

Eiropas savienības Eiropas Jūrlietu un zivsaimniecības fonda Rīcības programmas zivsaimniecības attīstībai 2014.-2020.gadā prioritātes “Veicināt integrētās jūrlietu politikas īstenošanu” atbalstāmā pasākuma “Zināšanu uzlabošana jūras vides stāvokļa jomā” projekta Nr. 17-00-F06803-000001 ietvaros noslēgtā (iepirkuma identifikācijas Nr. VARAM 2016/54)

**Līguma Nr IL/106/2017
NOSLĒGUMA ZIŅOJUMS**



BĪSTAMO VIELU PIESĀRŅOJUMA RADĪTO BIOLOĢISKO EFEKTU NOTEIKŠANAI PIEMĒROTO METOŽU APKOPOJUMS UN TESTĒŠANA. BĪSTAMO VIELU PIESĀRŅOJUMA RADĪTO BIOLOĢISKO EFEKTU LĪMEŅA NOVĒRTĒJUMS

Izpildes termiņš: 20.06.2022

Rīga, 2022

Saturs

levads	2
1. Piesārņojuma bioloģiskie efekti Baltijas plakangliemenēs <i>Macoma balthica</i> Rīgas līcī	3
1.1. Materiāli un metodes	3
1.2. Rezultātu apraksts	4
1.2.1. Sezonālie biomarķieru dati	4
2. Biomarķieru pētījumi ostu poligonos.....	7
3. Biomarķieru saistība ar piesārņotājiem	9
4. Reproductīvie traucējumi un piesārņojuma bioloģiskie efekti sānpeldēs.....	10
4.1. Reproductīvie traucējumi Rīgas līča piekrastes sānpeldēs <i>Pontogammarus robustoides</i> ..	10
4.2. Enzimātisko biomarķieru aktivitāte <i>P. robustoides</i>	14
4.3. Reproductīvie traucējumi Rīgas līča dziļūdens sānpeldēs <i>Monoporeia affinis</i>	16
4.4. Enzimātisko biomarķieru aktivitāte <i>M. affinis</i>	17
Izmantotā literatūra	20

IEVADS

Eiropas Savienības Eiropas Jūrlietu un zivsaimniecības fonda projekta Nr. 17-00F06803-000001 ietvaros noslēgtā līgumdarba “Zināšanu uzlabošana jūras vides stāvokļa jomā (Līguma Nr. IL/106/2017) (turpmāk tekstā – Līgumdarbs) ietvaros tika veikts pētījums, lai celtu zināšanu kapacitāti un iegūtu nepieciešamo datu materiālu 8. Raksturlieluma “Piesārņotāju koncentrācijas pakāpe ir tāda, ka piesārņojums nerada nelabvēlīgu ietekmi” D8C2 kritērija “Sugu veselīgumu un dzīvotņu stāvokli neskar nelabvēlīga ietekme piesārņotāju dēļ” novērtēšanai.

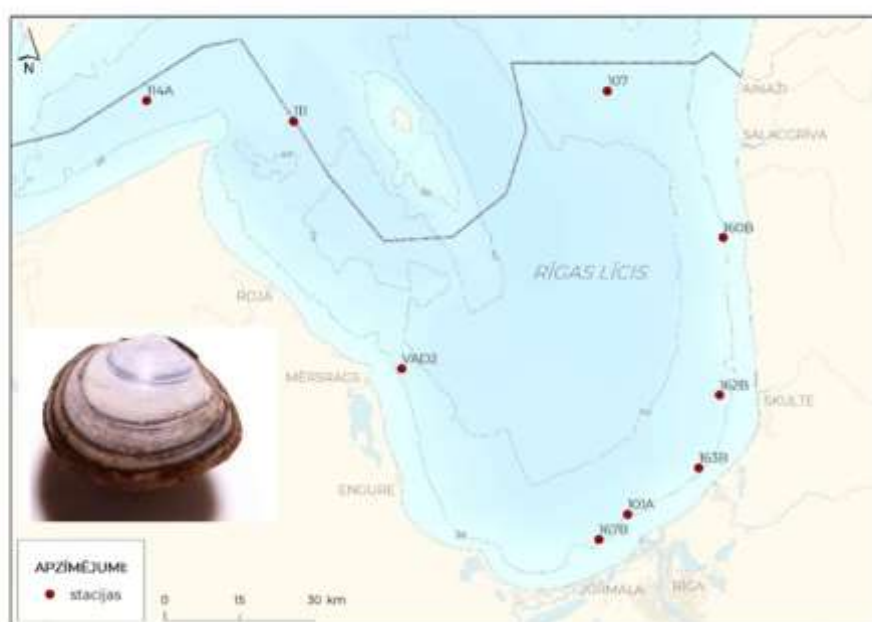
Pētījuma laikā Rīgas līča gliemenēs (*M.balthica*) tika apzināta enzimatisko biomarkķieru aktivitāte, kā arī izvērtēta šo biomarkķieru aktivitātes sasaiste ar piesārņojošo vielu koncentrācijām. Izvērtējot enzimatisko biomarkķieru rādītājus gliemenēs saistībā ar piesārņojošajām vielām Rīgas līcī, konstatēts, ka acetilholīna esterāzes (AChE) inhibīcija ir lielāka stacijās ar augstākām polibromēto difenilēteru (PBDE) un poliaromātisko ogļūdeņražu (PAH) koncentrācijām gliemenēs. Savukārt GST un CAT enzīmu aktivitāte ir augstāka pie augstākām PAH koncentrācijām gliemenēs.

Pētījuma laikā tika apzināti arī piesārņojuma izraisīti reproduktīvie traucējumi sānpeldēs. Pēc provizoriskajām robežvērtībām, sānpelde *P. robustoides* uzrāda labu vides kvalitāti apsekotajās Rīgas līča piekrastes stacijās 2020. un 2021. gadā, nepārsniedzot abu rādītāju robežvērtību vienlaicīgi. Savukārt, apskatot labas vides kvalitātes robežas (GES) Rīgas līča stacijām pēc iegūtajiem rezultātiem sānpeldēs *M. affinis*, var secināt, ka 2020. un 2021. gadā pēc deformēto embriju klātbūtnes mātītē vides kvalitāte ir fona līmenī, norādot uz nepārsniegtu labas vides kvalitātes robežu. Savukārt, jau 2022. gadā veiktais vides kvalitātes novērtējums norāda uz pārsvarā pārsniegtu GES robežu. Līdz ar to iegūtie rezultāti liecina par nepieciešamību ierosināt pārrēķināt HELCOM jaunas fona robežvērtības, ņemot vērā vismaz divu gadu perioda rezultātus Rīgas līcim

1. PIESĀRŅOJUMA BIOĻOĢISKIE EFEKTI BALTIJAS PLAKANGLIEMENĒS MACOMA BALTHICA RĪGAS LĪCĪ

1.1. MATERIĀLI UN METODEDES

Paraugi enzimatisko biomarķieru aktivitātes noteikšanai gliemenēs (*M.balthica*), ievākti trīs reizes gadā, reprezentējot trīs sezonas - pavasari (maijs), vasara (augusts) un rudeni (novembris) Rīgas līča stacijās (1.1. attēls).



1.1. attēls. Paraugu ņemšanas vietas Rīgas līcī

Gliemeņu paraugos noteikti sekojoši biomarķieri - acetilholīnesterāze (AChE), glutaciona S-transferāze (GST), katalāze (CAT) un glutaciona reduktāze (GR). To apraksts minēts zemāk:

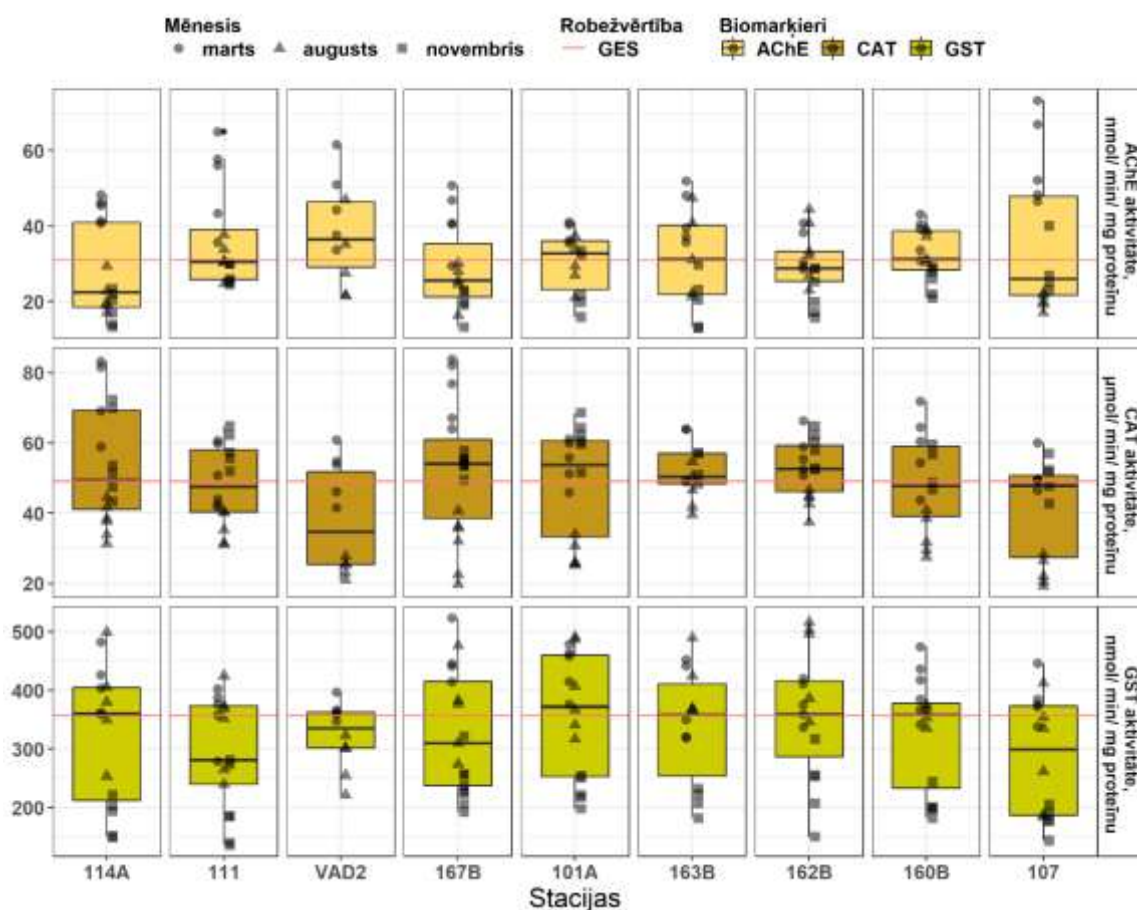
- Neirotoksiskā stresa biomarķieris **acetilholīnesterāze (AChE)** - enzīms, kas tiek plaši pielietots jūras monitoringā kā specifiskais biomarķieris, galvenokārt norādot uz fosfororganisko savienojumu un karbamātu pesticīdu iedarbību uz organismiem. Dzīvajos organismos šie ķīmiskie savienojumi inhibē neironu sinapsēs esošo holīnesterāzi, kas izraisa organisma refleksīvo darbību (elpošanas, sirdsdarbības u.c.) traucējumus, kuru pazīmes ir konvulsijas, paralīze vai nāve.
- Antioksidantu enzīms **glutaciona S-transferāzes (GST)** - viens no visbiežāk pielietotajiem antioksidantu enzīmiem. GST piedalās detoksikācijas procesos, kur aktivizē glutaciona (GSH) konjugāciju ar ksenobiotiķi. Pēc piesārņojuma ietekmes GST aktivitāte tiek izmantota kā biomarķieris, kas norāda uz organisko savienojumu kā policiklisko aromātisko ogļūdeņražu (PAH), polihlorēto bifenilu (PCB) u.c. organisko savienojumu klātbūtni vidē.

- Antioksidantu enzīms **katalāze (CAT)** - sastopams augu un dzīvnieku šūnās, kurš pārveido organismam kaitīgo ūdeņraža peroksīdu par nekaitīgiem galaproduktiem, un tiek plaši pielietots kā oksidatīvā stresa biomarķieris. Palielināta CAT aktivitāte norāda uz oksidatīvā stresa ietekmi, kas bieži saistīts ar pārmērīgu brīvo radikāļu veidošanos dažādu organisko savienojumu katabolismu laikā.
- Antioksidantu enzīms **glutaciona reduktāze (GR)** - viena no enzīmiem, kas izmanto glutationu (GSH) - tiola savienojumu, lai reducētu hidrogēn peroksidāzi un lipīdu peroksidāzi. Glutaciona daudzums, it īpaši reducētā formā, ietekmē šūnas spēj reaģēt pret oksidatīvo stresu.

1.2. REZULTĀTU APRAKSTS

1.2.1. Sezonālie biomarķieru dati

2020. gadā gliemeņu paraugi ievākti marta, augusta un novembra mēnešos (1.2. attēls).



1.2. attēls. GST, CAT un AChE aktivitāte Baltijas plakangliemenēs (*L. balthica*) 2020. gadā Rīgas līcī

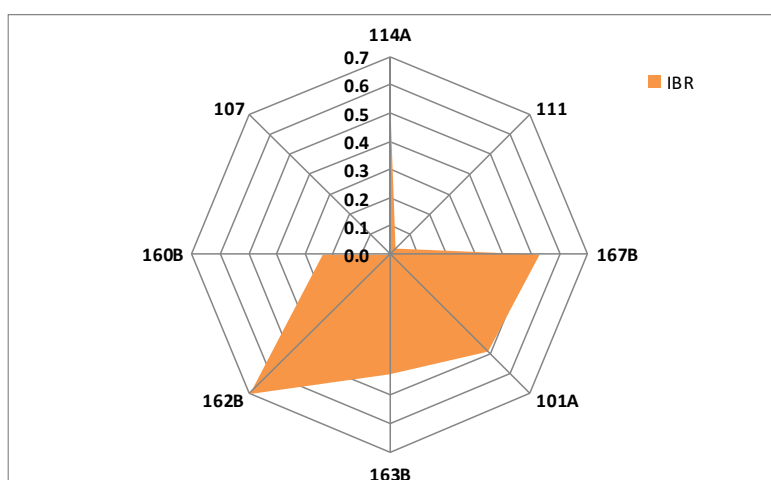
Acetilholīnesterāzei (AChE) 2020. gadā vērojamas sezonālas izmaiņas, augstākās vērtības uzrādot martā, bet zemākās novembra mēnesī, kas saistīts ar miera periodu gliemeņu fizioloģijā. Šobrīd

potenciālās laba stāvokļa vērtības (GES) visiem biomarkšiem ir izstrādātas kā gada vidējās vērtības, tomēr izvērtējot pēdējo gadu ievāktos datus, nepieciešama šo vērtību pārskatīšana un izvērtēšana, balstoties uz ievākšanas sezonu. AChE inhibācija, balstoties uz gada vidējo vērtību (respektīvi zemāk par GES) tika novērota Irbes šauruma stacijās (114A un 111. stacija), iepretim Skultei (162B), kā arī 107 stacijā - līča ziemeļdaļā (1.2. attēls).

Antioksidantu enzīma katalāzes (CAT) aktivitātes augstākās vērtības tika noteiktas martā, uzrādot augstāk kā $80 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteīnu Irbes šaurumā (114A) un pretim Lielupes grīvai (167B). Gada vidējās CAT vērtības, pārsniedzot GES, tika konstatētas līča dienviddaļā, upju grīvu rajonā (167B, 101A, 163B), iepretim Skultei (162B), kā arī Irbes šaurumā (114A) (1.2. attēls).

Tāpat kā AChE, arī detoksifikācijas enzīma glutaciona S-transferāzes (GST) aktivitātes sezonālās zemākās vērtības tika konstatētas novembra mēnesī. Izvērtējot gada vidējās vērtības, GES robežas tika pārsniegtas tikai stacijā pretim Daugavas grīvai (101A) (1.2. attēls).

Izvērtējot ekoloģisko kvalitāti pēc visu trīs biomarkšiem (GST, CAT, AChE) aktivitātes izmantojot integrēto biomarkšiem indeksu, visintensīvākā ietekme uz organismiem konstatēta Irbes šaurumā (114A), līča dienviddaļā pretim upju grīvām (167B, 101A, 163B) un Rīgas līča austrumkrastā, reģionā iepretim Skultei (160B, 162B) (1.3. attēls).

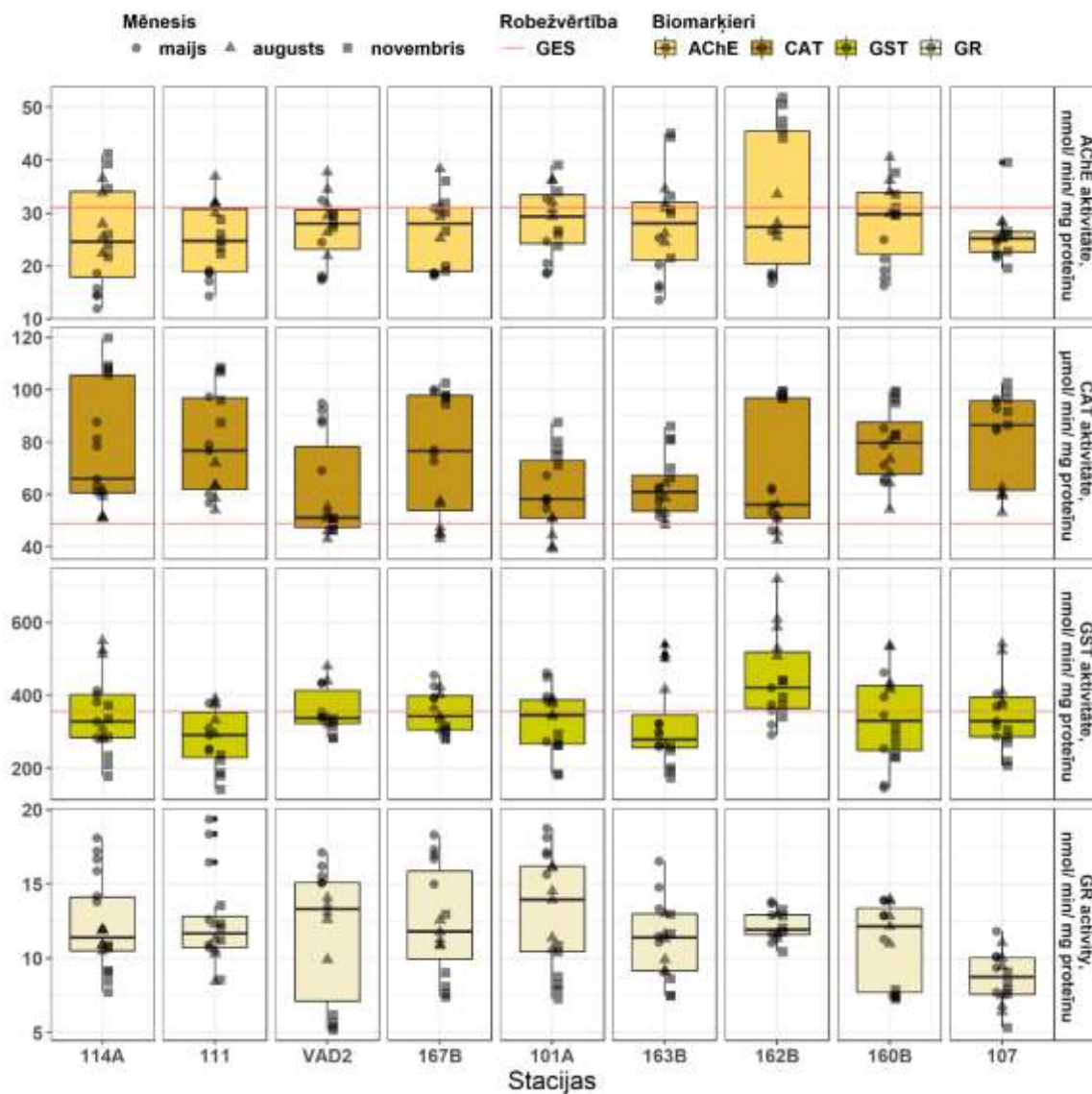


1.3. attēls. Integrētais biomarkšiem indekss Baltijas plakangliemenēs (*L. balthica*) 2020. gadā

2021. gadā gliemeņu paraugi tika ievākti maijā, augustā un novembra mēnešos. Jāatzīmē, ka papildus GST, AChE un CAT, tika uzsākta arī enzimatiskā biomarkšiem aktivitātes - glutaciona reduktāzes (GR) noteikšana gliemeņu organismā (1.4. attēls).

Salīdzinot ar 2021. gadu, sezonāli visaugstākās AChE vērtības tika konstatētas augustā un novembra mēnešos, savukārt zemākās – maijā (1.4. attēls). Jo lielāka AChE inhibācija, jo zemākas konstatētās vērtības, līdz ar to izvērtējot 2021. gadu, staciju vidējās vērtības bija zem GES sliekšņa, kas norāda uz pazeminātām vērtībām visās stacijās.

CAT enzīma aktivitātes vērtības 2021. gadā bija salīdzinoši augstākas visās stacijās, pārsniedzot 100 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteīnu (1.4. attēls). Gada vidējās vērtības pārsniedza GES robežvērtību visās stacijās.



1.4. attēls. GST, CAT un AChE aktivitāte Baltijas plakangliemenēs (*L. balthica*) 2021. gadā Rīgas līcī

Līdzīgi kā pārējiem biomarkieriem, arī GST aktivitāte 2021. gadā tika novērota augstāka salīdzinot ar 2020. gadu, visaugstākās vērtības uzrādot augusta mēnesī (1.4. attēls). Tomēr jāatzīmē, ka gada vidējās vērtības GES vērtību pārsniedza tikai vienā stacijā (162B), iepretim Skultei.

Savukārt GR aktivitātei 2021. gadā vērojamas sezonālas izmaiņas, ar augstākajām vērtībām maijā, bet zemākajām novembra mēnesī. Salīdzinot vidējās vērtības starp Rīgas līcī ievāktajām stacijām, zemāka aktivitāte novērota līča ziemeļdaļā (107.stacija).

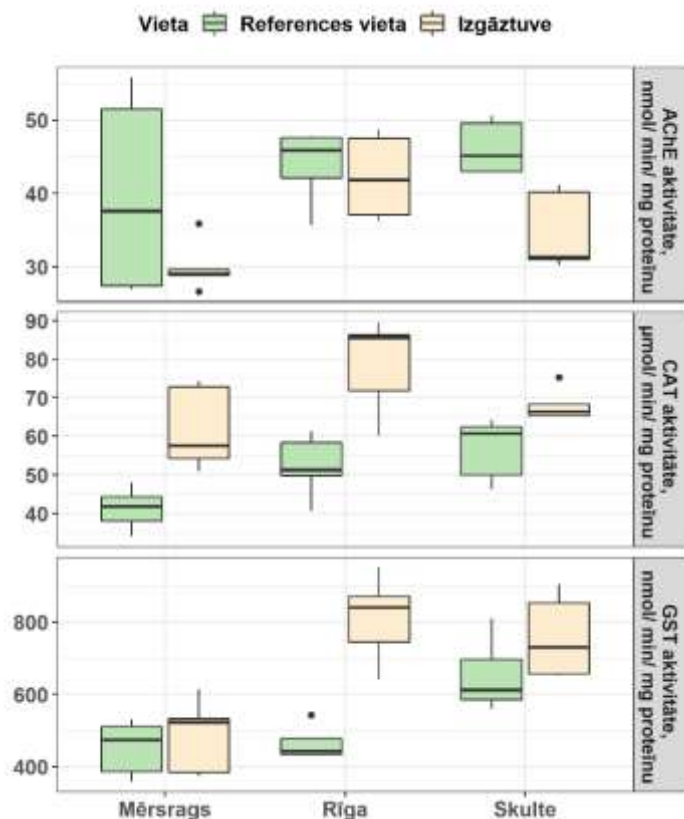
2. BIOMARĶIERU PĒTĪJUMI OSTU POLIGONOS

2020. gadā jūlija mēnesī tika ievākti gliemeņu paraugi biomarķieru aktivitātes noteikšanai gliemenēs 3 ostu sedimentu izgāztuvju poligonos – Mērsragā, Rīgā un Skultē (2.1. attēls). Katrā poligonā tika izvēlētas potenciāli piesārņotās vietas, kur aktīvi tiek transportēti sedimenti no ostu padziļināšanas darbiem un references vietas, kā arī noteikta enzimatisko biomarķieru GST, CAT un AChE aktivitāte gliemenēs.



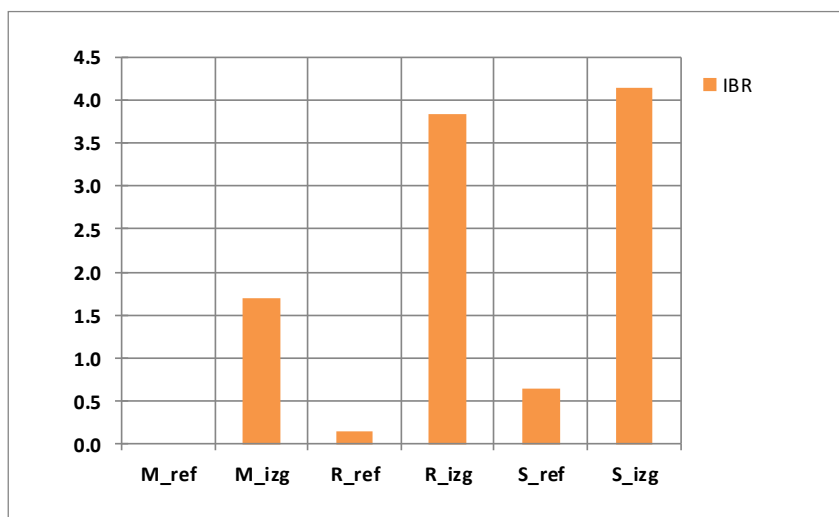
2.1. attēls. Paraugu ievākšanas stacijas Rīgas līča sedimentu izgāztuvju poligonos

Izvērtējot visus poligonus, tikai Skultes poligonā AChE enzīma inhibīcija tika konstatēta statistiski būtiski zemāka sedimentu izgāztuvju vietā nekā references stacijās (Kruskal-Wallis chi-squared, $p < 0.001$) (2.2. attēls). Savukārt CAT aktivitātes vērtības būtiski augstākas (Kruskal-Wallis chi-squared, $p < 0.001$) tika konstatētas visās izgāztuvēs salīdzinot ar references vietām. Enzīma GST aktivitāte būtiski augstāka tika konstatēta Rīgas poligonā stacijās salīdzinot ar references vietu (Kruskal-Wallis chi-squared, $p < 0.001$).



2.2. attēls. GST, CAT un AChE aktivitāte Baltijas plakangliemenēs (*L. balthica*) jūlija mēnesī ievāktajos ostu sedimentu izgāztuvju poligonos un izvēlētajās references vietās Rīgas līcī

Novērtējot visas trīs sedimentu vietas balstoties uz integrētā biomarķieru indeksa aprēķinu, redzams, ka ekoloģiskā kvalitāte balstoties uz organismu atbildes reakciju ir augstāka visās izgāztuvēs salīdzinot ar references vietām (2.3. attēls).



2.3. attēls. GST, CAT un AChE aktivitāte Baltijas plakangliemenēs (*L. balthica*) jūlija mēnesī ievāktajos ostu sedimentu izgāztuvju poligonos un izvēlētajās references vietās Rīgas līcī

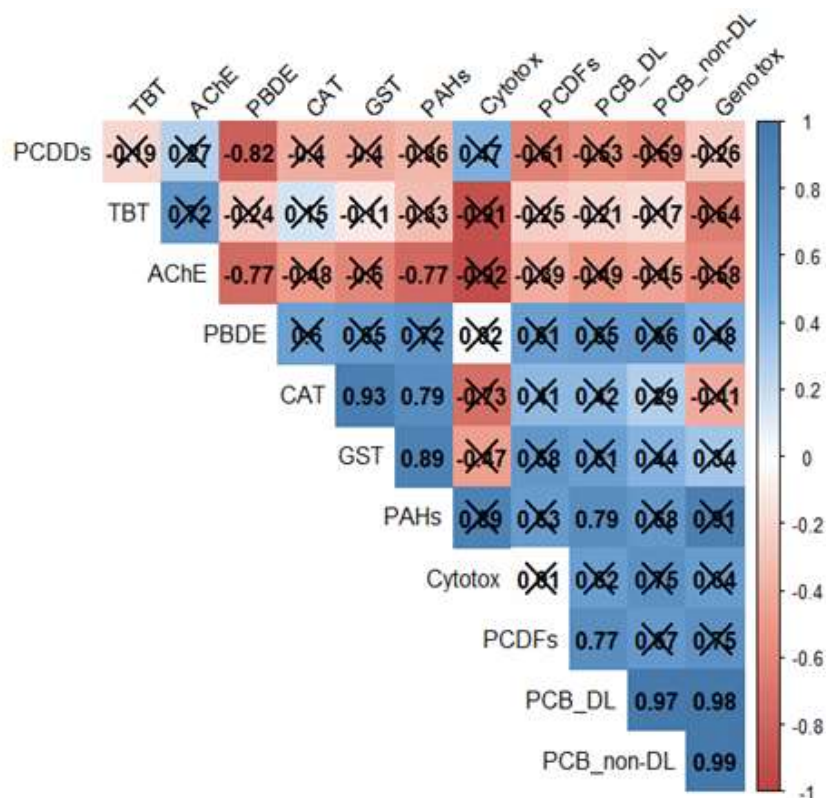
3. BIOMARĶIERU SAISTĪBA AR PIESĀRŅOTĀJIEM

2020. gada marta mēnesī 4 stacijās (167B, 101A, 163B, 162B) un 2018. gada novembrī tīs Rīgas līča stacijās (114A, 111 un 107) tika ievāktas plakangliemenes, kurās tika noteiktas prioritārās vielas (Perflourinēto organisko savienojumu (PFOS); polibromēto difenilēteru (PBDE); dioksīnu/furānu un dioksīniem līdzīgo polihlorēto bifenilu (PCB_DL); alvas organisko savienojumu; poliaromātisko ogļūdeņražū (PAH); Smago metālu koncentrācijas). Bez tam, paraugos (šajos organismos) tika noteikta enzimatisko biomarķieru (AChE, GST un CAT) aktivitāte un genotoksicitātes rādītāji.

Izvērtējot enzimatisko biomarķieru rādītājus gliemenēs saistībā ar piesārņojošajām vielām Rīgas līcī, konstatēts, ka acetilholīna esterāzes (AChE) inhibīcija ir lielāka stacijās ar augstākām polibromēto difenilēteru (PBDE) (-0.77 $p < 0.001$) un poliaromātisko ogļūdeņražū (PAH) (-0.77 $p < 0.001$) koncentrācijām gliemenēs (3.1. attēls).

Savukārt GST un CAT enzīmu aktivitāte ir augstāka pie augstākām PAH koncentrācijām gliemenēs (0.89 un 0.79 $p < 0.001$, respektīvi) (3.1. attēls).

Paraugi, no ievāktajām Baltijas plakangliemenēm tika nosūtīti arī geno-cytotoksicitātes biomarķieru noteikšanai. Konstatēts, ka genotoksicitāte vērojama augstāka stacijās ar augstāku dioksīniem līdzīgo polihlorēto bifenilu (DL-PCB) un citu polihlorēto bifenilu (PCB_nonDL) koncentrācijām gliemenēs.



3.1. attēls. Spīrmana rangū korelācija starp biomarķieru aktivitāti un prioritāro vielu koncentrācijām Baltijas plakangliemenēs Rīgas līcī

4. REPRODUKTĪVIE TRAUČĒJUMI UN PIESĀRŅOJUMA BIOLOĢISKIE EFEKTI SĀNPELDĒS



Monoporeia affinis



Pontogammarus robustoides

4.1. attēls. Sānpeldes *Monoporeia affinis* un *Pontogammarus robustoides*

Piesārņotāju bioloģisko efektu konstatēšana tika veikta Rīgas līcī mītošajām sānpeldēm - piekrastes svešzemju sugai *Pontogammarus robustoides* un dziļūdens sugai *Monoporeia affinis* (4.1. attēls), nosakot embriju attīstības novirzīšanos no normāltipa un enzimatiskos biomarķierus. Sānpelžu embriogēnēzes novirzes no normas ir vispārējs bioindikators, kas ir jutīgs pret dažāda veida piesārņojumu vidē (pesticīdi, rūpnieciskais piesārņojums utt.) un ir izmantojams ilgtermiņa hroniskas ietekmes konstatēšanā uz konkrētu ķīmikāliju vai piesārņojuma maisījumu, kā arī akūta piesārņojuma radīta efekta noteikšanu dabiskās vides apstākļos (Sundelin et. al., 2008). Metode ir iekļauta HELCOM CORESET galveno bioindikatoru sarakstā (HELCOM, 2013, 2015) un iegūtie pēdējo gadu dati sniedz iespēju domāt par references vērtību aprēķināšanu Rīgas līcim.

4.1. REPRODUKTĪVIE TRAUČĒJUMI RĪGAS LĪČA PIEKRASTES SĀNPELDĒS PONTOGAMMARUS ROBUSTOIDES

Rīgas līča piekrastes teritorijā tika ievāktas svešzemju sānpeldes *Pontogammarus robustoides* no astoņām stacijām – Saulkrastu (SA), Lilastes (LI), Vecāķu (VE), Bolderājas (BO), Lielupes (LIE), Dubultu (DU), Kauguru (KA) un Mērsragu (ME) pludmalēm (2.6. attēls). Reprodukcijas kvalitātes konstatēšanai tika atlasītas reprodiktīvas mātītes un pārējiem organismiem tika veiktas enzimatisko biomarķieru analīzes.



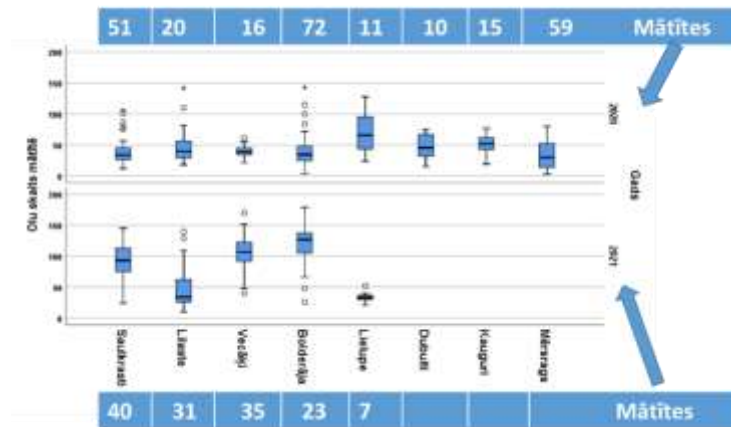
4.2. attēls. Svešzemju sūnelpedes *Pontogammarus robustoides* Rīgas līča piekrastē (2020. un 2021. gadā)

Apsekojot Rīgas līča piekrasti, divu gadu periodā laboratorijā tika kopā analizētas 508 reproduktīvas *P. robustoides* mātītes un 27617 embrijiem noteikta to attīstības kvalitāte. Pēc iegūtajiem datiem tika aprēķinātas provizoriskās robežvērtības fona līmenim piekrastes teritorijai labas vides kvalitātes noteikšanai pēc reproduktīvajiem traucējumiem, izmantojot potenciāli neietekmētu rajonu stacijas (4.1. tabula).

4.1. tabula. Provizoriskās robežvērtības *P. robustoides* labas vides kvalitātei Rīgas līcim (2020 un 2021. gada rezultāti)

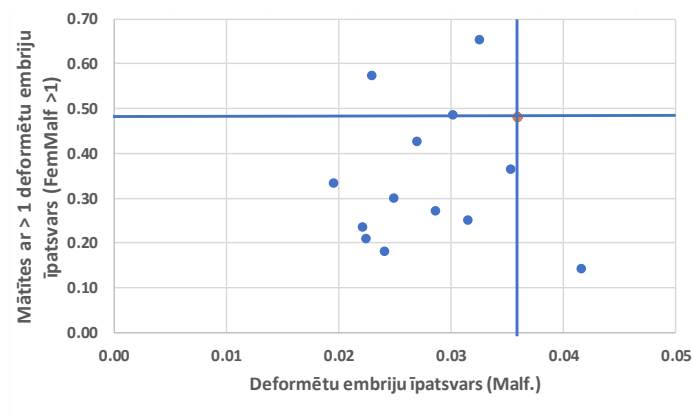
Baseins	Novērtēšanas kritērijs	Vidējā vērtība	Fona līmenis (BAC)	Paaugstināts līmenis (EAC)
Rīgas līča piekrastes daļa	Deformētu embriju īpatsvars (Malf.)	0.026	0.036	>0.036
	Mātītes ar > 1 deformētu embriju īpatsvars (FemMalf >1)	0.34	0.48	>0.48

Apsekotajās stacijās vasaras sākumā (jūnijā) tika iegūts būtiski atšķirīgs vidējais olu skaits mātītē un reproduktīvu mātīšu skaits no 7 līdz 72 (4.3. attēls), kurām tika veikta embriju attīstības analīze, lai klasificētu vides kvalitāti, kurā organisms dzīvojis.



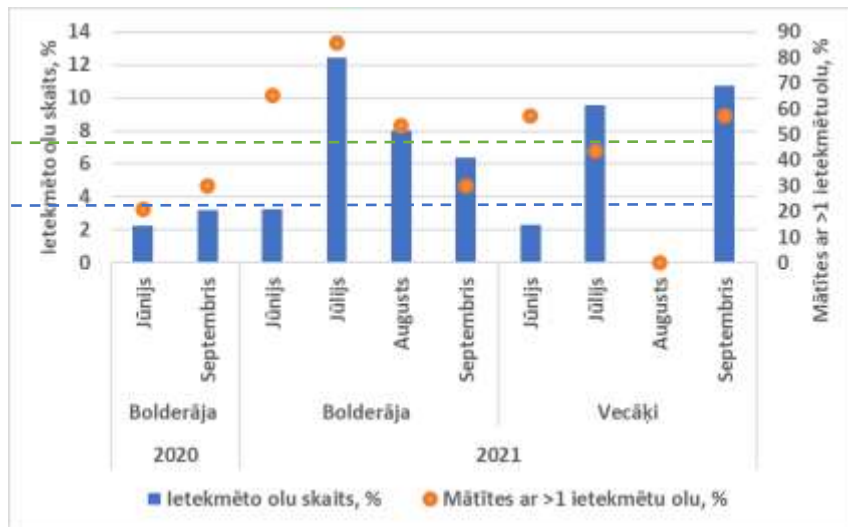
4.3. attēls. Embriju skaits reprodūktīvās mātītēs un reprodūktīvo mātīšu skaits (jūnijā)

Pēc provizoriskajām robežvērtībām *P. robustoides* uzrāda labu vides kvalitāti apsektotajās Rīgas līča piekrastes stacijās 2020. un 2021. gadā, nepārsniedzot abu rādītāju robežvērtību vienlaicīgi (4.4. attēls).

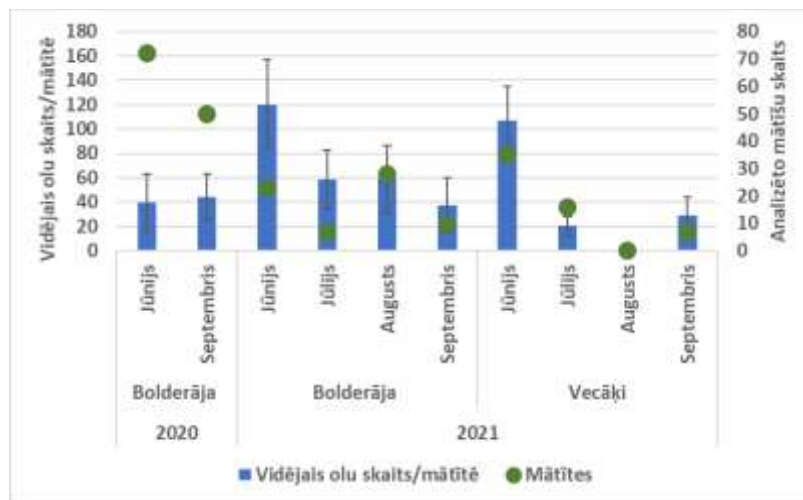


4.4. attēls. Rīgas līča piekrastes sedimentu kvalitātes novērtējums pēc *P. robustoides* reprodūktīvajiem traucējumiem – labs vides stāvoklis, ja gan deformētu embriju īpatsvars (Malf), gan mātīšu proporcija ar vairāk nekā vienu deformētu embriju (FemMalf) ir zemāka par to attiecīgajām robežvērtībām; attiecīgi <0.036 un <0.48

Papildus pētījumā 2021. gadā divas stacijas Bolderāja un Vecāķi (Daugavas ietekas ietekme) tika apsektas četrus mēnešus – jūnijā, jūlijā, augustā un septembrī, novērtējot sezonālās ietekmes uz reprodukcijas kvalitāti. Iegūtie rezultāti liecina, ka reprodukcijas kvalitāte *P. robustoides* būtiski pasliktinās vasaras vidū un rudens sākumā, kad iespējams tiek novērots jau nākamais reprodukcijas cikls, kurā tiek konstatēts arī mazāks vidējais embriju skaits mātītē (4.5. attēls un 4.6. attēls).



4.5. attēls. *P. robustoides* reprodukcijas kvalitāte (2021. gads) atkarībā no reprodktīvu mātīšu ievākšanas laika



4.6. attēls. *P. robustoides* reprodktīvo mātīšu un vidējais olu skaits mātītē atkarībā no organisma ievākšanas laika

P. robustoides sastopamība, reprodukcijas kvantitāte un kvalitāte ir atšķirīga gan starp apsekotajām Rīgas līča piekrastes vietām, gan laika perioda. Neskatoties uz atšķirībām *P. robustoides* embriju kvalitātē atkarībā no sezonas, tiek secināts, ka labākais laiks piekrastes vides kvalitātes novērtējumam būtu tomēr vasaras sākums, kad tiek konstatēts augstākais embriju skaits mātītē. Vasaras vidū un rudenī reprodukcijas kvalitātes izmaiņas negatīvi iespējams var ietekmēt tieši dažādi citi faktori, kā piemēram lauksaimnieciskā darbība, zilaļģu masveida attīstība vai cilvēku atpūtas atstātais piesārņojums, bet šim skaidrojumam nepieciešami papildus pētījumi.

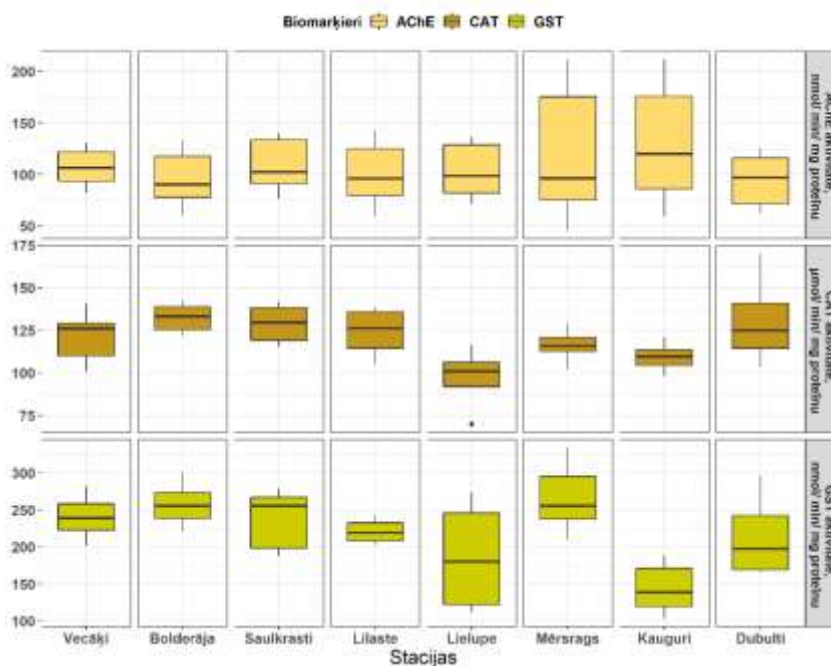
4.2. ENZIMĀTISKO BIOMARĶIERU AKTIVĪTĀTE P. ROBUSTOIDES

Rīgas līča piekrastē sānpeldes *P. robustoides* tika ievāktas 2020. un 2021. gada jūnijā un papildus reprodukcijas kvalitātei tika pirmo reizi noteikta enzimatisko biomarķieru (AChE, GST un GST) aktivitāte šajos organismos.

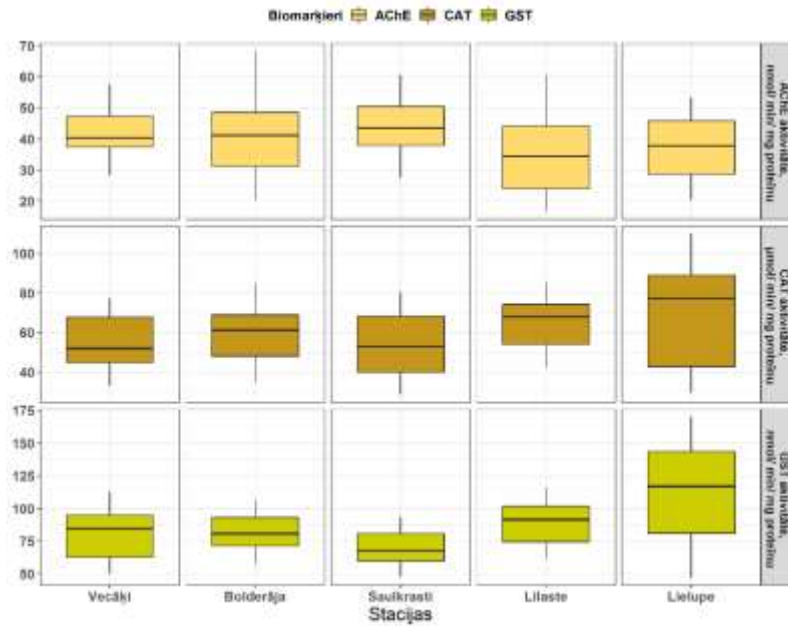
Iegūtie pirmie dati liecina, ka neirotoksiskā stresa biomarķieris AChE neuzrāda būtiskas atšķirības starp stacijām gan 2020. gada, gan 2021. gada paraugos (4.7. un 4.8. attēls). Jāpiemin, ka atšķiras biomarķieru aktivitāte starp gadiem (2020. gadā vidēji AChE 107,8 nmol/min/mg/proteīna un 2021. gadā 40,3 nmol/min/mg/proteīna). Tas skaidrojams ar to, ka 2020. gadā analīzei tika izmantots viens organisms, savukārt 2021. gadā attīstīta un pielietota cita metode, nosakot enzimatisko biomarķieru aktivitāti katrai reprodutīvai mātītei, lai noteiktu sakarību ar reprodukcijas kvalitāti (dati ir apstrādes procesā). Tāpēc tālāk biomarķieru aktivitātes tendences tiek apskatītas atsevišķi pa gadiem.

Oksidatīvā stresa biomarķieru aktivitātei CAT un GST tika novērota līdzīga atšķirība starp gadiem (4.8. un 4.9. attēls). Zemākās CAT un GST vērtības tika konstatētas Lielupes pludmalē ievāktajiem organismiem 2020. gadā, savukārt 2021. gadā tika novērotas augstākā aktivitāte. Vidēji Rīgas līča piekrastes sānpeldēs tika konstatēta CAT aktivitāte 2020. gadā 121,7 μ mol/min/mg/proteīna un 2022. gadā 60,6 μ mol/min/mg/proteīna, bet GST aktivitāte 2020. gadā 226,5 nmol/min/mg/proteīna un 2021. gadā 86,2 nmol/min/mg/proteīna.

Pirmie iegūtie rezultāti dod iespēju izvērtēt labākās metodes aprobācijas iespējas, kā arī rezultāti liecina par enzimatisko biomarķieru konstatēšanas nepieciešamību labas vides kvalitātes robežu izstrādei.



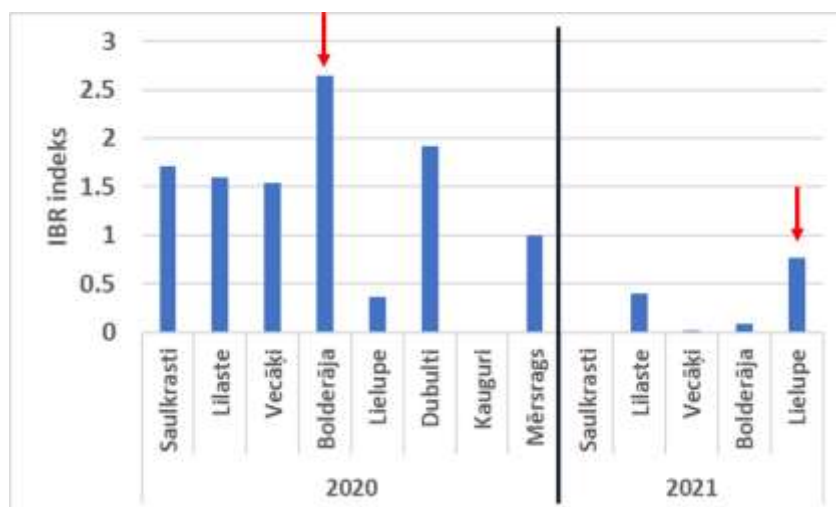
4.7. attēls. Enzimātisko biomarķieru AChE, CAT un GST aktivitāte sānpeldēs *P. robustoides*, kuras ievāktas 2020. gada jūnijā Rīgas līča piekrastes pludmalēs



4.8. attēls. Enzimātisko biomarķieru AChE, CAT un GST aktivitāte sānpeldēs *P. robustoides*, kuras ievāktas 2021. gada jūnijā Rīgas līča piekrastes pludmalēs

Izvērtējot ekoloģisko kvalitāti, izmantojot integrēto biomarķieru indeksu (4.9. attēls), pēc visu trīs biomarķieru (GST, CAT, AChE) aktivitātes Rīgas līča piekrastes rajonos ievāktās sānpeldēs *P. robustoides*, visintensīvākā ietekme uz organismiem konstatēta upju grīvu rajonos - 2020. gadā Bolderājas pludmalē un 2021. gadā Lielupes pludmalē. Iegūtie biomarķieru rezultāti liecina, ka piesārņojošo vielu avots Rīgas līcī ir upju grīvas.

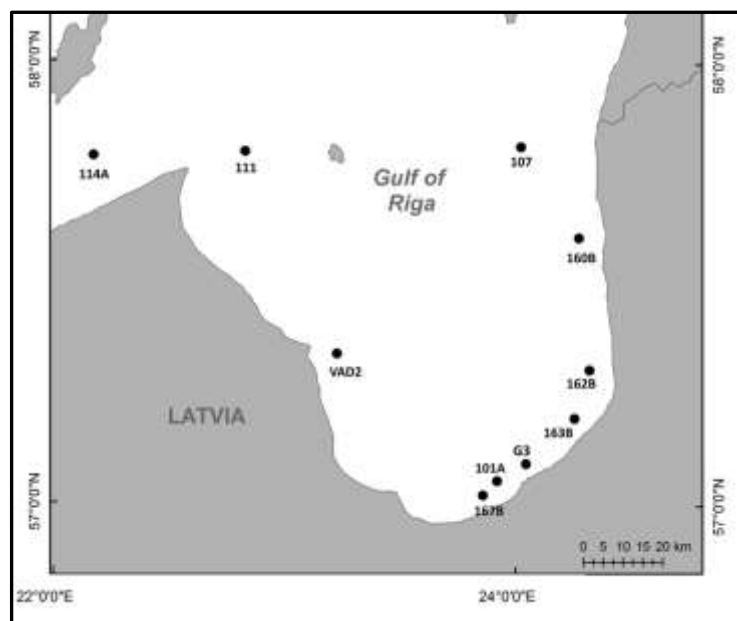
Tai pašā laikā, netika konstatēta savstarpēja korelācija starp vispārējā stresa biomarķieriem – reprodukcijas kvalitāti (malf, %) un enzimātisko biomarķieru aktivitāti, izņemot rādītājam mātīte ar >1 ietekmētu olu, kuram tika konstatēta negatīva korelācija ar CAT un GST.



4.9. attēls. Integrētais biomarķieru indekss svešzemju sānpeldei *P. robustoides*, kuras ievāktas Rīgas līča piekrastes sedimentos

4.3. REPRODUKTĪVE TRAUCĒJUMI RĪGAS LĪČA DZILŪDENS SĀNPELDĒS MONOPOREIA AFFINIS

Rīgas līča teritorijā tika ievāktas sānpeldes *Monoporeia affinis* no visām deviņām stacijām – 2020. gadā un vienas stacijas G3 – 2021. gadā (4.10. attēls). Reprodukcijas kvalitātes konstatēšanai tika atlasītas reprodutīvās mātītes un noteikts reprodutīvo traucējumu biomarķiera rādītājs – sānpelžu embriju deformācijas, bet pārējiem organismiem tika veiktas enzimatisko biomarķieru analīzes.



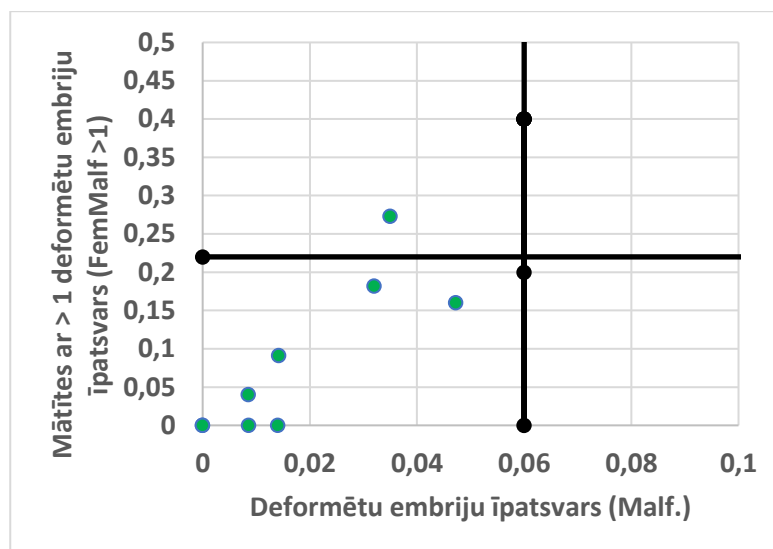
4.10. attēls. *Dzilūdens sānpeldes Monoporeia affinis ievākšanas stacijas Rīgas līcī (2020. un 2021. gadā)*

Apsēkojot Rīgas līci 2020. gadā un 2021. gadā laboratorijā tika kopā analizētas 306 reprodutīvās *M. affinis* mātītes un 6595 embrijiem to attīstības kvalitāte. Pēc iegūtajiem datiem tika aprēķinātas provizoriskās robežvērtības fona līmenim Rīgas līča teritorijai labas vides kvalitātes noteikšanai pēc reprodutīvajiem traucējumiem, izmantojot potenciāli neietekmētu rajonu stacijas (4.2. tabula).

4.2. tabula. *Primārās robežvērtības M. affinis, norādot uz labu vides kvalitāti Rīgas līcim (2020 un 2021. gada rezultāti)*

Baseins	Novērtēšanas kritērijs	Vidējā vērtība	Fona līmenis (BAC)	Paaugstināts līmenis (EAC)
Rīgas līča dziļūdens daļa (<i>M. affinis</i>)	Deformētu embriju īpatsvars (Malf.)	0.04	0.06	>0.06
	Mātītes ar > 1 deformētu embriju īpatsvars (FemMalf >1)	0.14	0.22	>0.22

Reproduktīvo *M. affinis* mātīšu skaits (7 – 50), kas tika ievākts stacijās lai klasificētu vides kvalitāti, kurā organisms dzīvojis pēc embriju attīstības, bija atšķirīgs. Izvērtējot *M. affinis* embriju kvalitāti, 2020. – 2021. gada periodam, nevienā stacijā netika konstatēts noteiktā fona robežvērtības pārsniegums (4.11. attēls).



4.11. attēls. Rīgas līča sedimentu kvalitātes novērtējums pēc *M. affinis* reproduktīvajiem traucējumiem – labs vides stāvoklis, ja gan deformētu embriju īpatsvars (Malf), gan mātīšu proporcija ar vairāk nekā vienu deformētu embriju (FemMalf) ir zemāka par to attiecīgajām robežvērtībām; attiecīgi <0,06 un <0,22

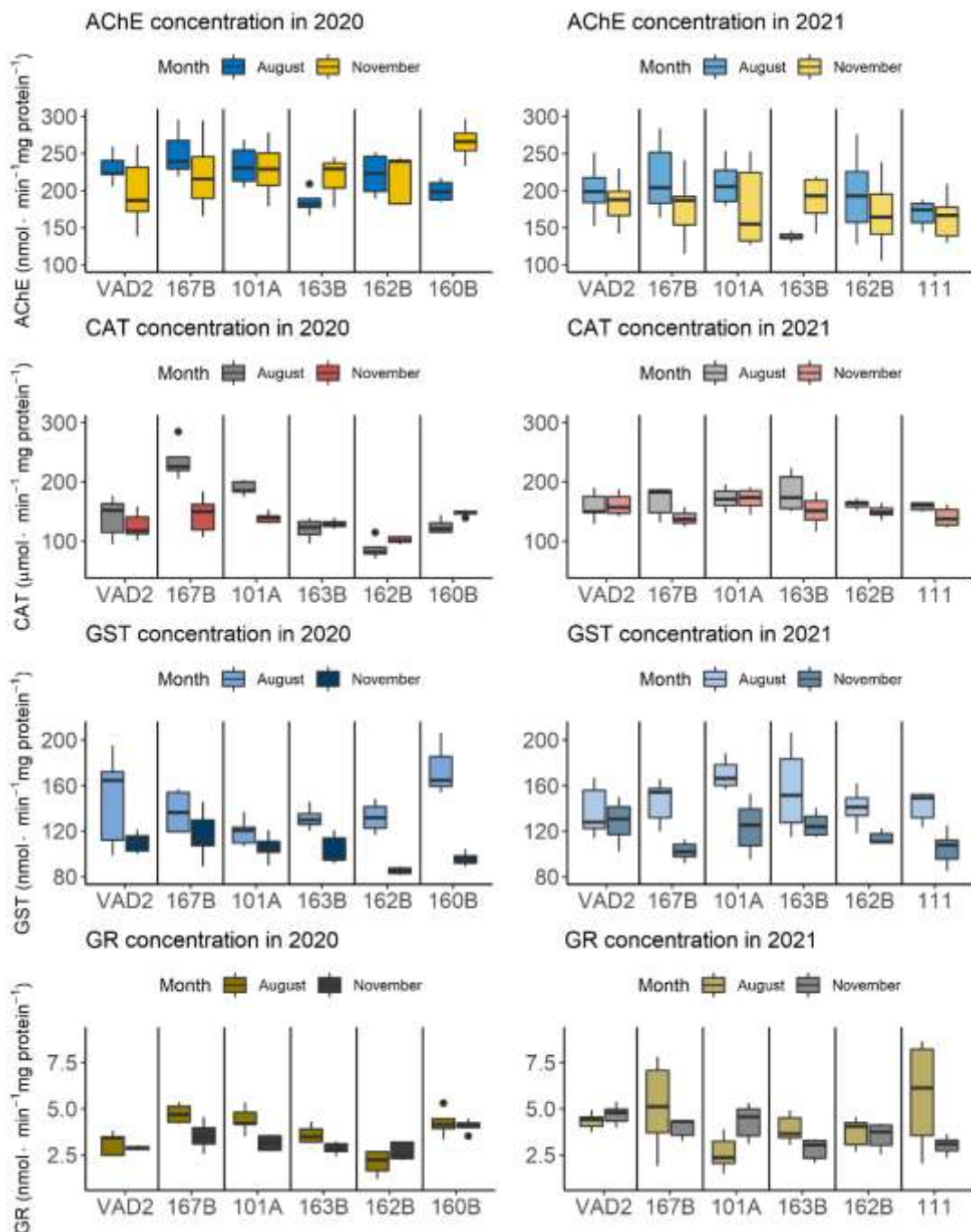
Apskatot labas vides kvalitātes robežas (GES) Rīgas līča stacijām, var secināt, ka 2020. un 2021. gadā pēc deformēto embriju klātbūtnes mātītē vides kvalitāte ir fona līmenī, norādot uz nepārsniegtu labas vides kvalitātes robežu. Savukārt, jau 2022. gadā veiktais vides kvalitātes novērtējums norāda uz pārsvarā pārsniegtu GES robežu. Līdz ar to iegūtie rezultāti liecina par nepieciešamību ierosināt pārrēķināt HELCOM jaunas fona robežvērtības, ņemot vērā vismaz divu gadu perioda rezultātus Rīgas līcim.

4.4. ENZIMĀTISKO BIOMARKĪERU AKTIVITĀTE *M. AFFINIS*

Rīgas līcī sānpeldes *M. Affinis*, kurās pirmo reizi tika noteiktas enzimatisko biomarkīeru (AChE, GST, GST un GR) aktivitāte, tika ievāktas 2020. un 2021. gada augustā un novembrī (4.12. attēls). Kopumā tika novērota tendence novembra mēnesī ievāktajām sānpeldēm konstatēt zemāku enzimatisko biomarkīeru aktivitāti, salīdzinājumā ar augustu (attiecīgi AChE zemāku inhibīciju), iespējams norādot uz organismu miera perioda iestāšanos un nobriešanu reprodukcijai novembrī (4.12. attēls).

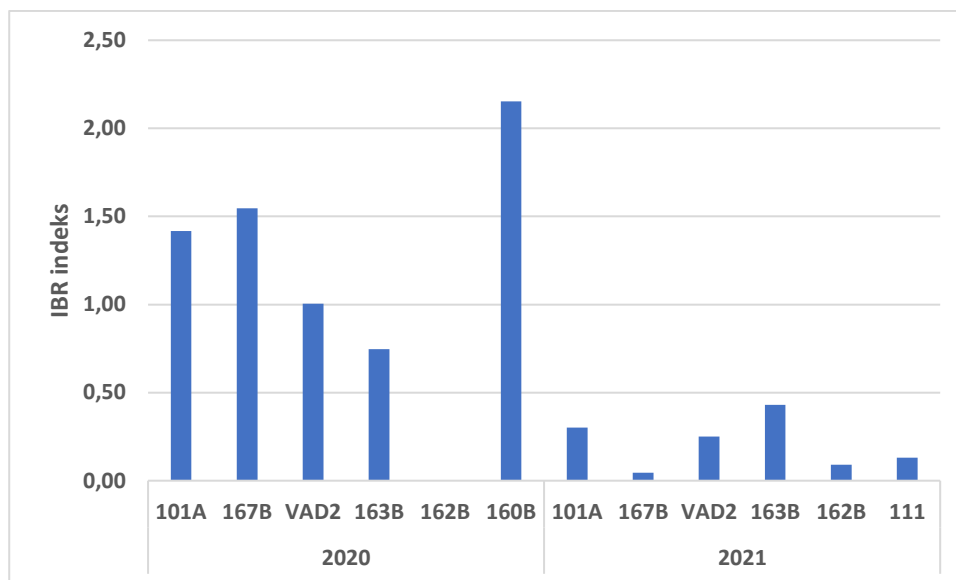
Būtiskas atšķirības starp sezonām (augusts un novembris) tika konstatētas gan 2020. gada, gan 2021. gada GST aktivitātei (4.12. attēls), savukārt pārējiem biomarkīeriem atsevišķās stacijās tika konstatētas būtiskas atšķirības starp augustā un novembrī konstatēto biomarkīeru aktivitāti. Vidēji Rīgas līcī ievāktajās sānpeldēs tika konstatētas oksidatīvā stresa biomarkīeru aktivitāte - CAT augustā un novembrī 2020. gadā attiecīgi 149/129 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}/\text{proteīna}$ un 2021. gadā 166/158

$\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}/\text{proteīna}$, GST aktivitāte 2020. gadā $142/100 \text{ nmol}/\text{min}/\text{mg}/\text{proteīna}$ un 2021. gadā $148/118 \text{ nmol}/\text{min}/\text{mg}/\text{proteīna}$, bet GR 2020. gadā $3,83/3,13 \text{ nmol}/\text{min}/\text{mg}/\text{proteīna}$ un 2021. gadā $8,6/5,6 \text{ nmol}/\text{min}/\text{mg}/\text{proteīna}$. Savukārt AChE inhibīcija tika konstatēta 2020. gadā $222/225 \text{ nmol}/\text{min}/\text{mg}/\text{proteīna}$ un 2021. gadā $188/175 \text{ nmol}/\text{min}/\text{mg}/\text{proteīna}$ (18. attēls). Iegūtie dati sniedz priekšstatu par biomarķieru aktivitātes vērtībām sānpeldēs *M. affinis* un turpmāk būtu nepieciešams aprēķināt GES robežas sānpeldēm vides kvalitātes novērtēšanai.



4.12. attēls. Enzimātisko biomarķieru AChE, CAT, GST un GR aktivitāte sānpeldēs *M. affinis*, kuras ievāktas 2020. un 2021. gada augusta un novembra mēnesī Rīgas līča stacijās

Izvērtējot ekoloģisko kvalitāti, izmantojot integrēto biomarkieru indeksu (4.13. attēls), pēc visu četru biomarkieru (GST, CAT, AChE un GR) aktivitātes Rīgas līcī ievāktās sūnēdēs *M. affinis* visintensīvākā ietekme uz organismiem konstatēta 2020. gadā līča austrumpiekrastes (160B) stacijā un pārejas ūdeņu rajonā pretī Daugavai un Lielupei. Savukārt, 2021. gadā iegūtie biomarkieru rezultāti liecina lielāku ietekmi pārejas ūdeņu rajona stacijās.



4.13. attēls. Integrētais biomarkieru indekss sūnēdei *M. affinis*, kuras ievāktas Rīgas līča sedimentos

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

HELCOM, 2013. HELCOM core indicators: Final report of the HELCOM CORESET project. Balt. Sea Environ. Proc. No. 136.

HELCOM, 2015 (unpublished). Summary of core indicator GESboundaries. Baltic Marine Environment Protection Commission. Working Group on the State of the Environment and Nature Conservation, Helsinki, Finland, 11-15 May, 2015.

Sundelin, B., Eriksson Wiklund, A-K., and Ford, A.T. 2008. Biological effects of contaminants: the use of embryo aberrations in amphipod crustaceans for measuring effects of environmental stressors. ICES Techniques in Marine Environmental Sciences No. 41. 42 pp.