, counted, weighed (total weight per species), and immediately preserved in ethanol (80%) for further detailed analysis and stomach content examination in the laboratory. Mysid and decapod abundance obtained in the samples were encountered as bycatch.

1.2.2. Coastal fish monitoring 1991–2021 (Papers I and IV)

The coastal fish monitoring from 1991 to 2013 was performed using only "Coastal net series" in Daugavgriva (DAU) and Jurkalne (JUR) (Figure 1B), but for the round goby population development study additional coastal monitoring data from Liepaja, Pape, Kesterciems, Plienciems and Salacgriva was used from 2005–2021. For the standard "Coastal net series", the gillnets linen was made of multifilament twine ("Capron" or "nylon-6") and it has six 30 m long panels with mesh sizes in order 17; 22; 25; 30; 33; 38 mm. After 2016 "Nordic Coastal Multi-mesh" was applied which consists of nine 5 m long panels with mesh sizes in order 30; 15; 38; 10; 48; 12; 24; 60; 19 mm whose linen is made of nylon monofilament twine. Both methods were intercalibrated and coefficients were developed for "Nordic Coastal Multi-mesh" nets (Annex 1). Simultaneous application of the methods was used in 2014–2016 for calibration of the catches between the two gears.

1.2.3. Gulf of Riga bottom trawling 1979–2021 (Papers I and II)

The Gulf of Riga bottom Trawl surveys were performed annually in May, August, and October in the Gulf of Riga ICES Sub-division 28.1 (Figure 1B) according to the standard BITS manual. Sampling was performed with a special demersal trawl that is 18 m wide and 1.5 m high and has a mesh size that ranges from 6mm to 17 mm in the cod-end (Paper **I**). To characterize the benthic fish and zoobenthos species population trends in the Gulf of Riga, surveys that were performed in May and in stations deeper than 20 m were involved in the analyses including sampling stations of the northern part of the Gulf of Riga before the year 1991 when surveys were performed also in the Estonian EEZ (Paper **II**).

1.2.4. Baltic International Benthic Trawl Survey 2015–2021 (Paper I)

The surveys were conducted annually in March and December in the open sea area of Latvian waters of the Baltic Sea (Figure 1B), following a random stratified station selection design in areas with trawlable bottom types. Besides biological measurements, detailed information on the hauling site and environmental parameters were recorded according to the international protocol (ICES, 2017).

1.3. Data processing and statistical analysis for achieving the tasks of the study

1.3.1. Population development estimates of the round goby (Paper I)

To characterize changes in the round goby population inter-calibration between data sets from two similar coastal sampling methods was performed. The historically applied "Coastal net series" (1995–2013) and newly adopted

"Nordic Coastal Multi-mesh" nets (2014–2021) were used simultaneously in 2014–2016 in seven monitoring sites. The recalculation coefficients (Annex 1) were obtained per 1 cm length groups for 5–26 cm long round goby to be further multiplicated with "Nordic Coastal Multi-mesh" catchability values. Secondly, the newly obtained round goby trends from coastal fish monitoring were combined with trends from two directly incomparable offshore monitoring methods using the statistical Trends & Indices for Monitoring Data (TRIM) analysis (Bogaart et al., 2020). Yearly indices were calculated from one value per monitoring site per year and obtained trends were combined using model variance-covariance matrices. The combined round goby population trend was used in further characterization of the population development.

1.3.2. Native fish population changes before and after the invasion (Papers III, IV, and II)

While comparing shallow-water beach seine monitoring fish abundance, the data were divided into two periods: before (1998–2008) and after (2009–2014) the round goby colonization in the study area. Changes in the abundance of native fish species between the periods were assessed using a Poisson generalized linear mixed model (GLMM) where the year was added as a random factor (Paper **III**).

There were two indicators used to assess the overall status of the coastal fish communities: Piscivores (predators) and Cyprinids (predominating mid-trophic level group). The indicators were assessed for trends within ten-year intervals in DAU and JUR. The Catch per Unit Efforts (CPUE) were calculated as the mean biomass per net and fishing day, based on total annual landings and gillnet efforts, and further aggregated to the level of the sub-basin area. The trends were developed by describing the relative changes occurring over time in each area, employing a sliding window approach spanning 10 years. To analyze the trends, linear regression was applied utilizing square-root transformed and normalized data. Additionally, the frequency of observed trends was assessed through a chi-square test. Species included in the piscivore indicator were perch (*Perca fluviatilis*), cod (*Gadus morhua*), pike (*Esox lucius*) and pikeperch (*Sander lucioperca*), turbot, salmon (*Salmo salar*), garfish (*Belone belone*), greater sandeel (*Hyperoplus lanceolatus*) and asp (*Aspius aspius*). The Cyprinids indicator represented species within the taxonomic family Cyprinidae of which the main species included in the analysis were roaches (*Rutilus rutilus*) and breams (*Abramis* spp.). Both indicators were selected to be independent of species identity to ensure comparability across geographical areas despite potential natural differences in species composition (Paper **IV**). Trends of demersal fish species in the open part of the Gulf of Riga were achieved from the Gulf of Riga bottom trawling surveys (see section 2.2.3). Times series data were obtained over 38 years from 1979 to 2016 for

benthic fish. Although complex modelling of the Gulf of Riga food web was performed in the study (Paper **II**) only benthic fish and zoobenthos biomass trends were characterized in this doctoral thesis.

1.3.3. Interspecific interactions via food niche analysis (Papers II and III)

Besides spatiotemporal observations of demersal fish populations stomach contents of nine different fish species (round goby, flounder (*Platichthys flesus*), turbot, three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*), greater sandeel (*Hyperoplus lanceolatus*), lesser sandeel (*Ammodytes tobianus*), perch, sand goby (*Pomatoschistus* spp.) and the European smelt (*Osmerus eperlanus*)) and in total 2793 individual stomachs were analysed. The analysis of fish diet composition was performed for two time periods: before the invasion of round goby in the area (1998–2004) and during the actual invasion (2013–2014). Round goby, flounders, and turbots were assigned in size groups: for flounder to 3.5 cm (FL1), 3.5–5 cm (FL2), 5.5–9.5 cm (FL3), and 10–15 cm (FL4); for turbot juveniles to 4 cm (TU1), 4–8 cm (TU2), and 9–18 cm (TU3); for round goby to 5 cm (RG1), 7–14 cm (RG2), and 15–21 cm (RG3). The frequency of occurrence of each food item was expressed as a percentage of stomachs per haul. For flounder, turbot, and round goby feeding success was assessed by the proportion of empty stomachs to understand the feeding patterns and competition among fish species. Food items were identified and categorized into nine groups: Amphipods, Bathyporeia, Decapods, Fish, Molluscs, Mysids, Polychaetes, Zooplankton, and unidentified food items. Wilcoxon rank-sum test (WRS) was used to analyze the differences in food composition among length groups of flounder and turbot and as multiple tests per group were performed, *p*-values were adjusted using the Bonferroni correction. To describe the food niche of the benthos-eating fish species the environmental data of macro zoobenthos organisms were obtained in the beach seine survey as bycatch (Paper **III**). In the open part of the Gulf of Riga (Station 119) benthos biomass (g/m^2) was recorded within the national monitoring program (https://latmare.lhei.lv/). From 1979 to 2016 samples were collected annually in the spring from February to June and later trends of zoobenthos organisms were compared in the periods before and after the round goby invasion (Paper **II**).

1.3.4. Developing recommendations for the improvement of the existing coastal fish monitoring (Paper I)

Monthly distribution of the average relative catches across years 2005 to 2021 for the round goby were obtained from the coastal monitoring data to describe their activity and catchability in passive fishing gears across the whole year. A total of 42 stations distributed within seven areas across the Latvian coastline were included in the study. After accounting for the maximum number

of fishing occasions per site and month, a total of 1141 data points were available for further analysis (Annex 2).

To determine the abundance of individuals caught in different fishing gears at separate length groups, 1cm length categories were employed for individuals measuring above 10 cm. For smaller fish length groups and fish larger than 21 cm, the weighted mean body length based on counts was calculated.

2. RESULTS

2.1. Population development of the round goby Neogobius melanostomus (Paper I)

The first record of round goby on the Latvian coast was made in 2004 near Liepaja (Minde, 2007). However, the first coastal commercial catches of the species appeared two years later, when the total annual catch was registered as 6.3 kg. In the coming years, an increase in the population size occurred, and logbook records from the fishery showed a rise from less than one ton in 2011 to over 1112 tons in 2018, recording a slight decrease after this year (Figure 2). Recently, commercial landings increased in the eastern part of the Gulf of Riga (Annex 3.

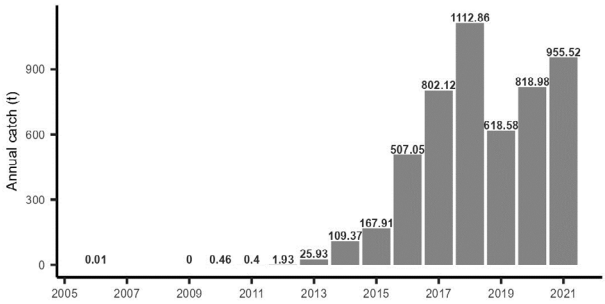


Figure 2. Annual commercial catches of the round goby (*Neogobius melanostomus*) in Latvian coastal waters (Paper **I**)

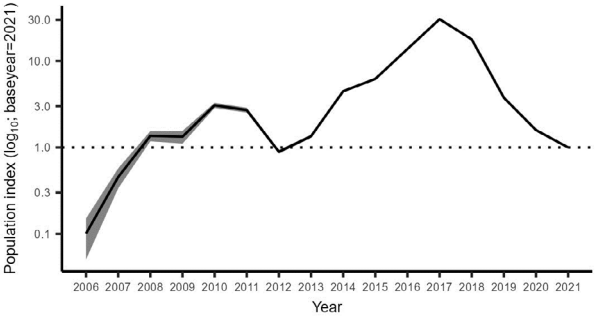


Figure 3. The combined trend of the round goby (*Neogobius melanostomus*) population development (yearly indices with standard error) of the round goby in Latvian EEZ. Y-axis represents population size relative to the population in 2021 on a logarithmic scale. The dotted line represents the relative population size at the base year (2021) (Paper **I**)

Tough a combined TRIM model results show a population increase until 2017, followed by a rapid decline for round goby population estimates within three different scientific monitoring methods in the Latvian EEZ (Figure 3). The estimated population size in 2021 was about 7.6 times higher than that of 2006, but 30 times lower compared to that recorded in 2017 (Paper **I**).

2.2. Fish population changes before and after the invasion (Papers II, III and IV)

Flounder were the dominant fish species in the samples caught with the beach seine in the period of the study, except in 2014 when an increase in the abundance of the round goby was observed. Round goby biomass has significantly increased since this species first appeared in the study area in 2009. The turbot was the second or third most common fish species in all years. Other abundant fish species were lesser sandeel, smelt, vimba (*Vimba vimba*), roach, and greater sandeel (Figure 4).

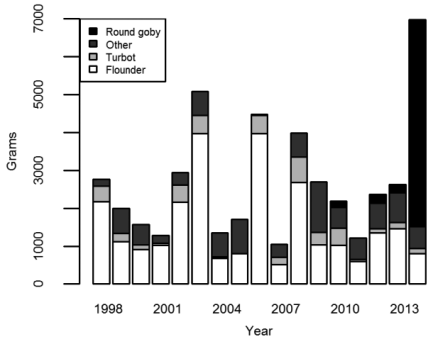


Figure 4. Average biomass (g/haul) of flounders (*Platichthys flesus*), turbots (*Scophthalmus maximus*), round goby (*Neogobius melanostomus*), and other fish species combined in the study area from 1998 to 2014 (Paper **III**)

The invasion of round goby had a significant negative impact on the abundance of juvenile turbot (GLMM, $p = 0.003$). Furthermore, in the earlier part of the time series, there were relatively high abundances observed every 2–3 years, but in the later period, only the year 2009 showed moderate abundance, while all subsequent generations exhibited relatively weaker numbers (Figure 5). Nevertheless, for flounder no significant difference was observed between the two time periods (GLMM, $p = 0.441$) (Paper **III**) and a slight increase in the abundance was observed in 2013–2014.

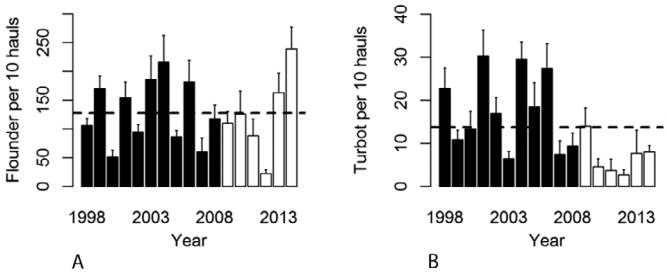


Figure 5. The number of one-year-old flounder (*Platichthys flesus*) (A) and juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) (B) per 10 hauls of beach-seine. The solid bars show the period before the invasion of the round goby (*Neogobius melanostomus*) (1998–2008) and the open bars represent the period after the invasion (2009–2014). The calculated abundances are means of aggregated samples formed by combining spring and summer surveys. The dotted lines represent the long-term averages (Paper **III**)

The results showed predominantly declining trends in Piscivores and increase in Cyprinids during the study time. Both observations indicate a decline in the overall condition or health of the ecosystem. The decreasing trends in Piscivores prevailed in all time windows between 1994–2003 and 2002–2011 and a stronger decrease was observed in the period 1999–2008 to 2002–2011. The pattern was however reversed in the most recent years of the study 2012–2013 particularly in the Latvian EEZ. While in the Southern part of the Gulf of Riga DAU, the Piscivore trend is relatively unchanged; in the Eastern Gotland basin open sea stations JUR a minor ($p > 0.05$) increase of piscivorous fish abundance was observed after 2008 (Paper IV). As for the Cyprinid trend in both DAU and JUR stations, there was a hump-shaped trend observed with a similar peak in 2011

Generally, in the Gulf of Riga offshore, the frequency of occurrence and biomasses of several taxa across functional groups increased in the 2000s. For example, pelagic fish species such as three-spined stickleback and sprat (*Sprattus sprattus*), and benthivorous fish species such as the common seasnail (*Liparis liparis*) and fourhorn sculpin (*Myoxocephalus quadricornis*) all had high biomasses. By 2009, the presence of round goby became evident in the observations. In the period 2009–2014 there was a decrease in biomass trends observed for traditional demersal fish species like the common seasnail, eelpout (*Zoarces viviparus*), shorthorn sculpin (*Myoxocephalus scorpius*), flounder and sand goby. While trends of whitefish (*Coregonus* spp.), fourhorn sculpin, and round goby were increasing (Figure 6).

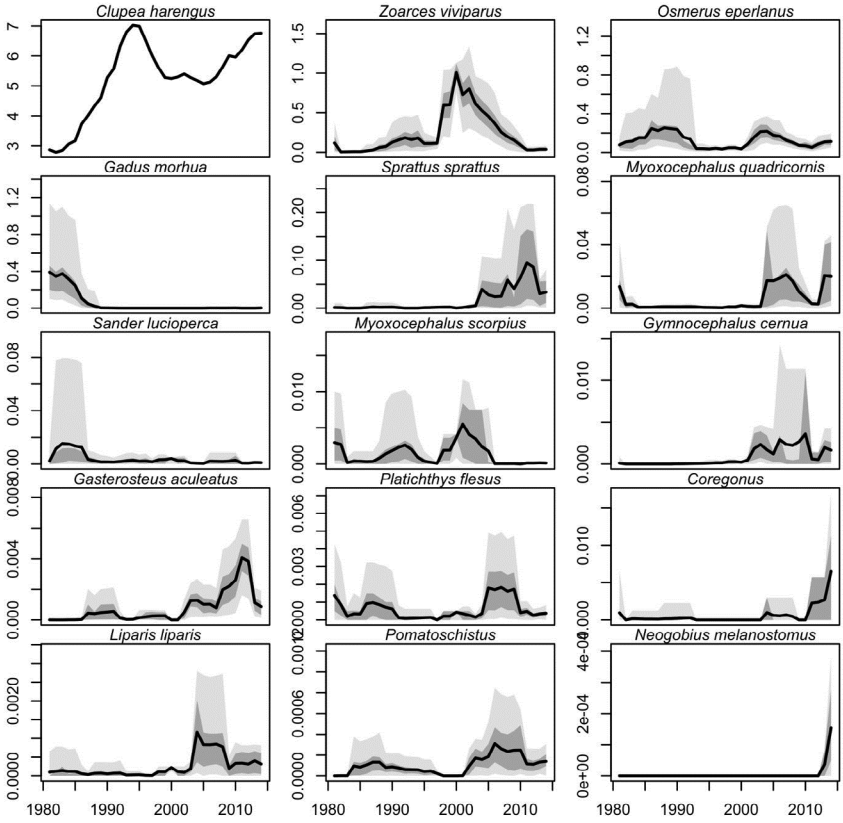


Figure 6. Time series of fish biomass (g/m^2) for the study period 1979–2016: Herring (*Clupea harengus*) (based on stock assessment data), eelpout (*Zoarces viviparus*), European smelt (*Osmerus eperlanus*), cod (*Gadus morhua*), sprat (*Sprattus sprattus*), fourhorn sculpin (*Myoxocephalus quadricornis*), zander (*Sander lucioperca*), shorthorn sculpin (*Myoxocephalus Scorpius*), ruffe (*Gymnocephalus cernua*), three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*), flounder (*Platichthys flesus*), whitefish (*Coregonus* spp.), common seasnail (*Liparis liparis*), sand goby (*Pomatoschistus* spp.), and round goby (*Neogobius melanostomus*). The scales on the Y-axes differ due to the different biomasses of taxa. Taxa are sorted from top left to bottom right by decreasing biomass. The bold line is the mean biomass over the 1000 repetitions of constant sampling (random selection of eight stations over the 5-year window). The dark and light grey areas represent the interquartile range and 95% interval, respectively (Paper **II**)

2.3. Interspecific interactions between the round goby and native fish species via food niche analysis (Papers II and III)

When analyzing the feeding patterns of the round goby in shallow coastal areas caught with the beach seine it was observed that the smallest round goby length group (RG1) was exclusively feeding on zooplankton and was standing out from the other length groups. For the larger individual groups (RG2 and RG3), the primary food items were mysids and decapods. As the round goby length increased, the number of decapods in their stomachs decreased, and there was a gradual shift towards an increased abundance of molluscs instead (Figure 7).

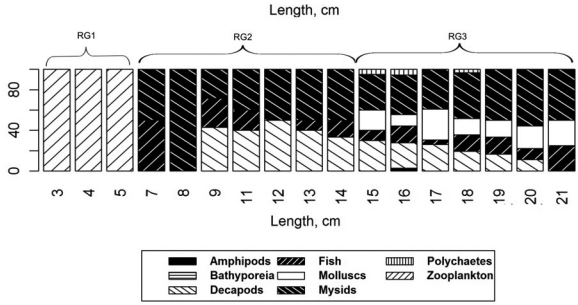


Figure 7. Feeding composition of round goby (*Neobobius melanostomus*) in size groups RG1 (3–5cm), RG2 (7–14cm) and RG3 (15–21 cm) (Paper **III**)

The feeding analysis results elucidate that for turbots (TU2 and TU3) the most important food item before the invasion of round goby was mysids, 92% and 67%, respectively. After the invasion, the occurrence of this food item decreased to 67% for TU2 (WRS test, $p = 0.08$) and to 50% for TU3 ($p = 0.06$). The importance of decapods (mostly the common shrimp *Crangon crangon*) increased significantly in the second period (TU2, WRS, $p = 0.005$). For flounder (FL2 and FL3) the most important food item in the first period was the amphipod *Bathiporeia pilosa*, conversely, in the second period of the study 2013–2014, the abundance of amphipods in the flounder diet decreased. Furthermore, there was a full diet overlap between the smallest flounders FL1 and the smallest round gobies RG1 by feeding on zooplankton (Figure 8).

The number of mysids caught in the beach seine hauls varied from year to year, reaching its peak in 2002, with an average of 6956 individuals per haul (Table 1). In the first period, there were, on average, 1392 mysids caught per beach seine haul. Conversely, in the second period, the mysid abundance dropped significantly by three levels of magnitude, with only 1.4 individuals per haul only in 2013. The difference in mysid abundance between the two periods was highly significant (GLMM, $p < 0.001$).

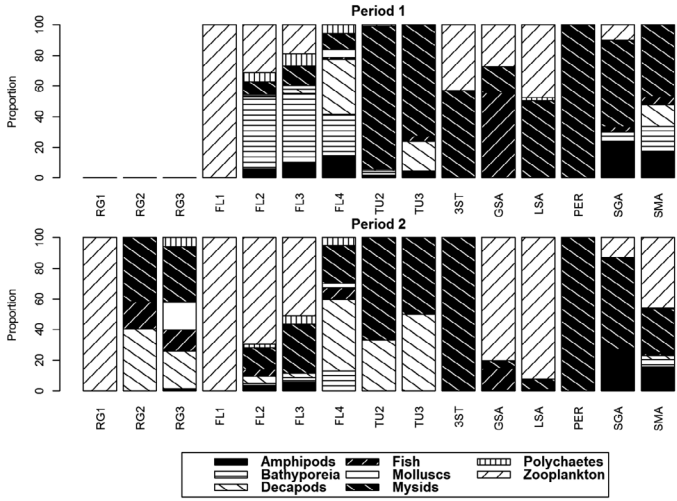


Figure 8. Food composition for the main coastal fish species caught in the shallow coastal beach seine sampling during 1998–2004 (Period 1 – before the invasion of round gaby) top and 2013–2014 (Period 2 – after the invasion of round goby) bottom. RG1-3 are three length groups of round goby (*Neogobius melanostomus*) as in Figure 7. FL1-4 are four length groups of flounder (*Platichthys flesus*) juveniles < 3.5 cm (FL1), 3.5–5 cm (FL2), 5.5–9.5 cm (FL3), 10–15 cm (FL4), and TU2-3 are two length groups of turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles (4–8 cm (TU2) and 9–18 cm (TU3)). The species not disaggregated by length group are three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) (3ST), greater sandeel (*Hyperoplus lanceolatus*) (GSA), lesser sandeel (*Ammodytes tobianus*) (LSA), perch (*Perca fluviatilis*) (PER), sand goby (*Pomatoschistus* spp.) (SGA), and smelt (*Osmerus eperlanus*) (SMA) (Paper **III**)

Table 1. The average abundance of individuals per haul with ± standard error of the common shrimp Crangon crangon and Mysids in beach-seine survey as bycatch

Year	Period	*C. crangon*	Mysid
1999	1	78.4 ± 32	1120 ±351
2000	1	35 ± 12	469 ± 157
2001	1	32 ± 19	69 ± 53
2002	1	19 ± 13	6956 ± 6777
2003	1	25 ± 5	161 ± 47
2004	1	115 ± 28	1219 ± 973
2005	1	13 ± 7	3.0 ± 1
2013	2	70 ± 11	2.9 ± 1,9
2014	2	351 ± 206	0 ± 0

In contrast, the common shrimp (*Crangon crangon*) showed a significant increase in abundance during the latter period compared to the period before the round goby invasion (GLMM, $p = 0.01$). The mean abundance of the common shrimp was 269 individuals per haul in the latter period, compared to an average of 49 in the first period of the study (Table 1) (Paper **III**).

The zoobenthos biomass trends in the Gulf of Riga showed an overall decrease in Amphipods *Monoporeia affinis* and *Pontoporeia femorata* in the period from 2009 to 2014. When comparing the biomass volumes between species *M. affinis* with approximately 10 g/m^2 was the second largest group after *Saduria entomon* in the 2000s (Figure 9).

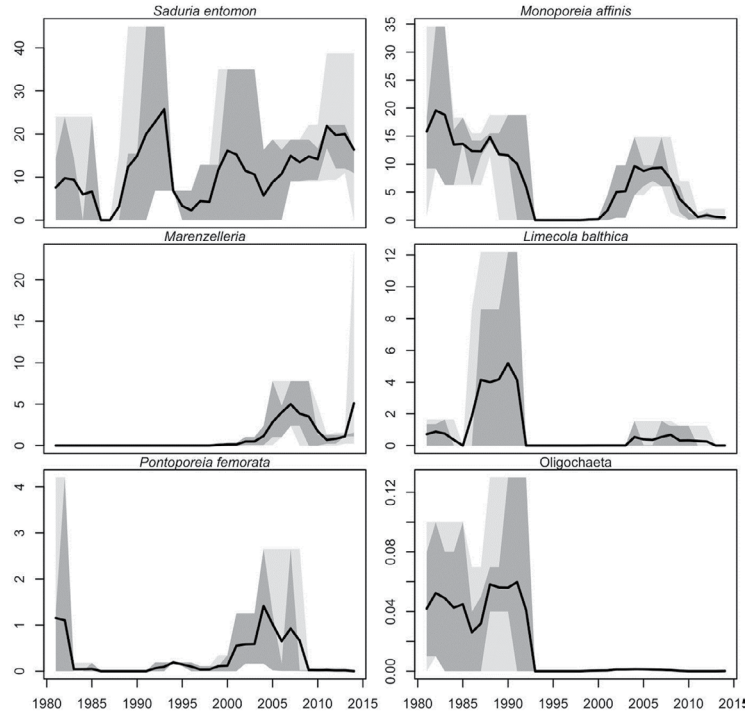


Figure 9. Time series of benthos biomass (g/m^2) in station 119 in Gulf of Riga from 1979 to 2016: Isopods *Saduria entomon,* amphipods *Monoporeia affinis,* and *Pontoporeia femorata,* the invasive bristle worm *Marenzelleria sp,* Molluscs *Limecola balthica* and earthworms *Oligochaeta*. The scales on the Y-axes differ due to the different biomasses of taxa. Taxa are sorted from top left to bottom right by decreasing biomass. The bold line is the mean biomass over the 000 repetitions of constant sampling (random selection of one station over the 5-year window). The dark and light grey areas represent the interquartile range and 95% interval, respectively (Paper **II**)

2.4. Reasoning for recommendations on further monitoring of the round goby (Paper I)

When comparing the monthly catch rate of round goby in coastal monitoring the highest catches were observed in May, being approximately 10 times higher than those recorded in late summer and autumn. The values in April and June were about half of the peak catches recorded in May. In the cold-water period (February-March) there were practically no round goby caught (Figure 10).

There was a strong catchability preference in "Nordic Coastal Multi-mesh" nets for smaller fish, and a noticeable shift was referenced towards "Coastal net series" starting from the 12 cm length group (Figure 11).

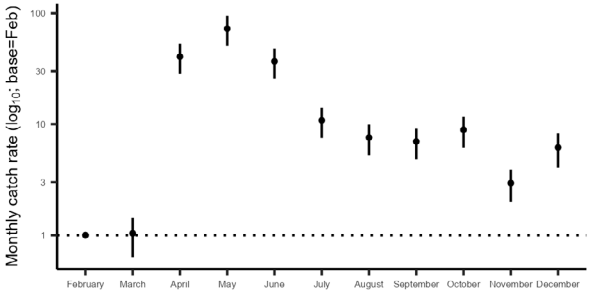


Figure 10. Multiplicative coefficients (base month is February) of the round goby (*Neogobius melanostomus*) catchability in coastal fisheries monitoring stations during the years 2006–2021 on a logarithmic scale. For each month, the average relative catches across years were plotted with a standard error bar (SE). The dotted line represents relative catchability at the base month of February (Paper **I**)

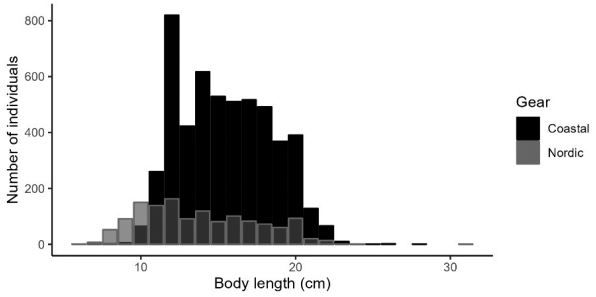


Figure 11. Total number of round goby (*Neogobius melanostomus*) individuals per length group (cm) captured for two different monitoring fishing gears (Paper **I**)

Catchability, beginning with a fish body length of 12 cm, can be considered relatively stable (within confidence interval), being approximately 5.35 times higher in "Coastal net series" than in "Nordic Coastal Multi-mesh" nets (Figure 11). As the "Coastal net series" are 180 m long, while the "Nordic Coastal Multi-mesh" nets are 45 m, this results in making a catching surface ratio of 4, which was lower than the observed proportion (>5 timers at sizes 12 cm), suggesting a clear preference for catchability. This gear length ratio was, however, well within the confidence interval of correction values.

3. DISCUSSION

3.1. The round goby *(Neogobius melanostomus)* invasion in Latvian EEZ

The results of this study suggest that by demarcating a boundary at the onset of the round goby invasion in 2009 a baseline for an unaffected ecosystem is defined and further by assessing changes in various long-term monitoring trends, shifts become apparent after the emergence of round goby in the environment.

The first signals of the round goby invasion appeared in national monitoring surveys and later were followed by reports in commercial coastal logbooks (Minde, 2007). The further rapid increase in the population, evidenced by both the scientific observations and fisheries log books leads to the question of how the local ecosystem was affected and can there be any indirect indications detected in local demersal fish and zoobenthos trends.

After its peak in 2017, the round goby population experienced a decline, resulting in a notable reduction that was thirty times lower by 2021 (Paper **I**), even as commercial fishing landings remained relatively unchanged (Figure 2) (Behrens et al., 2022a), inquiring possible causes of such development of the two different trends. Nevertheless, most of the commercial fishing is carried out in consistent coastal areas (Annex 3 with favourable coastal habitats for the species. Conversely, the population growth and later decline were observed in both coastal and offshore combined population trends (Figure 3), showing a general prevalence and arising spillover effect of the round goby to other living spaces as the population grew. The abundance of natural predators, as well as the progressing fisheries' adaptation to the new resource, are major limitation factors of the species (Ojaveer et al., 2015). Despite the identified round goby population decline after 2017, the following decline in commercial fishery landings was less pronounced which could be related to unevenly distributed coastal specialized fishery and its limited capacity in catching round goby to the full extent at the population peak period in 2017. According to the scientifically observed population decline detrimental changes in commercial catch success are suspected at the point where the capacity of the fleet catches up to the maximum population level of the round goby. However, as the stock decreases further mosaic spatial dispersal is expected for the round goby population in the Latvian EEZ. While fishing efforts could potentially be used to reduce round goby abundance in most of the Baltic Sea countries, this species is not yet considered a valued species for human consumption. To effectively manage and control the abundance of round goby, it becomes crucial to support natural resilience by ensuring that the predators of this fish are present in adequate numbers (Behrens et al., 2019; Ojaveer et al., 2015). For the moment in the EEZ, the conscious predatory fish species on the round goby in the open part of the sea are cod and turbot and

mostly perch in the Gulf of Riga coastal zone (D. Ustups personal communication, E. Kruze unpublished data). Since round goby migrates between coastal and offshore niches (Andres et al. 2020), it becomes essential to assess the population in both areas simultaneously. So far assessments were focused only on the coastal areas (Behrens et al., 2022b), while the present study initially covers both coastal and offshore waters. By considering the possible different population dynamics of this invasive species in both habitats, there is a potential to develop more comprehensive and effective management strategies to mitigate round goby impact and maintain a balanced ecosystem in the Baltic Sea.

3.2. Changes in local fish population trends

By comparing the periods before and after the invasion of the round goby, it was possible to gain valuable insights into the ecological consequences of this invasive species and its interactions with native fish communities in the region. In the central Baltic Sea, the focus in analyzing trends is based on the dominant and commercially valuable pelagic fish populations for Sprat, Herring, and Cod (ICES 2012). In this study, other available coastal fish species population trends are analyzed. Coastal fish population trends refer to the general direction or pattern in which the abundance or size of a fish population is changing over a specific period, which indicates whether the population is increasing, decreasing, or remaining stable (Paper **IV**). There is a lack of a comprehensive cross-study overview of the results achieved by different monitoring methods of long-term changes to provide a scientifically approvable insight into the current situation through the round goby invasion perspective.

The aim of developing indicators for coastal fish communities in the Baltic Sea is to assess the potential impacts of anthropogenic and natural environmental factors. In the Latvian case the Gulf of Riga DAU station represents an area with high anthropogenic pressure and in contrast the Open Sea JUR station is a relatively minimal disturbed environment (Neuman et al., 1999). The Cyprinids indicator is mainly an indicator of eutrophication as it is benefited from decreased water transparency, whereas the Piscivore indicator is primarily represented by species of high interest for commercial or recreational fisheries. (Paper **IV**). A continued predominance of increasing trends in Cyprinids but to a slightly lesser extent than in the early 2000s agree with recent eutrophication assessments and analyses of nutrient monitoring data (Snoeijs-Leijonmalm et al., 2017), which elucidate that eutrophication is a persisting issue in all areas of the Baltic Sea. Both indicators are potentially sensitive to habitat loss and changes in the quality of the environment but also involve natural environmental factors such as predation and overall climate change. Conversely, if the main changes in coastal fish communities were linked to rising temperatures, it would expect a similar pattern over time in both indicators, but the catches of Piscivores and Cyprinids were generally not correlated, implying that some different factors

were influencing each indicator more significantly at the current scale of the study (Paper **IV**).

A possible shift in population trend development in the eastern Gotland basin region of the Baltic Sea for Piscivores and Cyprinids is observed in 2008 (Figures 7 and 8) exactly matching the same time when the round goby invasion accelerated in this region (Rakauskas et al., 2008). During an overall piscivore decrease in the Baltic Sea an increase in station JUR after 2008 was observed that overlaps with the round goby invasion spread direction area (Puntila et al., 2018) and increasing commercial fishing activity location of the species (Annex 3). But the only significant ($p < 0.05$) increase of piscivores was observed in the next south Lithuanian station MBU (Paper **IV**) which was affected by the invasion in the earlier years (Rakauskas et al., 2013).

In the shallow water coastal areas sampled with beach seine, across the whole period, the total biomass of coastal fish did not change significantly. Following the arrival of the round goby, there was a noticeable decline in the abundance of juvenile turbot, while no obvious change was observed in the abundance of juvenile flounders. The inquiry pertains to the fluctuations in the productivity of turbot and it addresses whether unproductive generations of turbot persist or if the species has undergone adaptations in response to the altered state of the ecosystem (Paper **III**). When comparing demersal fish biomass trends in the Gulf of Riga offshore (Figure 6) with the appearance period of the round goby, the declines of the native demersal fish biomass could be explained by various environmental factors not directly related to the invasion. Anthropogenic factors that encompass eutrophication, fishing intensity, habitat loss, and changes in habitat quality and natural factors that involve predation and climate change, should both be assessed as factors that may act individually or in a synergy to impact those demersal fish communities. By combining this knowledge with when shifts in trends happened and on how many taxonomical and trophic levels it coexists it is possible to discuss if the regime shift happened in the Baltic Sea. For example, the shifting of the dominance of large predators to the small three-spined sticklebacks in the shallow bays of the Swedish coastline in the 2000s (Eklöf et al., 2020). Climate change and temperature increase cause an overall coldwater marine demersal fish species decline meanwhile accelerating the spread of invasive species like the round goby due to its high thermal resilience (Christensen et al., 2021) as well as decrease the overall species richness the coastal fish community (Bowser et al., 2022).

3.3. The impact on local fish communities' food web

The diet of juvenile turbot shifted from mysids to common shrimp, likely due to a decrease in mysids and an increase in common shrimp abundance in the habitat (Table 1). Nevertheless, a decrease in amphipods (including *Bathiporeia*) in the stomachs of flounders (Figure 8) was observed coinciding

with a decrease in the Gulf of Riga (Figure 9) in the same period. A significant decrease in turbot recruitment was observed in the second observation period as well (Paper **III**). Juvenile flounder, which had the widest food spectrum of the studied species, increased their intake of zooplankton when the availability of their primary food item, *Bathyporeia pilosa*, decreased. Although, the recruitment estimates of flounder and turbot showed increasing co-variation after the round goby invasion, suggesting that the recruitment of the two species may be regulated by processes in the common nursery habitat in shallow (<2 m) waters. Or implementing pressure on the overall living space of flounders during the round goby spawning season with a presence in very high numbers. As it was found that for adult flounder's depth distribution was shifted to deeper areas from 3–7 m to 10–13 m during round goby spawning time, but when round goby abundance was low, as in July, flounders were found at all depths of the sampling area (Karlson et al., 2007). The juvenile turbots, whose dominant food item before the round goby invasion was mysids, shifted their diet towards the common shrimp, indicating a potential shift in food availability. As for the turbot as species, it is known that the juveniles compete over food, but the adults successfully feed on the round goby (D. Ustups unpublished data) so developing a situation of unclear interspecific relations in terms of nutrition estimates and energetic circulations within trophic levels. Round goby, in addition to benthic invertebrates, preys also on several different fish species juveniles or eggs of ecological and commercial importance. Thus, there is potential for predator-prey reversal and negative effects of the invasive round goby on large, predatory fishes (Wallin Kihlberg et al., 2023). Within the length groups above 7 cm fish start to appear in the diet of round goby (Figure 7) whether in the form of fish eggs or juveniles (E. Kruze unpublished data based on Paper **III** study) including round goby, eelpout, and three-spined sticklebacks in the Gulf of Riga offshore samples (L. Rozenfelde unpublished data, 2018-2022). Changes in abiotic factors, specifically the temperature increases during certain periods, were associated with variations in the overall structure of the ecosystem, marked by decreases in detritivorous organisms and increases in phyto- and zoo planktivorous taxon groups (Paper **II**). Conversely, in the last observation period of the study (2009–2014) the effects of a new contributor on the food web, like the appearance of the new round goby should be considered and attention drawn if there are some indications of an overall temporal shift in the functioning observable in the ecosystem.

3.4. Recommendations for further monitoring

Relatively the comparison of round goby catch volumes between passive coastal gillnet monitoring and active offshore scientific trawling results elucidates much higher catchability in the coastal waters, especially during spawning migration in spring–early summer (Paper **I**). While active sampling gears

provide better quantitative data on fish abundance per area unit this method faces limitations on rocky ground types, shallow waters as well as generally higher expenses (Franco et al., 2022). However round goby seasonally migrates between ecological niches in the coastal areas and offshore areas (Andres et al. 2020; Behrens et al., 2022b) so coastal sampling could also indicate effects on nearby deepwater biotopes where the use of active sampling gears is challenging. So far according to the HELCOM guidelines fisheries independent coastal fish monitoring is conducted in late summer (Neuman et al., 1999) when round goby activity is little and its catchability with passive gears is low (Figure 10). Catches of round goby observed in May were approximately 10 times higher than those recorded in late summer and autumn. Therefore, monitoring of round goby in coastal areas should be focused on the period between late April and early June, as the catches between years may vary to some extent (Paper **I**). "Nordic Coastal Multi-mesh" nets provide a wider range of round goby length groups, especially the smaller ones with lower total catch volume of the middle-sized fish (12–20 cm) making the measurements more efficient and less laborious on the field. When recalculating "Nordic Coastal Multi-mesh" nets data to historic "Coastal net series" values (Annex 1), it is suggested that cautious use of the correction values in individuals smaller than 9 cm or larger than 22 cm due to the scarcity of the available data. The method is well developed and described to be used for different fish species where the quantity is sufficient (Paper **I**). Another aspect of the application of the "Nordic Coastal Multi-mesh" nets sampling method is the possible faster attainment of the maximum catchability of the gears-specific mesh size panel in high fish concentrations. To limit the possibility of this feature and achieve representative CPUE values, repetitions with different soak times could be performed to reduce this risk (Rotherdam et al., 2006). Nevertheless, small fish species and juveniles (below 5 cm) usually were not representatively sampled by the "Nordic Coastal Multi-mesh" nets, and a combination of methods (active and passive fishing gears) should be used to cover the whole size spectrum of the targeted fish community.

If there is an aim to reduce the spread of non-indigenous fish species and a specialized fishery sector is established it is crucial to embed an advantageous knowledge basis at the beginning of the industry's development. The fishery should be improved within seasonal terms and gear technical restrictions to exclude undersize valuable, protected, and endangered fish bycatch species and damage to the environment. Also, observer-based surveillance of bycatch in specialized fishing is obligatory. On the other hand, the fishing industry is exploring potentially profitable market avenues, and as illustrated by the Latvian scenario, these opportunities are primarily situated beyond the borders of the European Union (Behrens et al., 2022a). So, the promotion of the round goby commercial fishing sector and advanced showcase production of high-value products for local markets would be supportable. Anyway, the future role of the round goby on the environment and fisheries is unclear and therefore, developing a pioneering

stock assessment for the round goby in the Baltic Sea is crucial. In the Baltic Sea region, there is a lack of coastal necto-zoobenthos observations performed and developed monitoring programs that are crucial for characterizing coastal and demersal fish community's role in the coastal food webs.

The development of a new round goby ecological indicator should be considered in the Baltic Sea region (MARMONI 2014; Olsson et al., 2018) with so far unknown preferable target values because of its unclear role in the ecosystem and the bioeconomic paradox of an invasive fish species being commercially valuable.

CONCLUSIONS

1. The round goby established a stable population in the coastal areas by 2009 that rapidly increased and spread offshore until 2017 and after that a remarkable decrease in the scientific population assessments was observed that is attributed to targeted round goby fishing management actions (Paper **I**).
2. A significant increase in cyprinid populations that are linked to eutrophication was registered but indirect shifts in cyprinid and piscivore population trends were observed after 2009 in the central Baltic Sea (Paper **IV**). A significant decrease in turbot recruitment was observed after the invasion of round goby (Paper **III**). The biomass of benthic fish species decreased in the Gulf of Riga after 2010 (Paper **II**).
3. The competition over mysids influences the food selection strategy of turbot juveniles after the invasion (Paper **III**). A decrease in the amphipod *Monoporeia affinis* and *Pontoporeia femorata* biomass was observed after 2009 in the Gulf of Riga (Paper **II**).
4. For round goby population trend assessment coastal fish monitoring should be conducted in May–June during the pre-spawning migration of round goby by using "Nordic multi-mesh gillnets" preferably applying experiments with different soak times (Paper **I**).

ACKNOWLEDGMENTS

I would like to take a moment to express my heartfelt thanks to all the amazing people who have supported me throughout this PhD journey.

First and foremost, a big shootout to my supervisor, Didzis Ustups, who has been there every step of the way, guiding and supporting me.

I also would like to thank, Gunita Deksne, for your valuable input and encouragement. Your know-how has been invaluable in shaping this research.

A huge thank you to my wonderful research team and colleagues at Institute of Food Safety, Animal Health and Environment "BIOR" – Ivars Putnis, Andris Avotiņš, Loreta Rozenfelde, Ivo Šics, Laura Briekmane, Jānis Gruduls, Kārlis Heimrāts, Viesturs Bērziņš, Gunta Rubene, Dace Zīlniece and Tatjana Baranova.

I am grateful to all the former colleagues who took part in field, laboratory and office works to accomplish this long-year study: Atis Minde, Ivars Kažmers, Edgars Sūnākslis, Viktors Pērkons, Elīna Knospiņa-Meikule, Marita Pjuse, Inese Ozoliņa, Danute Uzars and Didzis Elferts. Your contributions have been vital to the success of this research.

Also, in memory of Māris Plikšs, whose intellectual curiosity and supportive nature triggered the beginning of this research.

Thanks to all the collaboration scientists from the Latvian Institute of Aquatic Ecology – Solvita Strāķe, Matīss Žagars and Andris Andrušaitis.

Thanks to all international co-authors, especially to Lena Bergström and Susanne Kortsch for the possibility to provide my input in the publications as well as thanks to Jens Olsson for Your advice and support.

Of course, none of this would have been possible without the unwavering support of my wonderful family: wife Linda Logina-Krūze and kids: Emīls Krūze, Olivers Krūze, Līna Krūze, Niklāvs Krūze, Gusts Krūze. My mom Lolita Krūze and bro Jānis Krūze, as well in-laws Juris Logins and Sandra Logina. Your love and understanding have kept me going over these endless field expeditions and tensious periods of busyness.

LITERATŪRAS SARAKSTS / REFERENCES

Andres, K. J., Sethi, S. A., Duskey, E., Lepak, J. M., Rice, A. N., Estabrook, B. J., ... & Scofield, A. E. (2020). Seasonal habitat use indicates that depth may mediate the potential for invasive round goby impacts in inland lakes. Freshwater Biology, 65(8), 1337-1347. https://doi.org/10.1111/fwb.13502

Andrusaitis, A., Cox, D., Dosdat, A., Emeis, K., Harms, J., Heral, M., Hermann, P., ten Hoopen, F., Jennings, Si., & Johannesson, K. (2016). Towards sustainable blue growth: Outline of the joint Baltic Sea and the North Sea research and innovation programme 2018–2023. In BONUS Publication No. 15 (Issue 15). https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/127979995/Publishers_version.pdf

Behrens, J. W., Ryberg, M. P., Einberg, H., Eschbaum, R., Florin, A. B., Grygiel, W., ... & Ojaveer, H. (2022b). Seasonal depth distribution and thermal experience of the non-indigenous round goby *Neogobius melanostomus* in the Baltic Sea: implications to key trophic relations. Biological Invasions, 24(2), 527-541. https://doi.org/10.1007/s10530-021-02662-w

Behrens, J. W., Van Deurs, M., Puntila-Dodd, R., & Florin, A. B. (2019). Policy brief: Round goby – a threat or a new resource? Nordic Council of Ministers. https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/191407522/FULLTEXT01.pdf

Behrens, J., Bergström, U., Borcherding, J., Carruel, G., Florin, A. B., Green, L., ... & Zielinski, J. (2022a). Workshop on Stickleback and Round Goby in the Baltic Sea (WKSTARGATE). https://doi.org/10.17895/ices.pub.21345291

Bogaart, P., van der Loo, M., & Pannekoek, J. (2020). rtrim: Trends and Indices for Monitoring Data. February. https://cran.r-project.org/package=rtrim

Bowser, J., Galarowicz, T., Murry, B., & Johnson, J. (2022). Invasive Species Appearance and Climate Change Correspond with Dramatic Regime Shift in Thermal Guild Composition of Lake Huron Beach Fish Assemblages. Fishes, 7(5). https://doi.org/10.3390/fishes7050263

Cardoso, A. C., Cochrane, S., Doerner, H., Ferreira, J. G., Galgani, F., Hagebro, C., ... & Van de Bund, W. (2010). Scientific support to the European commission on the marine strategy framework directive. Management Group Report. DOI:10.2788/86430

Christensen, E. A. F., Norin, T., Tabak, I., Van Deurs, M., & Behrens, J. W. (2021). Effects of temperature on physiological performance and behavioral thermoregulation in an invasive fish, the round goby. Journal of Experimental Biology, 224(1). https://doi.org/10.1242/jeb.237669

Dobrzycka-Krahel, A., & Bogalecka, M. (2022). The Baltic Sea under Anthropopressure—The Sea of Paradoxes. Water (Switzerland), 14(22). https://doi.org/10.3390/w14223772

EC (European Commission) Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of ma-rine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive), 2008

Eero, M., Dierking, J., Humborg, C., Undeman, E., MacKenzie, B. R., Ojaveer, H., Salo, T., & Köster, F. W. (2021). Use of food web knowledge in environmental conservation and management of living resources in the Baltic Sea. ICES Journal of Marine Science, 78(8), 2645-2663. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab145

Eklöf, J. S., Sundblad, G., Erlandsson, M., Donadi, S., Hansen, J. P., Eriksson, B. K., & Bergström, U. (2020). A spatial regime shift from predator to prey dominance in a large coastal ecosystem. Communications Biology, 3(1), 1-9. https://doi.org/10.1038/s42003-020-01180-0

EU Commission 2017 (EU) 2017/1004 of the European Parliament and of the Council of 17 May 2017 on the establishment of a Union framework for the collection, management and use of data in the fisheries sector and support for scientific advice regarding the common fisheries policy and repealing Council Regulation (EC) No. 199/2008, 2017. L 157/1-21.

EU Commission, 2007. Council Regulation (EC) No. 1098/2007 establishing a multi-annual plan for the cod stocks in the Baltic Sea and the fisheries exploiting those stocks, amending Regulation (ECC) No. 2847/93 and repealing Regulation (EC) No. 779/97.

EU Commission, (2021). Guidelines for implementing an ecosystem-based approach in maritime spatial planning (Issue September). https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a8ee2988-4693-11ec-89db-01aa75ed71a1

Franco, A., Elliott, M., Franzoi, P., Nunn, A., Hänfling, B., Colclough, S., & Young, M. (2022). Appendix A: Study Methods: Field Equipment, Sampling and Methods. Fish and Fisheries in Estuaries: A Global Perspective, 874-940. https://doi.org/10.1002/9781119705345.app1

HELCOM. (2021). Baltic Sea Action Plan. Baltic Marine Environment Protection Commission, November, 1-101. http://helcom.fi/Documents/Baltic %5Cnsea action plan/BSAP_Final.pdf

Hunt, T. "Fish of Estonia" 2022 book 192 pages ISBN: 9789916412145

ICES. (2012). General context of ICES advice. ICES Advice 2012, Book 1, 2008(June), 18 pp. ces.dk/community/Documents/Advice/General_context_of_ICES_advice_2012.pdf

ICES. (2017). Manual for the Baltic International Trawl Surveys (BITS) Version 2.0. https://ices-library.figshare.com/articles/report/SISP_7_-_Manual_for_the_Baltic_International_Trawl_Surveys_BITS_/19050986

Karlson, A. M. L., Almqvist, G., Skóra, K. E., & Appelberg, M. (2007). Indications of competition between non-indigenous round goby and native flounder in the Baltic Sea. ICES Journal of Marine Science, 64(3), 479-486. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsl049

Lado, E. P. (2016). The common fisheries policy: the quest for sustainability. John Wiley & Sons. ISBN: 978-1-119-08565-2

Minde, A., 2007. Attention – Round Goby! (Uzmanību – apaļais jūrasgrundulis!). Latvijas Zivsaimniecības gadagrāmata 2007, Rīga, pp. 89-92 (in Latvian).

MARMONI 2014 "List of Indicators for assessing the state of marine biodiversity in the Baltic Sea developed by the LIFE MARMONI Project", http://marmoni.balticseaportal.net/wp/wp-content/uploads/2011/03/A2_REPORT_INDICATORS.pdf

Möllmann, C., Lindegren, M., Blenckner, T., Bergström, L., Casini, M., Diekmann, R., ... & Gårdmark, A. (2014). Implementing ecosystem-based fisheries management: from single-species to integrated ecosystem assessment and advice for Baltic Sea fish stocks. ICES Journal of Marine Science, 71(5), 1187-1197. https://doi.org/10.1093/icesjms/fst123

Neuman, E., Sandström, O., & Thoresson, G. (1999). Guidelines for coastal fish monitoring. National Board of Fisheries, Institute of Coastal Research. https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/Guidelines-for-Coastal-fish-Monitoring-of-HELCOM.pdf

Ojaveer, E. (2017). Ecosystems and Living Resources of the Baltic Sea. In Ecosystems and Living Resources of the Baltic Sea. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53010-9

Ojaveer, H., Galil, B. S., Lehtiniemi, M., Christoffersen, M., Clink, S., Florin, A. B., Gruszka, P., Puntila, R., & Behrens, J. W. (2015). Twenty-five years of invasion: Management of the round goby *Neogobius melanostomus* in the Baltic Sea. Management of Biological Invasions, 6(4), 329-339. https://doi.org/10.3391/mbi.2015.6.4.02

Ojaveer, H., Jaanus, A., MacKenzie, B. R., Martin, G., Olenin, S., Radziejewska, T., ... & Zaiko, A. (2010). Status of biodiversity in the Baltic Sea. PLoS one, 5(9), e12467. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012467

Olsson, J., Naddafi, R., Brown, E. J., Lejk, A., Smolinsk, S., & Bergstrom, L. (2018). Status of coastal fish communities in the Baltic Sea during 2011-2016-the third thematic assessment. https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/240768125/BSEP161_1_.pdf

Palialexis, A., Kousteni, V., Boicenco, L., Enserink, L., Pagou, K., Zweifel, U. L., ... & Connor, D. (2021). Monitoring biodiversity for the EU Marine Strategy Framework Directive: Lessons learnt from evaluating the official reports. Marine Policy, 128, 104473. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104473

Plikss, M., Aleksējevs, E. 1998. Latvijas daba. Zivis. Rīga, Gandrs

Puntila, R., Strake, S., Florin, A. B., Naddafi, R., Lehtiniemi, M., Behrens, J. W., ... & Yurtseva, A. (2018). Abundance and distribution of round goby (*Neogobius melanostomus*). HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheet. https://helcom.fi/wp-content/uploads/2020/06/BSEFS-Abundance-and-distribution-of-round-goby.pdf

Rakauskas, V., Bacevičius, E., Putys, Ž., Ložys, L., & Arbačiauskas, K. (2008). Expansion, feeding and parasites of the round goby, *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1811), A recent invader in the curonian lagoon, Lithuania. Acta Zoologica Lituanica, 18(3), 180-190. https://doi.org/10.2478/v10043-008-0030-z

Rakauskas, V., Putys, Ž., Dainys, J., Lesutiene, J., Ložys, L., & Arbačiauskas, K. (2013). Increasing population of the invader round goby, *Neogobius melanostomus* (Actinopterygii: Perciformes: *Gobiidae*), and its trophic role in the Curonian Lagoon, SE Baltic Sea. Acta Ichthyologica et Piscatoria, 43(2), 95-108. https://doi.org/10.3750/AIP2013.43.2.02

Reusch, T. B. H., Dierking, J., Andersson, H. C., Bonsdorff, E., Carstensen, J., Casini, M., Czajkowski, M., Hasler, B., Hinsby, K., Hyytiäinen, K., Johannesson, K., Jomaa, S., Jormalainen, V., Kuosa, H., Kurland, S., Laikre, L., MacKenzie, B. R., Margonski, P., Melzner, F., … Zandersen, M. (2018). The Baltic Sea as a time machine for the future coastal ocean. Science Advances, 4(5). https://doi.org/10.1126/sciadv.aar8195

Rotherdam, D., Gray, C. A., Broadhurst, M. K., Johnson, D. D., Barnes, L. M., Jones, M. V. Sampling Estuarine Fish Using Multi-Mesh Gill Nets: Effects of Panel Length and Soak and Setting Times. J. Exp. Mar. Bio. Ecol. 2006, 331, 226-239. https://doi.org/10.1016/j.jembe.2005.10.010

Snoeijs-Leijonmalm, P. (2017) Patterns of biodiversity. In: Snoeijs-Leijonmalm, P., Schubert, H., Radziejewska, T. (Eds) Biological oceanography of the Baltic Sea. 1st ed. Springer, Dordrecht, the Netherlands, 123-193. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0668-2_4

Sparrow, B. D., Edwards, W., Munroe, S. E., Wardle, G. M., Guerin, G. R., Bastin, J. F., ... & Lowe, A. J. (2020). Effective ecosystem monitoring requires a multi-scaled approach. Biological Reviews, 95(6), 1706-1719. https://doi.org/10.1111/brv.12636

Ustups, D. Latvian Fisheries Yearbook; The Latvian Rural Advisory and Training Centre: Ozolnieku pagasts, Latvia, 2021; Volume 25.

Vinther, M., Reeves, S. A., & Patterson, K. R. (2004). From single-species advice to mixed-species management: taking the next step. ICES Journal of Marine Science, 61(8), 1398-1409. https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.08.018

Vullioud, A. (2016). Biodiversity assessment for coastal fish communities in the Baltic Sea. 5. https://stud.epsilon.slu.se/9361/1/vullioud_a_160609.pdf

Wallin Kihlberg, I., Florin, A.-B., Lundström, K., & Östman, Ö. (2023). Detection of multiple fish species in the diet of the invasive round goby reveals new trophic interactions in the Baltic Sea. Aquatic Invasions, 18(2), 141-162. https://doi.org/10.3391/ai.2023.18.2.104960

PIELIKUMI / ANNEXES

1. pielikums / Annex 1

Pārrēķina no ("Nordic" tipa daudzsienu tīkliem uz "Standarta piekrastes" tipa tīklu sēriju) koeficienti un to 95% ticamības intervāli (**I** publikācija) / Recalculation (from "Nordic Coastal Multi-mesh" nets to "Coastal net series") coefficients and their 95% confidence intervals (Paper **I**)

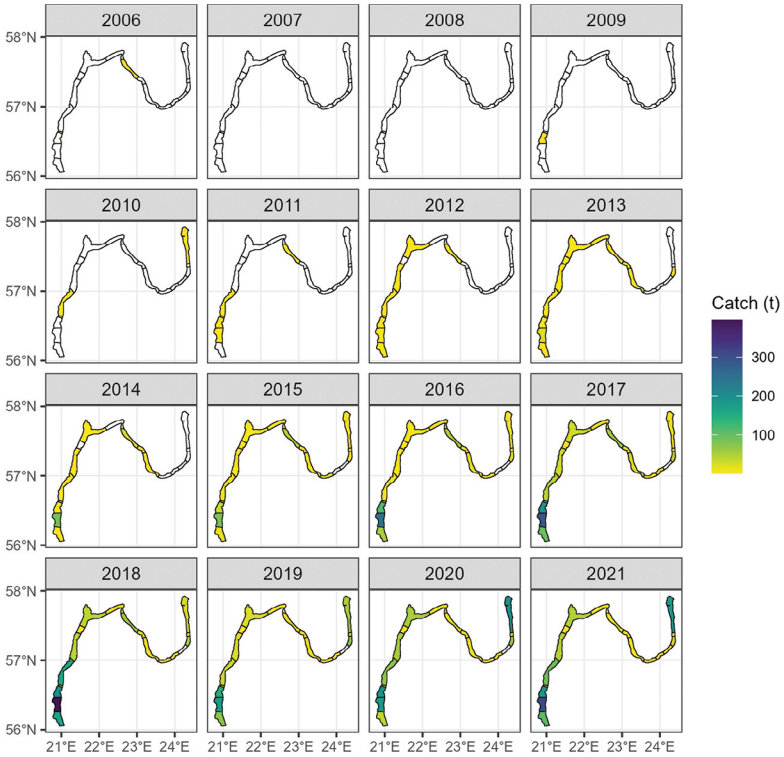
Length (cm)	Proportion in "Coastal"	Proportion in "Coastal" (95%CI)		Multiplicator for "Nordic" (to Obtain Values at "Coastal")	Multiplicator (95%CI)	
5	0.0002	0.0001	0.0006	0.0002	0.0001	0.0006
6	0.0009	0.0003	0.0027	0.0009	0.0003	0.0027
7	0.0048	0.0020	0.0116	0.0048	0.0020	0.0118
8	0.0242	0.0115	0.0503	0.0248	0.0116	0.0529
9	0.1127	0.0617	0.1968	0.1270	0.0658	0.2451
10	0.3901	0.2597	0.5385	0.6397	0.3508	1.1666
11	0.7121	0.5783	0.8169	2.4734	1.3713	4.4612
12	0.8391	0.7437	0.9036	5.2138	2.9012	9.3699
13	0.8582	0.7713	0.9156	6.0506	3.3725	10.8554
14	0.8428	0.7483	0.9063	5.3620	2.9729	9.6712
15	0.8347	0.7370	0.9010	5.0503	2.8022	9.1022
16	0.8460	0.7525	0.9085	5.4953	3.0405	9.9319
17	0.8576	0.7687	0.9161	6.0249	3.3236	10.9215
18	0.8534	0.7630	0.9132	5.8203	3.2201	10.5201
19	0.8361	0.7373	0.9027	5.1028	2.8069	9.2769
20	0.8234	0.7191	0.8946	4.6618	2.5599	8.4897
21	0.8267	0.7200	0.8985	4.7711	2.5718	8.8514
22	0.8374	0.7170	0.9128	5.1491	2.5334	10.4654
23	0.8478	0.7022	0.9294	5.5724	2.3583	13.1670
24	0.8578	0.6797	0.9449	6.0304	2.1223	17.1355
25	0.8671	0.6521	0.9579	6.5261	1.8741	22.7255
26	0.8760	0.6208	0.9682	7.0626	1.6368	30.4736

2. pielikums / Annex 2

Piekrastes zivju monitoringa staciju skaita sadalījums laikā pa piekrastes rajoniem (**I** publikācija) / Spatiotemporal distribution of the number of coastal fish monitoring stations (Paper **I**)

3. pielikums / Annex 3

Spatial distribution of the commercial landings of round goby in Latvian coastal waters (Paper **I**)



PUBLIKĀCIJAS / PUBLICATIONS

I

The Population Development of the Invasive Round Goby *Neogobius Melanostomus* in Latvian Waters of the Baltic Sea.

Kruze, E., Avotins, A., Rozenfelde, L., Putnis, I., Sics, I., Briekmane, L., Olsson, J. 2023. *Fishes*, 8, 305.

II

Disentangling temporal food web dynamics facilitates understanding of ecosystem functioning

Kortsch, S., Frelat, R., Pecuchet, L., Olivier, P., Putnis, I., Bonsdorff, E., Ojaveer, H., Jurgensone, I., Strake, S., Rubene, G., Kruze, E., Nordstrom, M. C. 2021. *Journal of Animal Ecology*, 90, 1205-1216.

III

Diet overlap between juvenile flatfish and the invasive Round Goby in the central Baltic Sea

Ustups, D., Bergstrom, L., Florin, A. B., Kruze, E., Zilniece, D., Elferts, D., Knospina, E., Uzars, D. 2016. *Journal of Sea Research*, 107, 121-129.

IV

Long term changes in the status of coastal fish in the Baltic Sea

Bergström, L., Heikinheimo, O., Svirgsden, R., Kruze, E., Lozys, L., Lappalainen, A., Saks, L., Minde, A., Dainys, J., Jakubaviciute, E., Adjers, K., Olsson, J. 2016. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 169, 74-84.