

TARTU ÜLIKOOL
ÖKOLOOGIA JA MAATEADUSTE INSTITUUT
ZOOLOOGIA OSAKOND
LOOMAÖKOLOOGIA ÕPPETOOL

Liis Laul

PARASIITIDE MÕJU REOSTUNUD KESKKONNAS
ELAVATELE PEREMEESTELE

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Tuul Sepp PhD

TARTU 2022

Infoleht

Parasiitide ja reoainete koosmõju uurimine peremeestel on oluline, et mõista kahe stressori vahelisi seoseid ning edasist mõju peremeestele. Parasiitide ja reoainete mõju peremehele võib olla vastastikku võimenduv, mis tähendab olukorda, kus parasiidid põhjustavad reoainete kontsentratsioonide tõusu peremehes või reoainete kõrged kontsentratsioonid soodustavad peremeestel parasiitidesse nakatumist. Parasiidid ja reoained võivad aga vastastikku üksteise mõju peremehele leevendada, kui parasiidid vähendavad reoainete kontsentratsioone peremeestes, mis on tingitud reoainete akumulatsioonist parasiitides, või kui reoained mõjutavad parasiite tugevamalt kui peremeest. Selle töö eesmärk on selgitada reostuse ja parasiitide vahelisi seoseid peremeestes ning püüda leida mustreid, sõltuvalt parasiitide ja peremeeste taksonoomiast ja ökoloogiast. Töö tulemusena selgus, et parasiitide ja reoainete vastasmõju sõltub nii reoaine tüübist, peremehe füsioloogiast ja ökoloogiast kui ka parasiitluse vormist. Sõltuvalt nendest tingimustest võivad reoained mõnikord peremeesliigi parasiidikoormust vähendada, või võib parasiit vähendada reoainete taset peremehe kudedes. Samas esineb olukordi, kus parasiidid ja reoained vähendavad vastastikku peremehe vastupanuvõimet nendele kahele olulisele ökoloogilisele stressorile.

Märksõnad: parasiidid, reostus, konditsioon

Research on parasite and pollution interaction in hosts is important for understanding interactions between the two stressors and their combined impact on hosts. Parasites and pollutants can have an amplifying negative health effects on host, when parasites cause a rise in pollutant concentrations in hosts, or when high concentrations of pollutants promote parasite infestation in hosts. Parasites and pollutants can mutually reduce their impact on host health if parasites reduce pollutant concentrations, which is caused by the accumulation of pollutants from surrounding host tissues into parasites, or when pollutants affect parasites more strongly than hosts. The aim of this paper is to examine the interactions between pollutants and parasites in hosts and to try to find patterns depending on parasite and host taxonomy and ecology. As a result I found that interaction between parasites and pollutants depends on pollutant group, host physiology and ecology as well as form of parasitism. Depending on these conditions the pollutants can sometimes reduce parasite load in hosts, or the parasite can reduce pollutant load in host tissues. There are also circumstances where parasites and pollutants mutually decrease hosts' resistance to these two important ecological stressors.

Keywords: parasites, pollution, condition

SISUKORD

Infoleht	2
Sissejuhatus	4
1. Reoained.....	6
2. Parasiidid kui stressorid	10
3. Peremehe ökoloogia	13
3.1. Maismaal elavate peremeeste parasiitide ja reoainete seos	13
3.2. Poolveelise eluviisiga peremeeste parasiitide ja reoainete seos	14
3.2.1. Imetajad.....	14
3.2.2. Linnud	15
3.2.3. Kahepaiksed	18
3.3. Veos elavate peremeeste parasiitide ja reoainete seos	19
3.3.1. Imetajad.....	19
3.3.2. Kalad	20
3.3.3. Selgrootud	25
4. Arutelu ja järeldused	27
Kokkuvõte	33
Summary.....	34
Tänuavaldus.....	35
Kasutatud kirjandus	36
Lisa 1. Ülevaattetabel reostuse ja parasiitide seostest peremeesorganismides.....	44
Lihtlitsents	48

Sissejuhatus

Looduslikele elupaikadele ja seal elavatele loomadele avaldab inimese põhjustatud keskkonnareostus aina enam mõju. Antropogeenses ehk inimese muudetud keskkonnas mõjutavad loomade elujõulisust erinevad stressiallikad. Mõned stressiallikad on looduslikud (nt parasiidid, kiskjad, konkurendid), teised aga antropogeenset päritolu (nt reostus, inimehäiringud). Loomaökoloogilisest vaatevinklist on oluline pöörata tähelepanu looduslike ja antropogeensete tegurite koosmõjule (Acevedo-Whitehouse & Duffus, 2009). Üheks selliseks koosmõjaks on parasiidid ja reostus peremeesorganismidel, mis võib ohustada nende tervist või kohanemis- ja kohastumisvõimet muutuvates keskkonnaoludes. Loodusliku mitmekesisuse säilitamise ja ökosüsteemide efektiivse majandamise vaatepunktist on oluline mõista mitme stressiallika koosmõju (Orr *et al.*, 2020). Kui reeglina eeldatakse, et erinevate stressiallikate koosmõju on organismidele negatiivne ja mõnel juhul isegi üksteist võimendav, siis parasiitide puhul võib oletada mitmekesisemaid seoseid. Ka parasiitide puhul on tegu elusorganismidega, keda inimtegevus, sh reostus, mõjutab. Seetõttu on oluline mõista erinevate reoainete ja erinevate parasiitsete eluvormide ühismõju peremeesorganismi seisukohalt. Tegurid, mis ühismõju võivad kujundada, võivad olla näiteks erinevad reoainegrupid, parasiitide reoainete akumulatsioonivõime ehk füsioloogia ja nende esinemiskoht peremeesorganismis (Blonar *et al.*, 2009).

Viimaste aastakümnete jooksul on intensiivistunud parasiitide ja reostuse koosmõju uurimine peremeesorganismidel, mille üheks eraldiseisvaks uurimissuunaks on parasiidid kui potentsiaalsed reoainete akumulereijad. Reoainete akumulatsioonitulemusena parasiidis võib peremehe kudede reoainesaldus langeda. Paljud uuringud näitavad, et teatud parasiitidel on kõrge reoainete akumulatsioonivõime, mistõttu on neid soovitatud kasutada ka keskkonna seisundi indikaatoritena (Sures *et al.*, 2017).

Parasiitide ja reoainete kui stressorite samaaegse esinemise uurimine peremeesorganismidel on oluline, et selgitada kahe stressori koosmõju loomade tervisele ja nende edasisele toimetulekule muutunud või muutuvates keskkonnatingimustes sõltuvalt sellest, kes on peremeesorganism, mis reoainegrupiga ning millise parasiidiga on tegu. Oluline on leida erinevate parasiitide ja reoainerühmade peamised seosed, et hiljem saaks neid tulemusi rakendada vabalt elavate loomade kaitseks, näiteks kasutades parasiite reostuse bioindikaatoritena või reostuse mõju paremaks etteennustamiseks konkreetsete peremeheparasiidi süsteemide korral. Autori uurimistöö eesmärk on selgitada mustreid

keskkonnareostuse ja peremeesorganismide parasiidikoormuse vahel: millisel juhul reostus vähendab või suurendab peremeesorganismide parasiidikoormust; millised parasiidid suurendavad peremeeste reoainekoormust; millistel parasiitidel on võime keskkonnamürke endasse akumulierida ja sellega vähendada peremeeste stressikoormust.

Autori uurimistöö struktuur põhineb erinevatel parasiitide ja reostuse vahelistel suhetel sõltuvalt reoaine tüübist, parasiidi eluvormist ja peremehe ökoloogiast. Esimeses peatükis tegi töö autor lühiülevaate reoainegruppidest, mida on käsitletud autori loetud artiklites. Teises peatükis kirjutas autor erinevate parasiitide füsioloogilistest eripäradest. Kolmandas peatükis on juttu parasiitide ja reoainete vahelistest seostest sõltuvalt peremehe ökoloogiast. Neljandas peatükis arutles töö autor sisulistes peatükkides olevate tulemuste üle ning tegi järeldusi, kus on toodud peamised parasiitide ja reoainete koosmõjud peremeestele. Uurimistöö lisas on tabel, kus töö autor tõi välja loetud teadusartiklid peremeeste parasiitide ja reoainete vaheliste seoste peamistest tulemustest.

1. Reoained

Reoained satuvad keskkonda peamiselt inimtegevuse tulemusena. Reoained on kas füüsilised, keemilised või bioloogilised ained, millel on ebasoodne mõju õhule, veele, mullale või elusorganismidele (D'Surney & Smith, 2005). Reoainete kontsentratsioon on inimtegevusest tingituna looduslikust tasemest oluliselt kõrgem, millest tuleneb selle kahjustav mõju keskkonnale või keskkonnaelementidele (D'Surney & Smith, 2005). Reoained võivad mõjutada nii peremehi kui ka parasiite. Ökosüsteemidele avaldavad reoainetest kõige tugevamat mõju raskmetallid, pestitsiidid, farmatseutilised saasteained, polüklooritud bifeniüülid (*polychlorinated biphenyls*, PCB) ning aromaatsed süsivesinikud (*polycyclic aromatic hydrocarbons*, PAH) (Nachev & Sures, 2016).

Erinevate reoainerühmade mõju peremeestele võib olla erinev. Näiteks raskmetallid mõjuvad negatiivselt loomade mitokondrite normaalsele funktsioneerimisele, põhjustades loomadel kasvu- ja arenguhäireid, anormaalseid füsioloogilisi ja biokeemilisi muutusi, geeniekspressioonimuutusi, muutunud käitumist ja metabolismi (Sun *et al.*, 2022). Raskmetallid kahjustavad loomade mitokondrite membraani ning tekitavad suures koguses hapnikuradikaale, mis põhjustavad loomade mitokondrites oksüdatiivset stressi (Sun *et al.*, 2022). Orgaanilised saasteained satuvad maismaa- ja veeökosüsteemidesse peamiselt põllumajanduse ja tööstuse kaudu ning need püsivad keskkonnas kaua aega, sest need ei lagune (Aravind kumar *et al.*, 2022). Orgaanilised ained on toksilised ning need bioakumuleeruvad loomades (Aravind kumar *et al.*, 2022). Kuna orgaanilised reoained on lipofiilsed ehk rasvlahustuvad, akumulerevad need erinevates peremehe kudedes (Balmer *et al.*, 2018). Lisaks võivad need ained negatiivselt mõjutada loomade reproduktiiv- ja endokriinsüsteemi ning immuunsust (Balmer *et al.*, 2018). Mikroplastik on samuti levinud reoaine nii maismaal kui ka veeökosüsteemides ja see laguneb aeglaselt (Prokić *et al.*, 2021). Paljud ökotoksikoloogilised uuringud näitavad seda, et mikroplastik võib loomadel põhjustada reproduktiivsüsteemi kahjustumist, oksüdatiivset stressi, organikahjustusi ning üldist tervise nõrgenemist (Prokić *et al.*, 2021).

Herbitsiidid moodustavad kõige suurema osa pestitsiididest ning need võivad samuti negatiivselt mõjuda loomade tervisele. Näiteks vees elavad selgrootud võivad olla herbitsiidide suhtes kaitsetud, kuna nende reoainete kontsentratsioon vees on kõrge (Yang *et al.*, 2021). Kalad akumulerevad herbitsiide, mis võib neil põhjustada reproduktiivsüsteemi kahjustumist ning populatsioonide kahanemist (Yang *et al.*, 2021). Ka

farmatseutilised saasteained on viimasel ajal eelkõige veelises keskkonnas levinud reoained. Need reoained võivad kaladel esile kutsuda muutusi käitumises, toitumises ja reproduktiivsüsteemis (Pravdová *et al.*, 2021). Lisaks on veorganismid farmaatsitööstuse reoainetele pidevalt eksponeeritud, mis tõenäoliselt põhjustab neil pikaajalisi bioloogilisi mõjusid (Pravdová *et al.*, 2021).

Peamine reoainegrupp, mis mõjutab negatiivselt lisaks peremeestele ka parasiite, on raskmetallid, kusjuures kõige tugevam on raskmetallide mõju näidatud olema kidakärssussidel (*Acanthocephala*) ja imiussidel (*Digenea*) (Blonar *et al.*, 2009). Selle põhjuseks võib olla see, et nad akumulatsioonivõimega raskmetalle kogu kehapinnaga, mistõttu raskmetallid kogunevad nende kehasse suures koguses. See võib tõenäoliselt omakorda kurnata endoparasiitide füsioloogilisi protsesse. Mõned endoparasiidid suudavad raskmetalle ka akumulatsioonivõimega, vähendades nii peremehe reoainesisaldust (Sures *et al.*, 2017). Kõrge raskmetallide akumulatsioonivõime on eelkõige veekeskkonnas esinevatel parasiitidel (Nachev & Sures, 2016). Veetes elavatesse peremeestesse satuvad raskmetallid peamiselt toitumise kaudu (Nachev & Sures, 2016), mistõttu soolestikus elavad parasiidid on raskmetallidele tugevalt eksponeeritud. Samas on näidatud, et ka maismaal elavatel peremeesorganismidel esinevad kidakärssussid, paelussid (*Cestoda*) ja imiussid akumulatsioonivõimega raskmetalle sarnaselt vees esinevate parasiitidega (Sures *et al.*, 2017), kuid raskmetallide kogused neis jäävad võrreldes veekeskkonnaga madalamaks. Seega võib eeldada, et vähemalt endoparasiitide korral on raskmetallide mõju pigem parasiitlust pärssiv kui võimendav.

Püsivate orgaaniliste saasteainete (*persistent organic pollutants*, POP), kuhu kuuluvad PCB-d ja PAH-id, akumulatsiooni parasiitides on vähe uuritud, samas üksikud uuringud näitavad vastuolulisi tulemusi (Yen Le *et al.*, 2014). Nii ekto- kui endoparasiitide arvukuse kahanemist peremehes põhjustavad orgaanilised saasteained, milleks on sageli PCB-d. Carreras-Aubets *et al.* (2012) täheldasid harilikul meripoisuril (*Mullus barbatus*), et tal vähenes viie parasiidiliigi arvukus, kui PCB kontsentratsioonid tõusid kõrgeks. See viitab tõenäoliselt sellele, et PCB-d mõjusid vees esinevatele parasiitidele negatiivselt. Samas Martinson *et al.* (2017) täheldasid, et emastel vööt-nokk-kajakatel (*Larus delawarensis*) oli keskmine endoparasiitide arvukus soolestikus kõrgem kui isastel, kuid POP-ide kontsentratsioonid maksas olid isastel kajakatel kõrgemad kui emastel. Sellised tulemused viitavad asjaolule, et POP-ide mõju parasiitidele võib sõltuda kas keskkonnast (veekeskkond vs maismaa) või peremeesliigist (linnud vs kalad). Võrreldes raskmetallidega on PCB-de ja

PAH-ide puhul täheldatud pigem madalat akumulatsiooni parasiitides (Nachev & Sures, 2016).

Herbitsiidide mõju peremeestele ja nende parasiitidele on vähe uuritud. Koprivnikar (2010) täheldas seda, et atrasiini ja imiusside koosmõju oli harilikule leopardkonnale (*Rana pipiens*) negatiivne, sest konnakulleste mass langes. Lisaks näitasid parasiidiga nakatunud kullused kõrgemat suremust kui mittenakatunud isendid, kui nad olid teist korda eksponeeritud atrasiinile (Koprivnikar, 2010). Pestitsiidide mõju parasiitidele ja peremeestele on sarnaselt POP-idele, herbitsiididele ja mikroplastikule vähe uuritud. Bamidele *et al.* (2019) täheldasid harksaba-ookersägal (*Chrysichthys nigrodigitatus*), et tema endoparasiidi *Myxosoma* sp. arvukus näitas positiivset korrelatsiooni kloororgaaniliste pestitsiidide (*organochlorine pesticides*), valdavalt diklorodifenüültriikloroetaani (*dichlorodiphenyltrichloroethane*, DDT) ja heptakloori kontsentratsioonide korral, kuid korrelatsioon polnud märkimisväärne endosulfaan 1, aldrini ja kloororgaaniliste pestitsiidide puhul. See omakorda viitab asjaolule, et üldiselt parasiidid ei akumulatsioonid endasse kloororgaanilisi pestitsiide. Nii võib oletada, et pestitsiidid ja herbitsiidid nõrgendavad pigem peremehe kui parasiite, põhjustades selle kaudu kahe stressori koosmõju võimendumise.

Kuigi mikroplastiku mõju uurimine elusorganismidele on alles algusjärgus, leiduvad juba mõned uuringud mikroplastiku mõjust parasiitidega nakatunud peremeestele. Sardiinil (*Sardina pilchardus*) ja anšoovisel (*Engraulis encrasicolus*) täheldati, et suurema parasiitide arvukuse korral oli kõrgem mikroplastiku kogus peremeesorganismis (Pennino *et al.*, 2020). Positiivset korrelatsiooni parasiitide esinemise ja mikroplastiku koguse vahel täheldati samuti varasemas uuringus hallhülgel (*Halichoerus grypus*), kellel mikroplastiku akumulatsioon seal, kus parasiitide arvukus oli suurem (Hernandez-Milian *et al.*, 2019). See viitab omakorda sellele, et parasiitide ja mikroplastiku vahel esines mõju võimendumine, mis võib vees elavatele peremeeste tervisele olla negatiivse mõjuga. Samas ei saa uuringute vähesuse tõttu välistada ka vastupidist seost. Tulevikus on vaja rohkem uurida mikroplastiku mõju erinevatele peremeeste ja parasiitide gruppidele, et mõista, kas mõju sõltub keskkonnast, peremehe füsioloogiast või parasiidi eluvormist.

Mõned uuringud on olemas ka farmatseutiliste saasteainete mõjust parasiidi-peremehe suhtele. Jõeforellil (*Salmo trutta m. fario*) leiti, et farmatseutiliste saasteainete (peamiselt dementsuse vastaste ravimite, antidepressantide ja antipsühhootiliste ravimite)

kontsentratsioonide tõustes suurenes ainupõlvse *Gyrodactylus derjavinooides* (ektoparasiit) arvukus, samas endoparasiitide *Crepidostomum metoecus* (imiuss) ning *Salmonema ephemeridarum* (ümaruss) arvukus vähenes (Pravdová *et al.*, 2021). Selle alusel võib oletada, et farmatseutilised saasteained ei avalda olulist mõju ektoparasiidile, kuid endoparasiidid on farmaatsiatööstuse kemikaalidest negatiivselt mõjutatud. Selline tulemus võib olla ka juhuslik, kuna üldiselt esineb vastupidine seos, kus ektoparasiidid on reostusest rohkem mõjutatud kui endoparasiidid (Blanar *et al.*, 2009).

Parasiitidel ja peremeesorganismidel on kõige rohkem uuritud raskmetalle, seega on vaja tulevikus pöörata rohkem tähelepanu teistele reoainegruppidele, sh mikroplastikule, mis satub inimtegevuse tulemusena nii veelistesse kui ka maismaa ökosüsteemidesse. Aastatega suureneb inimtegevusest põhjustatud pestitsiidide, herbitsiidide, farmatseutiliste ainete ning mikroplastiku sattumine loodusesse, mille mõju nii peremeestele kui ka parasiitidele võib olla kahjulik. Negatiivne mõju nii peremeestele kui ka parasiitidele võib aga ohustada ökosüsteemide terviklikku toimimist. Seega on vaja rohkem uurida erinevate reoainegruppide mõju elusorganismidele, kuna nende keemiline olemus on erinev.

2. Parasiidid kui stressorid

Parasiidid on polüfüleetiline rühm — organismirühm, kuhu ei kuulu nende viimane ühine eellane, kellel on erinev füsioloogia ning kohastumused (Blanar *et al.*, 2009). Seetõttu ei saa eeldada, et reoainete mõju kõigile parasiitidele on sarnane. Kuna parasiidid on juba definitsiooni kohaselt eluvormid, mis peremeestele kahju teevad (Sures *et al.*, 2017), võib eeldada, et parasiit koosmõjus teise stressoriga võib olla peremehele kurnavam kui ühe stressori mõju puhul (Marcogliese & Pietrock, 2011).

Parasiitide negatiivne mõju peremeestele võib sõltuda nende eluviisist. Ektoparasiidid elavad peremeeste kehapinnal ning nad võivad peremeest kahjustada, toitudes näiteks nende nahakoest, mis omakorda põhjustab peremehel ärritust ning aitab kaasa patogeenide edasisele levikule peremehes (Tai *et al.*, 2022). Peremees on parasiidi jaoks vajalik organism, kelle arvelt saab toituda ja kasutada peremeest kui kasulikku ja kõrgekvaliteedilist elukeskkonda (Tai *et al.*, 2022). Samas reostunud keskkond on ektoparasiitidega otseses kontaktis ning see võib põhjustada olukorra, kus ektoparasiidid võivad olla reoainetest negatiivselt mõjutatud (Sures *et al.*, 2017). Reoained võivad samal ajal põhjustada ka peremeeste immuunsuse nõrgenemist, mis võib omakorda vähendada nende vastupanuvõimet ektoparasiitidele. Võib eeldada, et ektoparasiidid agregeeruvad peamiselt sellistel peremeestel, kellel on nõrgestatud immuunsus ja kelle arvelt saavad nad enda kohasusenäitajaid tõsta (Tai *et al.*, 2022).

Endoparasiidid elavad erinevalt ektoparasiitidest peremeeste keha sees. Endoparasiidid võivad elada peremeeste soolestikus, erinevates organites või ainult kindlates organiosades ning paljudes peremehe kudedes (Krone, 2007). Endoparasiidid on võrreldes peremeestega üsna lihtsad organismid ning nad sõltuvad olulisel määral oma peremehes, kes varustab neid seeditud toiduga, mis põhjustab aga selle, et soolestikus esinevad parasiidid on sageli taandarenenud seedesüsteemiga ning ammutavad toitaineid kogu oma kehapinnaga (Krone, 2007), kuna neil pole vaja toitu ise seedida. Peremeestele võib endoparasiitidega nakatumine olla reostunud keskkonnas positiivse mõjuga, kuna mõned endoparasiidirühmad akumulierivad reoaineid peremehe organitest ja kudedest (Sures *et al.*, 2017). Endoparasiitide mõju peremehele võib olla ka negatiivne ja põhjustada peremehe immuunsuse nõrgenemise, mis omakorda tingib veel kõrgemat parasiitidega nakatumist (Krone, 2007).

Mõned parasiidid on võimelised vähendama reoainete taset peremeesorganismis akumulatsiooni kaudu. Reoainete akumulatsioonipotentsiaal esineb valdavalt sise- ehk endoparasiitidel ning peamised parasiidirühmad, kellel on täheldatud märkimisväärset reoainete akumulatsiooni on kidakärssussid (*Acanthocephala*), paelussid (*Cestoda*), imiussid (*Digenea*) ning ümarussid (*Nematoda*) (Sures *et al.*, 2017). Kidakärssussidel ja paelussidel puudub seedesüsteem ning nad akumulatsioonivad reoaineid kogu kehapinnaga, mis omakorda tingib neil suuremat akumulatsioonivõimet kui seedekulgla parasiitidel (Sures *et al.*, 2017). Vähe on teada reoainete detoksifikatsioonimehhanismidest parasiitidel. Üldiselt eeldatakse, et endoparasiitidel on vähe detoksifikatsioonimehhanisme ning nad sõltuvad olulisel määral peremeestest, et hoida enda füsioloogilist homöostaasi ehk tasakaalu (Blanar *et al.*, 2009). Monokseensed endoparasiidid (ainuperemehelised parasiidid), kes ei läbi arengutsükkleid vaheperemehes, ning vabalt ringi liikuvad endoparasiitide arengutsüklid on kõige rohkem mõjutatud reostusest ning eelkõige veelistes ökosüsteemides (Blanar *et al.*, 2009). Parasiitide akumulatsioonivõimele võib mõju avaldada ka nende paiknemine peremeesorganismis, sest reoainete kontsentratsioonid on peremehe kudedes erinevad. Lisaks mõjutab parasiitide akumulatsioonipotentsiaali nende arengustaadium, sest vastsestaadiumis on parasiitide füsioloogia ja ainevahetus võrreldes arenenud parasiitidega erinev (Sures *et al.*, 2017).

Ektoparasiidid on otseses kontaktis ümbritseva keskkonnaga ja reoainetega, mis võib negatiivselt mõjutada nende elujõulisust ja suurendada nende suremust (Sures *et al.*, 2017). Seega on ektoparasiidid reostusest üldiselt tugevamini mõjutatud kui endoparasiidid (Sures *et al.*, 2017). Näiteks Saeedi (2012) uuris karbil *Amiantis umbonella* ja tema ektoparasiidil *Arcotheres tivelae* raskmetallide kontsentratsioone ning leidis, et mõnede raskmetallide keskmine kontsentratsioon oli ektoparasiidiga nakatunud karpidel madalam kui parasiidiga mittenakatunud isenditel, kuid tulemused polnud statistiliselt olulised. Vase, hõbeda, tsingi, raua, kaadmiumi, magneesiumi ja alumiiniumi kontsentratsioonid olid ektoparasiidil kõrgemad kui peremehel, seega on ektoparasiit *A. tivelae* potentsiaalne metallireostuse bioindikaator (Saeedi, 2012). Need tulemused viitavad sellele, et ektoparasiit *A. tivelae* akumulatsioon peremeesorganismile mittevajalikke elemente ning raskmetallide akumulatsioon ektoparasiidis vähendas reoainekoormust peremeesorganismil. Seega selle uuringu tulemused vastanduvad teadmisele, et ektoparasiidid on reostusest negatiivselt mõjutatud. Jõeforellil täheldati, et farmatseutiliste saasteainete kontsentratsioonide tõustes suurenes ektoparasiidi *Gyrodactylus derjavinoidea* arvukus (Pravdová *et al.*, 2021). Selle

alusel ei saa samuti väita, et farmatseutilised saasteained mõjusid ektoparasiidile pärssivalt, pigem võib oletada, et reoainete mõju polnud parasiidile negatiivne ning reoained põhjustasid peremehe immuunsuse nõrgenemise, mis omakorda soodustas parasiidikoormuse suurenemist peremehel. Dairain *et al.* (2019) leidsid, et hõbeda, arseeni, vase, mangaani, nikli ja tsingi kontsentratsioonid olid ektoparasiidiga *Gyge branchialis* nakatunud *Upogebia cf. pusilla* isenditel perekonnast mudakrevett (*Upogebiidae*) kõrgemad kui mittenakatunud isenditel. Seega võib eeldada seda, et raskmetallidest rohkem mõjutatud peremehed on parasiitidele kergem saak.

Reostunud keskkonnas elavatele peremeestele võivad mõju avaldada ka teised mikroorganismid, nagu bakterid, viirused ja seenparasiidid. Nende organismide ja reoainete koosmõju kohta on üsna vähe teada, seega on vaja tulevikus sellele uurimissuunale rohkem tähelepanu pöörata, arvestades nende organismide suurt mitmekesisust. Eksperimentaalselt on leitud näiteks seda, et reoaine tebukonasool (fungitsiid) on üherakulisele seenparasiidile *Metschnikowia bicuspidata* toksilise toimega ning selle parasiidi kohasus oli reoainest negatiivselt mõjutatud (Cuco *et al.*, 2020). Leiti, et selle seenparasiidi levimus ja spooride arv kahanesid, mis oli aga selle seenparasiidi vähilaadse peremehe jaoks positiivse mõjuga (Cuco *et al.*, 2020). Sarnast tulemust täheldati seenparasiidi *Batrachochytrium dendrobatidis* eksperimentaaluuringus, millest järeldus, et konnadel kadus seenparasiit, kui nad olid eksponeeritud tiofanaatmetüülile (fungitsiid) (Hanlon *et al.*, 2012). Patogeensetel bakteritel on täheldatud vastupidist seost. Näiteks rohutirtsudel suurenes raskmetallide reostuse korral patogeensete bakterite osakaal soolestikus, mis võib avaldada peremehe tervisele negatiivset mõju (Li *et al.*, 2021).

3. Peremehe ökoloogia

3.1. Maismaal elavate peremeeste parasiitide ja reoainete seos

Maismaa- ja veeökosüsteemide organismid on erinevad nii taksonoomia kui ka kehaehituse tõttu (McCallum *et al.*, 2004). Samuti on veeökosüsteemide loomad ja parasiidid mitmekesisemad kui maismaaökosüsteemides ning vees elavate loomade populatsioonid on avatuma levikuga võrreldes maismaal elavate loomadega (McCallum *et al.*, 2004). See võib aga põhjustada ka parasiitide laialdasema leviku maailmameres võrreldes maismaaga. Seega võib oletada, et parasiitide levik maismaal on piiratum kui vees. Ka parasiitide edasikandumise ja peremehe nakatamise mehhanismid võivad maismaa- ja veeökosüsteemides olla erinevad (McCallum *et al.*, 2004). Lisaks on oluline mõista seda, et reoainete kontsentratsioonid vees võivad olla lahjendusefekti tõttu madalamad kui maismaal, kuid nende mõju ökosüsteemile on pidev (Knapp *et al.*, 2017).

Maismaal elavatel loomadel on eelkõige uuritud seoseid koerlaste endoparasiitide ja raskmetallide tasemetega vahel. Selles süsteemis on kirjeldatud ka parasiitide võimet akumulereida endasse keemilisi elemente, mis peremeestele on kas kahjulikud või mittevajalikud, muutes seega parasiidid peremeesorganismide jaoks kasulikuks (Sures, 2008). Näiteks McGrew *et al.* (2015) uurisid hallhundi (*Canis lupus*) soolestikus esinevaid paelusse *Taenia krabbei*, *Taenia hydatigena*, ümarussi *Toxascaris leonina* ning elavhõbeda kontsentratsiooni organites ja kudedes. Endoparasiidid asustasid peremehe peensoole proksimaalset (keha keskteljele lähim) osa, mille elavhõbeda kogukontsentratsioon oli madalam võrreldes soolestiku teiste osadega. See võib tõenäoliselt viidata peremehe organismis esinevate endoparasiitide võimele akumulereida elavhõbedat, mis on toksiline raskmetall. Seda võib eeldada, kuna bioakumulatsiooni faktor (*bioaccumulation factor*, BAF) ehk organismi ja ümbritseva keskkonna reoainete kontsentratsioonide suhe oli parasiitidel suurem kui üks, mis näitab, et elavhõbeda kogukontsentratsioon oli kõrgem parasiitides kui peremeesorganismis (McGrew *et al.*, 2015).

Paelusside ja ümarusside reoainete akumulatsioonivõimet on uuritud ka teisel maismaal elaval koerlaste sugukonda kuuluval liigil. Binkowski *et al.* (2016) ei täheldanud punarebasel (*Vulpes vulpes*) statistiliselt olulist korrelatsiooni metallide (kaltsium, kaadmium, vask, raud, elavhõbe, kaalium, magneesium, nikkel, plii ja tsink) kontsentratsioonide ja paelussi perekonnast *Mesecestoides* ning ümarussi *Toxacara canis* esinemissageduse vahel. Samas olid parasiitidega nakatunud peremeestel plii, raua ja

kaadmiumi kontsentratsioonid kõrgemad kui parasiitidega mittenakatunud isenditel (Binkowski *et al.*, 2016). Selline tulemus viitab sellele, et rebaste endoparasiidid ei akumulatsioonid reoaineid ning see tulemus on vastuolus varasema rebaste uuringuga, milles täheldati, et paelussiga *Echinococcus multilocularis* nakatunud isenditel olid kaadmiumi ja plii kontsentratsioonid peensooles madalamad kui parasiidiga mittenakatunud rebastel (Brozova *et al.*, 2015). Samas parasiidiga *E. multilocularis* nakatunud rebastel olid kroomi, vase, raua, mangaani, nikli ja tsingi kontsentratsioonid kõrgemad kui mittenakatunud isenditel, mis võib viidata sellele, et peremehele vajalikud keemilised elemendid mõjuvad nende immuunsusele positiivselt ning parasiidiga nakatunud isenditel pole vajadust nendest elementidest vabaneda (Brozova *et al.*, 2015). Kahe rebaseuuringu tulemuste erinevus parasiitide plii ja kaadmiumi akumulatsioonipotentsiaalis oli tõenäoliselt mõjutatud sellest, et uuritud parasiitidel oli erinev füsioloogia, mis tingis reoainete akumulatsioonivõime paelussil *E. multilocularis*. Samas paelussil perekonnast *Mesecestoides* ning ümarussil *T. canis* kaadmiumi ja plii akumulatsioonivõimet ei täheldatud. Samuti võis erinevaid tulemusi plii ja kaadmiumi akumulatsioonis põhjustada see, et Binkowski *et al.* (2016) analüüsisid metallide kontsentratsioone neerudes, maksas ja lihastes, samas Brozova *et al.* (2015) uurisid metallide kontsentratsioone peensooles.

3.2. Poolveelise eluviisiga peremeeste parasiitide ja reoainete seos

3.2.1. Imetajad

Reostus võib poolveelise eluviisiga peremeesorganisme mõjutada tugevamini kui maismaal elavaid peremehi. Reostus võib peremeeste parasiidikoormust vähendada, kuid mõnikord võib parasiidikoormuse vähenemine teoreetiliselt peremeeste tervist isegi negatiivselt mõjutada, kuna sellisel juhul pole peremehel piisavalt parasiite, kes võivad potentsiaalselt reoaineid endasse akumuloida. Samas reostusest nõrgestatud peremehe tervis suurendab omakorda vastuvõtlikkust parasiitidele, mida on täheldatud mitmes loomade uuringus. Näiteks Borchert *et al.* (2019) leidsid Kanada jõesaarma (*Lontra canadensis*), harilikku pesukaru (*Procyon lotor*) ja Kanada kopra (*Castor canadensis*) maksa raskmetallide kontsentratsioonide vahel erinevusi, mis võis olla tingitud mitmest tegurist. Kõige märkimisväärsem erinevus kolme peremeesliigi vahel oli elavhõbeda kontsentratsioon, mis kobrastel oli madalam kui saarmatel ja pesukarudel, ning vase kontsentratsioon maksas, mis oli madalaim kobrastel (Borchert *et al.*, 2019). Kobrastel esines üks endoparasiidiliik *Stichorchis subtriquetrus*, kuid selle parasiidi esinemine polnud seotud raskmetallide kontsentratsioonidega. Samas pesukarudel oli endoparasiitide mitmekesisus seotud seleeni

kontsentratsiooniga ning endoparasiitide arvukus elavhõbeda kontsentratsiooniga (Borchert *et al.*, 2019). Nende tulemuste alusel võib oletada, et mõned raskmetallid võivad mõjutada poolveelise eluviisiga imetajatest peremeestel esinevate parasiitide mitmekesisust ja arvukust.

Poolveelise eluviisiga imetajatel võivad reoainete, eelkõige raskmetallide kõrged kontsentratsioonid olla tingitud nende toitumisest, mida on täheldatud vees elavate peremeeste korral (Nachev & Sures, 2016). Näiteks Borchert *et al.* (2019) leidsid, et elavhõbeda kontsentratsioon peremeestes mitmekordistus troofilisuse taseme tõustes: kobrastel oli madalaim elavhõbeda kontsentratsioon ning saarmatel kõrgeim. Selliseid tulemusi põhjustab tõdemus, et koprad on taimtoidualised, pesukarud aga toituvad nii vees kui maismaal leiduvatest toiduobjektidest ning saarmad otsivad toitu veest (Borchert *et al.*, 2019). Samas võib selline elavhõbeda kontsentratsiooni erinevus sõltuda ka peremeesliikide elueast ning nende elukeskkonnast, mida kinnitab näiteks silepringlite (*Neophocaena phocaenoides*) uuring, milles leiti, et heksaklorobenseeni (*hexachlorobenzene*, HCB) kontsentratsioonid ja silepringlite vanus näitasid positiivset korrelatsiooni ehk vanematel isenditel oli HCB kontsentratsioon kõrgem kui noortel isenditel (Gui *et al.*, 2018). Vanemate isendite kõrgem reoainete kontsentratsioon on tõenäoliselt tingitud sellest, et nad on kauem olnud kokkupuutes reostunud keskkonnaga ja selle tõttu on ka nende reoainekoormus kõrgem. Lisaks leidsid Borchert *et al.* (2019), et kõrgeimad kaadmiumi kontsentratsioonid olid pesukarudel võrreldes kobraste ja saarmatega. Seda põhjustas tõenäoliselt taaskord asjaolu, et pesukarud toituvad selgrootutest, kelle keha sisaldab suures koguses kaadmiumi ning see tingib omakorda kaadmiumi akumulatsiooni pesukarudel (Borchert *et al.*, 2019). Pesukarudel leiti kõige rohkem endoparasiidiliike ning ka kaadmiumi, elavhõbeda ja seleeni kontsentratsioonid maksas võisid selle tõttu olla pesukarudel kõrged. Seda kinnitavad maksa elavhõbeda ja seleeni kontsentratsioonid, mis olid positiivses seoses parasiitide esinemisega pesukarudel (Borchert *et al.*, 2019). Mingil (*Mustela vison*) täheldati samuti, et elavhõbeda kontsentratsioonid olid kõrgemad parasiitidega nakatunud isenditel (Klenavic *et al.*, 2008). Seega poolveelise eluviisiga imetajatel esineb parasiitide ja reoainete vahel pigem positiivne korrelatsioon, mis võib nende tervisele negatiivselt mõjuda, kuna mõlema stressori koosmõju võib kahjustada peremeeste tervist.

3.2.2. Linnud

Paljude lindude eluviisid on samuti seotud veekeskkonnaga, kuhu satuvad erinevad toksilised reoained. Prüter *et al.* (2018) täheldasid sinikael-partidel (*Anas platyrhynchos*), et

plii kõrge kontsentratsioon korakoidluus põhjustas partidel endoparasiitide mitmekesisuse ja arvukuse kahanemist. See tulemus viitab sellele, et endoparasiidid olid negatiivselt mõjutatud pliireostusest. Parasiitide seos pliiga võib olla seotud nende toitumisviisist: sellest, kas neil esineb seedesüsteem või nad akumulēerivad toitaineid kogu kehapinnaga. Paelussid ja kidakärssussid saavad akumulēerida endasse pliid suurtes kogustes (Sures *et al.*, 2017). Paelussid ja kidakärssussid toituvad kogu kehapinnaga, mis põhjustab kõrgema pliikoguse ammutamise, samas imiussidel on seedesüsteem ja nende plii kontsentratsioonid on madalamad võrreldes kidakärssusside ja paelussidega (Prüter *et al.*, 2018). Selline toitumisviiside erinevus parasiitide seas võis põhjustada selle, et kidakärssusside ja paelussidega nakatunud partidel olid plii kontsentratsioonid korakoidluus madalamad kui imiussidega nakatunud partidel (Prüter *et al.*, 2018).

Keskkonnareostus ning parasiidid võivad mõjutada veekeskkonnaga seotud linnuliikide kohasusenäitajaid. Jääkajakatel (*Larus hyperboreus*) leiti, et elavhõbeda kontsentratsioonide ja kidakärssusside arvukuse vahel oli positiivne korrelatsioon (Sagerup *et al.*, 2009), mis vastandub sinikael-partide uuringus leitud kidakärssusside ja plii vahelisele negatiivsele seosele (Prüter *et al.*, 2018). Lisaks leiti positiivne seos ka seleeni kontsentratsioonide ja paelusside vahel (Sagerup *et al.*, 2009). Kahe stressori vaheline positiivne seos võib peremeesorganismile olla suur koormus, mis võib potentsiaalselt muuta peremehe immuunsuse nõrgaks. Samas ei esinenud jääkajakatel seost püsivalta orgaaniliste saasteainete ja teiste raskmetallide ning parasiitide esinemise ja arvukuse vahel (Sagerup *et al.*, 2009). Teises lindude uuringus leiti, et emased randtiirud (*Sterna paradisaea*) eemaldavad raskmetalle enda kehast munadesse, millega vähendavad enda keha reoainekoormust (Provencher *et al.*, 2014), kuid mõjutavad potentsiaalselt negatiivselt oma poegade tervist ja selle kaudu kohasust. Jääkajakate uuringus ei täheldatud emaste ja isaste lindude reoainete kontsentratsioonide vahel mingit erinevust, seega emased jääkajakad tõenäoliselt ei eemaldanud reoaineid munadesse. Selle uuringu jääkajakatel oli hea üldkonditsioon, mis tagas piisava energiavaru immuunsüsteemi tõhususe tagamiseks ning stressitase oli neil madal (Sagerup *et al.*, 2009). See võis põhjustada olukorra, kus emastel isenditel polnud vajadust reoaineid kehast munadesse eemaldada ning mõlema soo reoainete kontsentratsioonid olid selle tõttu sarnased. Samuti võib oletada, et jääkajakate hea üldkonditsioon tagas selle, et ka endoparasiidid ei avaldanud lindudele olulist mõju. Varasemas jääkajakate uuringus leiti samas, et POP-ide kontsentratsioonid ja ümarusside esinemissagedus olid positiivses seoses, mis võis olla tingitud jääkajakate toidust ehk nende

saakobjektid olid tõenäoliselt nakatunud ümarussidega, mis võisid omakorda takistada orgaaniliste saasteainete kahjutustamist peremeesorganismis ning see avaldus võimendava mõjuna kahe stressori vahel (Sagerup *et al.*, 2000). Seega võib reoainete ja parasiitide koosmõju peremeeste kohasusele sõltuda merelindudel mitte niivõrd parasiitide ja reoainete omadustest, vaid loomade üldisest seisundist ja võimest nende stressorite mõju kontrollida ja ennetada. Kui aga peremeeste taluvusvõime (võime hoida homöostaasi) on ületatud, võib välja kujuneda võimenduv stressorite koosmõju.

Mõnedel peremeestel võib parasiitide mitmekesisust ja arvukust ning sellest tulenevalt ka reoainekoormust mõjutada ka nende sugu. Emastel vöötnokk-kajakatel täheldati, et nende keskmine endoparasiitide arvukus soolestikus oli kõrgem kui isastel, samas POP-ide kontsentratsioonid maksas olid isastel kajakatel kõrgemad kui emastel (Marteinson *et al.*, 2017). Sellised tulemused võivad viidata asjaolule, et parasiitide ja reoainete vaheline seos on kas antagonistlik või parasiidid akumuleerisid reoaineid. Samas võivad tulemused olla mõjutatud ka ainult loomade soost ilma parasiitide ja reoainete vahelise seoseta. Näiteks emastel isenditel on vähem POP-e, sest nad saavad need munadesse eemaldada ning isastel on rohkem parasiite, sest nad toituvad erinevatest toiduobjektidest võrreldes emastega. Kuna emastel isenditel oli kõrgem parasiidikoormus, siis võis see tingida suurema reoainete akumuleerumise endoparasiitides. Emastel ja isastel vöötnokk-kajakatel oli erinev põrna mass, mis oli seotud sellega, et isastel ja emastel isenditel olid erinevad parasiidid ning reoainete kontsentratsioonid, mis võisid põhjustada soospetsiifilisi erinevusi (Marteinson *et al.*, 2017). Peremehe soost tingitud reoainete erinevusi on täheldatud ka isastel randtiirudel, kelle maksa arseeni ja elavhõbeda kontsentratsioonid olid kõrgemad kui emastel isenditel (Provencher *et al.*, 2014). Lisaks täheldati, et vöötnokk-kajakate soospetsiifiline erinevus seisnes selles, et emaste kajakate põrna suurus oli seotud endoparasiidi *Diplostomum* spp. arvukusega ehk väiksema põrnaga emastel oli suurem parasiidikoormus (Marteinson *et al.*, 2017). Sellised erinevused reoainete kontsentratsioonide ja parasiitide esinemise vahel võivad viidata kahe teguri potentsiaalsele antagonistlikule suhtele, kuna väiksema põrnaga isenditel olid reoainete kontsentratsioonid madalad, samas parasiitide arvukus suurem. Parasiitide arvukus ja reoainete koormus peremeesorganismidel võivad sõltuda ka toitumisest ja elukeskkonnast. Emased linnud toituvad sageli teistest toiduobjektidest kui isased, mis võib põhjustada erinevaid reoainekontsentratsioone nende organismis (Marteinson *et al.*, 2017).

Parasiitide arvukus võib olla seotud ka peremeeste elujärgust. Provencher *et al.* (2014) täheldasid, et paaritumiseelsetel randtiirudel esinesid paelussid 60% isenditest, kuid hilisemates paaritumise staadiumites langes parasiitidega nakatunud randtiirude arv 0%-ni. Paelussidega nakatunud randtiirudel oli maksa seleeni kontsentratsioon kõrgem kui parasiidiga mitternakatunud isenditel, samas maksa vismuti kontsentratsiooni puhul täheldati vastupidist olukorda (Provencher *et al.*, 2014). Nende tulemuste põhjal võib eeldada, et randtiirude maksa seleeni kontsentratsioon oli positiivses korrelatsioonis paelusside esinemisega ning vismuti kontsentratsioon maksas näitas negatiivset seost paelusside esinemise suhtes. Lisaks võib oletada, et lindudel esinevad paelussid akumulereerivad vaid vismutit. Randtiirude maksa elavhõbeda ja arseeni kontsentratsioonid olid kõrgemad hilisemates paaritumise staadiumites (Provencher *et al.*, 2014), mil parasiitidega nakatumise määr oli nullilähedane. Seega võib oletada, et mõnedel veekeskkonnaga seotud lindudel võib paaritumisstaadium olla oluline tegur parasiitide ja reoainete mõju hindamisel. Arseeni ja elavhõbeda kontsentratsioonid olid emastel isenditel madalamad kui isastel, mis võib viidata sellele, et emased randtiirud eemaldasid munemise ajal neid elemente enda kehast munadesse (Provencher *et al.*, 2014).

3.2.3. Kahepaiksed

Kahepaiksete arvukus on languses, osaliselt ka seetõttu, et nende elutsüklid on suures osas seotud veekeskkonnaga, kus keemiliste reoainete mõju on suur (Pinelli *et al.*, 2019). Lisaks reostusele avaldavad kahepaiksete ellujäämisele märkimisväärset mõju parasiidid. Kahepaiksete haavatavust suurendab võimalus puutuda parasiitide ja reoainetega kokku nii veekeskkonnas kui ka maismaal, mis suurendab tõenäosust, et looma vastupanuvõime erinevatele stressoritele saab ületatud. Näiteks De Donato *et al.* (2017) leidsid konnal *Pelophylax synkl. hispanicus* seoseid ümarusside arvukuse ja raskmetallide (koobalt, nikkel, arseen, seleen ja kaadmium) kontsentratsioonide vahel. Leiti positiivne seos, mis oli tõenäoliselt tingitud sellest, et raskmetallide kõrged kontsentratsioonid põhjustasid konnade immuunsuse nõrgenemise, mis omakorda soodustas parasiitide laiema leviku organismis (De Donato *et al.*, 2017).

Ka eksperimentaalsed uuringud toetavad stressorite koosmõju võimendumist kahepaiksetel. Koprivnikar (2010) uuris eksperimentaalselt atrasiini (herbitsiid) erinevate kontsentratsioonide ja imiussi *Echinostoma trivolvis* esinemise koosmõju hariliku leopardkonna kullestel. Kulleste suremus kasvas, kui nad olid eksponeeritud atrasiinile, mille kontsentratsioon oli 3 µg/l (Koprivnikar, 2010). Lisaks näitasid imiussiga nakatunud

hariliku leopardkonna kullest kõrgemat suremust kui mittenakatunud isendid, kui nad olid teist korda eksponeeritud atrasiinile (Koprivnikar, 2010).

Parasiitide ja reoainete koosmõju võib olla mõjutatud peremeestel esinevate parasiitide füsioloogiast ning erinevatest uuritud reoainetest. Koprivnikar (2010) leidis, et imiussiga nakatumine mõjus kulleste arengule negatiivselt, sest nad arenesid aeglasemalt kui parasiidiga mittenakatunud isendid. Ka kulleste mass langes, kui nad olid eksponeeritud atrasiinile ja nakatunud parasiidiga (Koprivnikar, 2010). See viitab asjaolule, et kahe stressori koosmõju võib olla harilike leopardkonnade kullestele kahjulik, sest nende ellujäämistõenäosus langeb. Väiksem kulleste mass metamorfoosi ajal võib omakorda mõjuda negatiivselt noorte konnade reproduktiivsüsteemile (Koprivnikar, 2010). Samas on täheldatud parasiitide positiivset mõju reostusele eksponeeritud konnadele. Akinsanya, Isibor, *et al.* (2020) täheldasid, et ümarussiga *Amplificaecum africanum* mittenakatunud aafrika kärnkonna (*Amietophrynus regularis*) isenditel olid plii, vase, nikli, kaadmiumi ja kroomi kontsentratsioonid kõrgemad kui parasiidiga nakatunud konnadel. See viitab arusaamisele, et ümaruss akumulereis raskmetalle. Reostunud keskkonna konnadel, kes ei olnud parasiidiga nakatunud, täheldati muutusi näärmete füsioloogias, samas parasiidiga nakatunud isenditel seda ei leitud (Akinsanya, Isibor, *et al.*, 2020). Selliseid erinevusi peremeesliikide kehatalitluse muutuste vahel mõjutavad seega parasiitide erinev füsioloogia ehk reoainete akumulereimise võime esinemine ning erinevad uuritud reoainegrupid.

3.3. Veest elavate peremeeste parasiitide ja reoainete seos

3.3.1. Imetajad

Mereimetajad on reostuse poolt tugevalt mõjutatud oma pika eluea, suurte kodupiirkondade ning paljudel juhtudel toiduahela tipplülideks olemise kaudu, kuid uuringuid on nende loomade peal teha keerulisem kui väiksemate ja lühiealiste loomade puhul (Reijnders *et al.*, 2009). Seega on teadmised mereimetajate parasiitide ja reostuse koosmõjudest piiratud. Tavaliselt on ranniku vahetuses läheduses elavad mereimetajad reostusest rohkem mõjutatud kui avamere loomad ning reostusele on vastupidavamad emased isendid võrreldes isastega, kuna emased saavad reoainetest reproduktsiooni ja laktatsiooni kaudu vabaneda (Reijnders *et al.*, 2009). Parasiidid võivad aga negatiivselt mõjutada mereimetajate metabolismi ning füsioloogilisi protsesse (Reijnders *et al.*, 2009).

Sarnaselt lindudele (Provencher *et al.*, 2014) võib veest elavatel imetajatel reoainete kontsentratsioonide ja parasiitide koosmõju sõltuda peremeeste soost või vanusest. Gui *et*

al. (2018) leidsid silepringlitel, et diklorodifenüültrikloroetaani, polüklooritud bifenuülide ja mirexi kontsentratsioon oli täiskasvanud isastel silepringlitel kuni kaks korda kõrgem kui täiskasvanud emastel isenditel. Täiskasvanud emaste ja isaste reoainete kontsentratsioonide erinevus võis olla tingitud sellest, et emaste isendite reoainete koormus sõltub tiinusest ja poegade imetamisest, sest nende füsioloogiliste protsesside kaudu saavad emased reoaineid organismis vähendada (Aguilar *et al.*, 1999). Samas heksaklorobenseeni puhul täheldati vastupidist asjaolu ehk kõrgeim keskmine kontsentratsioon oli täiskasvanud emastel silepringlitel, mis võis olla tingitud selle reoaine madalast ülekandest tiinelt ja imetavalt emalt pojale (Gui *et al.*, 2018). Silepringlitel täheldati, et kõrge DDT kontsentratsioon oli positiivses seoses ümarusside esinemisega organismis, kuid põhjuslik seos kahe teguri vahel pole teada (Gui *et al.*, 2018). Pole selge, kas selle seose põhjustas asjaolu, et ümarussidega nakatunud silepringlid ei olnud võimelised DDT-d akumulerima või põhjuseks olid reoained, mis mõjusid silepringlite tervislikule seisundile negatiivselt, mis omakorda muutis nad parasiitidele vastuvõtlikumaks.

3.3.2. Kalad

Kalad on vees elavatest loomadest reostuse ja parasiitide koosmõju alal kõige paremini uuritud loomarühm, kuna neid on lihtsam uurida kui teisi selgroogsete klasse ning neid on kaua kasutatud ökotoksikoloogilistes uuringutes. Huvi kalade vastu tuleneb ka nende majanduslikust tähtsusest toiduresursina. Kuna veeökosüsteemid on erinevatest reoainetest tugevasti mõjutatud, siis avaldab reostus tugevat mõju ka kaladele. Lisaks on kaladel palju parasiite, kes võivad koosmõjus reoainetega avaldada olulist mõju kalade tervisenäitajatele. Samas võivad kaladel esineda ka sellised parasiidid, kes akumulereivad reoaineid ning vähendavad selle kaudu kalade stressikoormust.

Kalade puhul on võimalik leida kõige rohkem uuringuid, mis toetavad endoparasiitide võimet olla efektiivsed reoainete akumulereijad. Ka siin jäävad eelkõige silma kidakärssusside kui kogu kehapinnaga toitu hankivate parasiitusside uuringud. Näiteks Akinsanya, Ayanda, *et al.* (2020) täheldasid, et aafrika kontkeelel (*Heterotis niloticus*) esineva kidakärssussi *Tenuisentis niloticus* raskmetallide (tsink, kaadmium, vanaadium, raud, baarium, nikkel, koobalt, vask, plii, mangaan, kroom ja alumiinium) kontsentratsioonid olid kõrgemad kui peremehe maksas ja soolestikus. Kidakärssusside võimet akumulereida raskmetalle on samuti leitud Thielen *et al.* (2004) hariliku pardkala (*Barbus barbus*) uuringus, milles analüüsiti raskmetallide kontsentratsioone kalade neerudes, maksas, soolestikus ja lihaskoes, ning kidakärssussi *Pomphorhynchus laevis*

esinemist. Kidakärssussil *P. laevis* leiti, et 21-st raskmetallist kümne kontsentratsioonid olid parasiidil kõrgemad kui peremehe kudedes ja organites, samas oli parasiitide arvukus kõrgem nendes peremeestes, kellel oli lihaskoes rohkem ka peremehele vajalikke elemente (mangaan ja magneesium) (Thielen *et al.*, 2004). See tulemus võib tõenäoliselt viidata sellele, et need kalad, kellel oli suurem parasiitide arvukus, olid parasiitide reoainete akumulatsioonivõime tõttu paremas konditsioonis, mis omakorda põhjustas selle, et peremehele vajalike keemiliste elementide kontsentratsioonid organismis ei langenud. Kaladel rantuim-saagsalmmler (*Serrasalmus marginatus*) ja viir-pumpsalmmler (*Prochilodus lineatus*) täheldati samuti, et kidakärssussid *Neoechinorhynchus curemai* ja *Echinorhynchus salobrensis* akumulatsioonid kaadmiumi peremeeste lihastest, soolestikust ja maksast (Duarte *et al.*, 2020). Lisaks leiti, et mõlema kidakärssussi puhul näitas kaadmiumi kontsentratsioon negatiivset korrelatsiooni parasiitide infrapopulatsiooni suuruse suhtes ehk väiksema parasiitide arvukuse korral oli kaadmiumi kontsentratsioon parasiitides kõrgem, suurema parasiitide arvukuse korral madalam (Duarte *et al.*, 2020). See on tõenäoliselt tingitud lahjendusefektist ehk suurem parasiitide arv peremehes põhjustas kaadmiumi jagamise parasiitide vahel, mis omakorda tingis suurema infrapopulatsiooniga kidakärssussidel madalama kaadmiumi kontsentratsiooni iga parasiidi kohta (Duarte *et al.*, 2020). Rakendusliku poole pealt järeldatakse sellistes uurimustes, et kidakärssussid on kasulikud raskmetallide põhjustatud reostuse bioindikaatorid veeökosüsteemides.

Kaladel esinevate kidakärssusside võimet raskmetalle akumuleerida on uuritud veel paljudel peremeesliikidel. Ka turba (*Squalius cephalus*) uuringus jõuti selleni, et kidakärssussid *Pomphorhynchus laevis* ja *Acanthocephalus anguillae* akumulatsioonid raskmetalle peremehe soolestikust (Filipović Marijić *et al.*, 2013). Leiti, et kõige rohkem akumulatsioonid kidakärssuss *A. anguillae* mittevajalikke elemente nagu hõbe, kaadmium ja plii, kuid peremehele vajalikke keemilisi elemente mitte (Filipović Marijić *et al.*, 2013), mis viitab sellele, et parasiidid akumulatsioonid tavaliselt rohkem peremehele mittevajalikke keemilisi elemente (Sures *et al.*, 2017). Vase, mangaani, hõbeda, kaadmiumi ja plii kontsentratsioonid olid kidakärssussil *P. laevis* kõrgemad kui peremehe soolestikus, mida kinnitasid biokontsentratsioonifaktorid ehk raskmetallide kontsentratsioonide suhe parasiidi ja turba soolestiku vahel (Filipović Marijić *et al.*, 2013). Sarnaselt kidakärssussidele akumulatsioonid reoaineid ka paelussid (Sures *et al.*, 2017). Näiteks on täheldatud, et kapimaa kõblasninal (*Callorhynchus capensis*) esinev paeluss *Gyrocotyle plana* akumulatsioonid arseeni, mangaani, pliid, titaani ja tsinki peremehe kudetest (Morris *et al.*, 2016).

Veekeskkonnas elavatel peremeestel esinevad parasiitide ja reoainete vahel varieeruvad seosed, mis on tingitud erinevatest reoainete keemilistest eripäradest ning parasiitide füsioloogiast. Kuigi on leitud, et paljud endoparasiidid akumulatsioonivad peremeeste kudetest reoaineid (Sures *et al.*, 2017), siis esineb ka selliseid endoparasiite, kelle reoainete akumulatsioonivõime on üsna madal. Kui kehapiinaga toituvad kidakärssussid ja paelussid on peremehe organismist reostuse sisseimemise osas üsna kaitsetud, siis arenenuma seedesüsteemiga parasiitide puhul ei pruugi akumulatsioon aset leida. Mille *et al.* (2020) täheldasid euroopa merluusil (*Merluccius merluccius*), et elavhõbeda ja metüülelavhõbeda kontsentratsioonid olid keskmiselt 6,4 ja 4,8 korda kõrgemad peremehe lihaskoes kui ümarussil perekonnast *Anisakis*, samas polüklooritud bifenuülide kontsentratsioon oli kuni kolm korda kõrgem ümarussil. Sarnast tulemust näitas mummulise logardrai (*Rhinobatos annulatus*) ja tõmpnina-logardrai (*Rhinobatos blochii*) ümaruss *Proleptus obtusus*, kes samuti ei akumulatsioonivad märkimisväärselt raskmetalle (Morris *et al.*, 2016). Need tulemused viitavad sellele, et mõned ümarussid ei akumulatsioonivad raskmetalle peremeesorganismi kudetest. Samas orgaaniliste saasteainete (nt PCB) korral võib esineda vastupidine seos, mis potentsiaalselt tuleneb selle reoainegrupi keemilistest erinevustest võrreldes mõnede toksiliste raskmetallidega. Mõnede ümarusside puhul on varem täheldatud madalat võimet akumulatsioonivada raskmetalle, kuna kalad on nende jaoks parateenilised peremehed (vaheperemehed, kes on parasiitidele vajalikud vaid arenguetaappide läbimiseks) (Nachev & Sures, 2016).

Kuigi paljudel kalaliikidel on täheldatud, et nende parasiidid akumulatsioonivad reoaineid ning vähendavad selle kaudu peremeeste stressikoormust, siis on leitud ka vastupidine tulemus, mille korral parasiidid ei akumulatsioonivad reoaineid ning toksilised saasteained nõrgestavad kalade immuunsust, mis soodustab parasiitidesse nakatumist. Näiteks Bamidele *et al.* (2019) täheldasid harksaba-ookersägal, et tema endoparasiitide arvukus oli positiivses seoses kloororgaaniliste pestitsiidide suhtes. Samuti olid kloororgaaniliste pestitsiidide kontsentratsioonid peremehe kudedes kõrgemad kui endoparasiitidel, mis näitab, et parasiidid ei akumulatsioonivad reoaineid (Bamidele *et al.*, 2019). Casadevall *et al.* (2016) täheldasid, et põhjaelustikust toituvatel kaladel oli plii, arseeni ja elavhõbeda keskmine kontsentratsioon kõrgem kui planktonist toituvatel kaladel. Lisaks olid endoparasiitidega nakatunud kaladel plii, arseeni ja elavhõbeda kontsentratsioonid lihaskoes kõrgemad kui parasiitidega mitternakatunud isenditel (Casadevall *et al.*, 2016). Nende tulemuste alusel võib eeldada, et kalade nõrgenenud immuunsus on tingitud erinevatest reoainetest, mis omakorda

soodustab parasiitidesse nakatumist. Samuti võivad tulemusi mõjutada kalade toiduobjektid, kuna põhjaelustiku reoainete kontsentratsioonid on tavaliselt kõrged ning kalad, kes toituvad põhjaelustikust, akumuleerivad söödud toidu kaudu raskmetalle (Casadevall *et al.*, 2016).

Erinevalt raskmetallidest tunduvad orgaanilised reoained kalade endoparasiite pigem negatiivselt mõjutavat. Atlandi ümarpaltusel (*Cyclopsetta chittendeni*) täheldati, et naftareostus põhjustas kaladel esinevate endoparasiitide arvukuse langust kõrge reoainete kontsentratsiooni korral (Centeno-Chalé *et al.*, 2015). Seega oli endoparasiitide esinemine negatiivses korrelatsioonis süsivesinike (atsenaftüleen ja perüleen) ja raskmetallide suhtes, mis oli tõenäoliselt tingitud sellest, et naftaleke põhjustas kalades parasiidikoosluse struktuuri muutusi, mille tõttu parasiitide arvukus vähenes (Centeno-Chalé *et al.*, 2015). Parasiitide arvukuse kahanemist peremehes põhjustavad lisaks ka kloororgaanilised saasteained, milleks on sageli PCB-d. Carreras-Aubets *et al.* (2012) täheldasid harilikul meripoisuril, et tal vähenes endo- ja ektoparasiitide arvukus, kui PCB kontsentratsioonid tõusid kõrgeks. Madalam parasiitide arvukus peremehes võis olla tingitud sellest, et kõrged PCB kontsentratsioonid takistasid parasiitide levimist (Carreras-Aubets *et al.*, 2012). PCB-de mõju vees leiduvate parasiitide arvukusele oli seega negatiivne, mida on varem leitud parasiitsetel vähilaadsetel, imiussidel, ümarussidel ning paelussidel (Vidal-Martínez *et al.*, 2010).

Ektoparasiidid on reoainete poolt reeglina rohkem mõjutatud kui endoparasiidid. Nii on leitud, et euroopa nolgusel (*Myoxocephalus scorpius*) oli kõrge plii kontsentratsioon seotud parasiitsete tsiliaarsete alveolaatide (ektoparasiit), aga ka imiusside arvukuse vähenemisega (Dang *et al.*, 2019). Kuna imiussid varem viidatud uuringute kohaselt ei ole reostusele kõige vastuvõtlikum parasiidirühm, siis võib eeldada, et ektoparasiitide koormuse vähenemine võis peremeestel aidata tõhusamalt võidelda ka endoparasiitide vastu. Sarnast tulemust täheldati varasemas tilaapia (*Oreochromis niloticus*) uuringus, millest järeldus, et toksiliste raskmetallide reostuse puudumise korral oli ektoparasiitidega nakatunud kalu 69%, samas langes parasiidiga nakatunud kalade hulk 48%-ni kõrge reostuse korral (Abou Zaid, 2011). See näitab omakorda, et raskmetallid mõjusid ektoparasiitidele negatiivselt. Ka nolgustel oli kõrge plii kontsentratsioon ja ektoparasiitide esinemine negatiivses seoses (Dang *et al.*, 2019).

Kaladel võib parasiitide ja reoainete taset organismis mõjutada nende kehasuurus. Näiteks on täheldatud negatiivset seost anšooviste kehasuuruse ja mikroplastiku koguse vahel ehk

väiksema kehasuurusega kaladel oli rohkem mikroplastikut (Pennino *et al.*, 2020). Lisaks näitasid Pennino *et al.* (2020), et suurema parasiitide arvukusega sardiinidel ja anšoovistel oli kõrgem mikroplastiku (<5 mm) kogus organismis. Samas on leitud, et pikema kehaga euroopa merluusidel oli suurem ümarussi *Anisakis* arvukus ning kõrgem metüülelavhõbeda kontsentratsioon lihaskoes (Mille *et al.*, 2020). Aafrika kontkeel on täheldatud, et pikema kehaga kaladel oli suurem parasiidikoormus (Akinsanya, Ayanda, *et al.*, 2020). Lisaks leiti, et pikema kehaga jõeforellidel oli kõrgem farmatseutiliste saasteainete kontsentratsioon (Pravdová *et al.*, 2021). Üldiselt võib nende uurimistulemuste põhjal eeldada, et parasiitide arvukus ja reoainete kontsentratsioonid on positiivses seoses peremeeste kehasuurusega. Samas ei pruugi peremehe kehasuuruse mõju parasiitide arvukusele ja reoainete kontsentratsioonile olla otsene, vaid võib olla ka vahendatud teiste tegurite poolt. Kaladel võib olla eelsoodumus nakatuda parasiitidesse, kui nad on eksponeeritud reoainetele, sest nende immuunsusvõime on kahjustunud (Sueiro *et al.*, 2017). Näiteks pikema kehaga euroopa merluusidel oli metüülelavhõbeda kontsentratsioon kõrgem, mis mõjutas negatiivselt kalade immuunvõimet. Selle tulemuseks oli peremeeste intensiivsem nakatumine parasiitidesse (Mille *et al.*, 2020; Pravdová *et al.*, 2021). Samuti võib põhjuslik seos peituda selles, et suuremad kalad on toidukonkurentsis edukamad, mis soodustab nakatumist parasiitidesse söödud toiduobjektide kaudu (Akinsanya, Ayanda, *et al.*, 2020).

Reostuse ja parasiitide võimendavat negatiivset mõju peremehele on täheldatud ka kalaliigil brasiilia ebaahven (*Pinguipes brasiliensis*), kellel leiti positiivne seos kehapikkuse ning aerjalaliste (*Copepoda*) ja ümarusside arvukuse ning levimuse vahel (Sueiro *et al.*, 2020). Lisaks täheldati seda, et reostusele eksponeeritud kaladel oli kidakärssusside arvukus kõrgem kui mittereostunud keskkonna kaladel, mis oli suure tõenäosusega tingitud sellest, et reostunud keskkonna kaladel oli nõrgem immuunsus (Sueiro *et al.*, 2020). Seega peremehe kahjustatud tervis soodustab omakorda parasiitidesse nakatumist. Reostusega kokku puutunud kaladel oli madalam lümfotsüütide ja kõrgem neutrofiilide osakaal veres kui mittereostunud keskkonna kaladel (Sueiro *et al.*, 2020). Madal lümfotsüütide osakaal veres viitab nõrgale immuunsusele ning kõrge neutrofiilide osakaal on tingitud stressist ja parasiitide esinemisest kehas (Campbell & Ellis, 2013).

Kaladel võib reoainete ja parasiitide koosmõju tuleneda ka soost. Näiteks Macnab *et al.* (2016) on eksperimentaalselt kinnitanud seda, et kuigi madal E2 (17 β -östradiool) ehk östrogeeni kui ühe võimaliku reoaine kontsentratsioon isastel ega emastel harilikel ogalikel (*Gasterosteus aculeatus*) ei avaldanud paelussi *Schistocephalus solidus* arvukuse

muutustele mingit mõju, siis östrogeeni kontsentratsiooni tõstmisel suurenes isastel isenditel parasiidikoormus rohkem kui emastel. See tulemus näitab, et mõnede reoainete mõju parasiidi ja peremehe vahelisele interaktsioonile võib olla tingitud peremehe soost. Isastel ogalikel põhjustas E2 kõrge kontsentratsioon lisaks immuunsuse nõrgenemist, mis omakorda soodustas neil nakatumist parasiidiga (Macnab *et al.*, 2016). Östrogeeni kõrge kontsentratsioon keskkonnas võib lisaks kahjustada kalade sugulist arengut ning suure parasiidikoormuse koosmõjuna toimub isastel isenditel reproduktsioonivõime kahjustumine (Macnab *et al.*, 2016). Isastel euroopa nolgustel täheldati seda, et nende naha limaskesta konditsioon oli nõrgas positiivses seoses nahal elutsevate imiusside esinemissagedusega, samas emastel isenditel sellist seost ei leitud (Dang *et al.*, 2019). See viitab aga sellele, et isaste nolguste füsioloogia oli imiussidest rohkem mõjutatud võrreldes emaste isenditega. Need tulemused näitavad, et isased kalad võivad olla parasiitidest ja reoainetest rohkem mõjutatud kui emased.

3.3.3. Selgrootud

Veekeskkonnas elavate selgrootute puhul on täheldatud nende võimet akumuleerida suures koguses raskmetalle, mis enamasti ei mõjuta nende ellujäämist, mistõttu veorganisme kasutatakse sageli metallireostuse bioindikaatorina (Chiarelli & Roccheri, 2014). Ka selgrootutel on kehasuurus üks reostustaseme riskitegureid. Näiteks Saeedi (2012) leidis karbil *Amiantis umbonella*, et kaadmiumi, mangaani, plii ja hõbeda kontsentratsioonid olid positiivses korrelatsioonis karpide kehapikkusega. Samas võib reostus ka selgrootutel aidata ektoparasiitide koormust vähendada, sest nimetatud uurimuses oli mõnede raskmetallide keskmine kontsentratsioon ektoparasiidiga *Arcotheres tivelae* nakatunud karpidel madalam kui parasiidiga mittenakatunud isenditel (tulemused polnud siiski statistiliselt olulised) (Saeedi, 2012). Ektoparasiidil olid vase, hõbeda, tsingi, raua, kaadmiumi, magneesiumi ja alumiiniumi kontsentratsioonid kõrgemad kui peremehel (Saeedi, 2012). Need tulemused viitavad sellele, et ektoparasiit *A. tivelae* akumulēeris peremehele mittevajalikke elemente ning raskmetallide akumulatsioon parasiidis vähendas reoainekoormust peremeesorganismil. Samas *Upogebia cf. pusilla*¹, kes sarnaselt karbile *A. umbonella* on bentilise eluviisiga (veekogu põhjas elav) loom, täheldati vastupidist seost raskmetallide kontsentratsioonide ning ektoparasiitide vahel – rohkem reostust tähendas ka rohkem parasiite (Dairain *et al.*, 2019). Täheldati, et hõbeda, arseeni, vase, mangaani, nikli ja tsingi kontsentratsioonid olid ektoparasiidiga *Gyge branchialis* nakatunud isenditel kõrgemad kui mittenakatunud isenditel (Dairain *et al.*, 2019). Tõenäoliselt on see tulemus taas vahendatud

kehasuuruse poolt, sest parasiidiga nakatunud peremehed olid väiksema kehaga, mis omakorda tingis selle, et raskmetallide lahjendusefekt kadus peremehe kehasuuruse vähenemise tõttu (Dairain *et al.*, 2019). Nende uurimistulemuste põhjal võib oletada, et reoainete akumulatsioonivõime võib ühel ektoparasiidiliigil esineda, kuid teisel mitte. Võib olla on bentilise eluviisiga peremeestel olulisem uurida endoparasiite, kelle reoainete akumulatsioonivõime on tavaliselt kõrgem (Sures *et al.*, 2017).

Rändkarbid (*Dreissena polymorpha*) on sobivad selgrootud loomad, et analüüsida reostuse mõju kooslustele ja ökosüsteemidele, kuna nad on väheliikuvad ja levinud kõikjal maailmas (Minguez *et al.*, 2011). Lisaks on rändkarbid bentilise eluviisiga loomad. Rohkem reostunud keskkonnas elavatel rändkarpidel täheldati madalamat imiusside arvukust kui vähem reostunud keskkonnas (Minguez *et al.*, 2011). Tavaliselt esineb vastupidine olukord, sest reostunud keskkond tingib peremeeste immuunsuse nõrgenemist, mis omakorda soodustab nakatuda parasiitidesse. Samas võib seda tulemust tõlgendada selle kaudu, et terviklikult funktsioneerivad ökosüsteemid on kõrge parasiidikoormusega, mis kinnistab kooslusestruktuuri ja selle tõhusat toimimist (Hudson *et al.*, 2006). Samuti leiti, et kõrgema reoainekoormusega keskkonna rändkarpidel oli imiussi *Bucephalus polymorphus* seos raskmetallide kontsentratsiooniga negatiivne (Minguez *et al.*, 2011). Seega võib eeldada, et mõned bentilise eluviisiga peremeeste endoparasiidid pole siiski efektiivsed reoainete akumulatsioonivõimega.

4. Arutelu ja järeldused

Parasiitide ja reoainete vahelised seosed on erinevates peremeesorganismides varieeruvad. Kahe stressori seos sõltub mitmest tegurist:

- millisesse reoainegruppi uuritud saasteaine kuulub;
- kas loomade kudedest eemaldatud parasiidid on sise- ehk endoparasiidid või keha pinnal olevad parasiidid ehk ektoparasiidid;
- parasiidi füsioloogiast;
- kus elab uuritud peremeesorganism;
- millistest peremeesorganismi kudedest on reoaineproovid ja parasiidid saadud;
- kas uuritud loomade isendid on emased või isased.

Parasiidikoormuse ja reoainete taseme mõju on peremehele võimenduv, kui peremeesorganismi kõrgem parasiidikoormus tingib reoainete kontsentratsioonide tõusu looma organismis, või kui reoained muudavad peremeesorganismi parasiitidele vastuvõtlikumaks. Sellist seost on näidatud mitmes uuringus nii imetajatel (Klenavic *et al.*, 2008; Binkowski *et al.*, 2016; Gui *et al.*, 2018; Borchert *et al.*, 2019) kui ka kaladel (Casadevall *et al.*, 2016; Macnab *et al.*, 2016; Bamidele *et al.*, 2019; Mille *et al.*, 2020; Pennino *et al.*, 2020; Sueiro *et al.*, 2020). Positiivne korrelatsioon võib olla tingitud ka uuritud loomade kehasuurusest ehk suurema kehaga loomadel on kõrgem nii parasiidikoormus kui ka reoainete kontsentratsioonid. See seos võib olla nii otseselt kehasuurusest põhjustatud kui ka muude tegurite poolt vahendatud, nt reoainete negatiivne mõju võib põhjustada loomade immuunsüsteemi nõrgenemist ja soodustada selle kaudu parasiitidesse nakatumist.

Negatiivne seos parasiidikoormuse ja reoainete taseme vahel näitab olukorda, kus peremeesorganismi kõrgem reoainete kontsentratsioon tingib loomade parasiidikoormuse vähenemise, või kui kõrgema parasiidikoormusega loomadel on reoainete kontsentratsioonid madalad. See tuleneb parasiitide võimest akumuleerida ehk koguda endasse reoaineid peremehe kudedest. Sellist olukorda on näidatud nii maismaal (Brozova *et al.*, 2015; McGrew *et al.*, 2015; Martinson *et al.*, 2017; Prüter *et al.*, 2018) kui ka vees elavatel peremeestel (Thielen *et al.*, 2004; Saedi, 2012; Filipović Marijić *et al.*, 2013; Centeno-Chalé *et al.*, 2015; Morris *et al.*, 2016; Akinsanya, Isibor, *et al.*, 2020; Duarte *et al.*, 2020). See võib omakorda olla parasiidile kahjulik, kuid peremeesorganismile kasulik. Reoainete akumulatsioon parasiitides võib vähendada loomade stressikoormust, sest mürgid

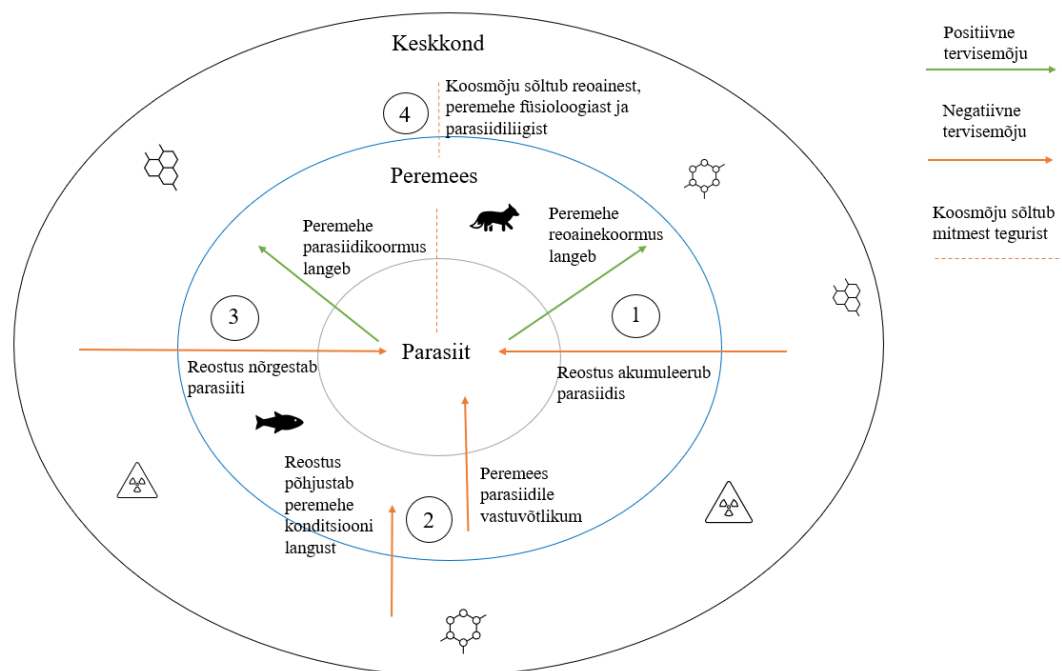
ei ole enam otseses kontaktis peremehe kudede ja organitega. Seos peremeeste parasiidikoormuse ja saasteainete vahel võib ka puududa, see tähendab olukorda, kus parasiitide arvukuse muutusel ei esine reoainete kontsentratsioonide muutusi või vastupidi. Reoainete koormuse ja parasiitide arvukuse vahelise seose puudumine ei välista aga koosmõju peremeesorganismi tervisele ja kohasusele.

Vabas looduses elavad loomad on mõjutatud keskkonnareostusest, milleks on näiteks tööstusest loodusesse juhitud keemilised saasteained või põllumajanduses kasutatavad keskkonnamürgid. Samal ajal on loomad mõjutatud ka parasiitidest. Saasteainete ja parasiitide koosmõju võib loomade stressikoormust kas suurendada või vähendada, mis omakorda oleneb parasiitide füsioloogilisest võimest reoaineid akumuloida ning selle kaudu neutraliseerida nende mõju peremeeste kehatalitlusele. Samas avaldavad parasiitide akumuloidamisvõimele mõju reoainete keemilised omadused. Kahe stressori vahelised interaktsioonid sõltuvad seega reoainete keemilistest omadustest ning parasiitide võimest reoaineid akumuloida.

Eelnevast lähtuvalt ei saa parasiite antud kontekstis käsitleda vaid kui stressoreid, kes põhjustavad peremeesorganismide nõrka tervist. Parasiidid võivad olla peremehele kasulikud, kuna nad võivad akumuloida toksilisi reoaineid, mis on peremeestele kahjuliku toimega. Samas pole teada, miks parasiidid akumuloidavad toksilisi aineid peremeeste kudedest, kuna see võib mõjuda neile negatiivselt (Blonar *et al.*, 2009). Võib olla on selline parasiitide käitumine efektiivne, sest sellisel viisil aitavad nad tagada peremeesorganismidel kõrgemat kohasust reostunud keskkonnas. Peremeeste ellujäämine on omakorda parasiitidele oluline, sest see tagab nende endi ellujäämise ja arenemise (Sures *et al.*, 2017). Samas ei pruugi selline parasiitide käitumine olla adaptiivne, vaid lihtsalt füsioloogiline paratamatus. Seega on oluline mõista parasiitide reoainete akumulatsioonipotentsiaali, mille kaudu nad potentsiaalselt vähendavad peremeeste stressikoormust ning soodustavad loomade toimetulekut uudes ümberkujundatud keskkonnas. Erinevad parasiidid reageerivad keskkonna muutustele erinevalt. Ekto- ehk välisparasiidid on tavaliselt reoainetest negatiivselt mõjutatud, sest neil väheneb ellujäämine reoainete kontsentratsioonide tõustes, samas endo- ehk siseparasiitidel pole olulist reoainete negatiivset mõju täheldatud (Sures *et al.*, 2017).

Ökosüsteemide stabiilsus on seotud toiduahelatega, mille üheks lülis on parasiidid (Lafferty *et al.*, 2008). Parasiitide roll ökosüsteemides ja kooslustes on samuti oluline, sest

nad osalevad mitmetes ökoloogilistes protsessides ning nad on toiduahela tipplüli (Lafferty *et al.*, 2008), kes on samuti keskkonnareostusest mõjutatud nagu nende peremeesorganismid. Oluline on mõista parasiitide mõju peremeestel, et hoida ökosüsteemid stabiilsena. Parasiidid võivad muuta peremeeste käitumist, mis omakorda võib põhjustada madalamat kohasust peremeestel, sest neil on kõrgem oht sattuda kiskja toiduks (Lafferty *et al.*, 2008). Samal ajal on keskkonnareostusel samuti oluline mõju peremeeste tervisele. Seega on oluline mõista parasiitide ja reostuse koosmõju peremeestel, et leida põhjuslik seos kahe teguri mõju osas peremeeste tervisele erinevate peremeeste-parasiitide suhete, erinevate keskkondade ja reoainete puhul.



Joonis 1. Parasiitide ja reoainete koosmõju peremeesorganismile. Esimene koosmõju kajastab reoainete akumulereerumist parasiidis. Teine koosmõju näitab reoainete negatiivset mõju peremehele ja selle tõttu peremehe suuremat vastuvõtlikkust parasiitidele. Kolmas koosmõju näitab reostuse negatiivset mõju parasiidile, mille tagajärjel langeb peremehe parasiidikoormus. Neljas koosmõju näitab kolme teguri potentsiaalset mõju peremehele.

Parasiitide ja reoainete koosmõju peremeesorganismidele võib jagada nelja peamisse liiki (Joonis 1). Esimest liiki mõju seisneb selles, kui parasiidid vähendavad reostuse taset peremehes. Seda seost on näidanud nii maismaal kui ka vees elavatel peremeestel läbiviidud uuringud. Reostuse tase väheneb peremeestes eelkõige selle tõttu, et mõnedel endo- ja ektoparasiitidel on reoainete akumulereerimisvõime. Peamised endoparasiidid, kes on

näitanud kõrget toksiliste reoainete akumulatsiooni, on kidakärssussid ja paelussid (Sures *et al.*, 2017), kelle reoainete akumulatsioonipotentsiaal on tingitud nende toitumisviisist. Kidakärssussidel ja paelussidel puudub seedekulgla ning selle tõttu ammutavad nad toitaineid kehapinna kaudu. See aga põhjustab neil kõrgema akumulatsioonivõime kui seedesüsteemiga parasiitidel. Ektoparasiidiga nakatunud peremeestel esineb vastuolulisi seoseid. Näiteks bentilise eluviisiga peremeestel esineb nii negatiivset korrelatsiooni ektoparasiitide ja reoainete vahel (Saeedi, 2012) kui ka positiivset seost (Dairain *et al.*, 2019). Vastuolulised tulemused on tõenäoliselt tingitud peremeeste ja ektoparasiitide liigipõhistest erinevustest füsioloogias, mis põhjustab erinevusi parasiitide võimes reoaineid akumuleerida ja peremeeste kehatalitluse muutusi vastusena parasiidi- või reoainekoormusele.

Teist liiki koosmõju parasiitide ja reoainete vahel näitab olukorda, kus reostus alandab peremeesorganismi konditsiooni ja suurendab vastuvõtlikkust parasiitidele või parasiidid suurendavad vastuvõtlikkust reoainetele. Sellist seost kinnitavad valdavalt veekeskonnaga seotud või veeselavatel peremeestel tehtud uuringud. Reoained võivad mõjuda peremeeste kehatalitlusele pärssivalt ning selle tõttu on nende immuunsus nõrgestatud. Kahjustunud peremeesorganismide tervis on aga soodne parasiitidele, kes kasutavad seda enda kasuks ning suurendavad enda levimist ja edasiste arenguetappide läbimist. Peremeeste kõrgem parasiitidesse nakatumise määr võib omakorda soodustada veel kõrgemat reoainete kontsentratsiooni tõusu peremeesorganismides juhul, kui parasiit ei akumuleri reoaineid. Lisaks võib parasiitide ja reoainete koosmõju vähendada peremeeste ellujäämistõenäosust, mida on täheldatud kahepaiksetel (Koprivnikar, 2010). Reoainete negatiivne mõju peremeeste immuunsusele on sageli tingitud nende toitumisest, sest toiduobjektid võivad sisaldada suurel hulgal erinevaid saasteaineid, mis toiduahela kaudu jõuavad peremeeste organismi. Toiduobjektidest põhjustatud reoainete kontsentratsioonide tõusu on leitud nii kaladel (Casadevall *et al.*, 2016) kui ka veekeskonnaga seotud imetajatel (Borchert *et al.*, 2019).

Kolmandat liiki koosmõju avaldub selles, et reostus põhjustab parasiidikoormuse vähenemist peremeesorganismis. Üldiselt võib reostus põhjustada nii ekto- kui endoparasiitide arvukuse kahanemist. Olulised reoained on raskmetallid ja orgaanilised saasteained, mis põhjustavad ekto- ja endoparasiitide arvukuse kahanemist peremeestes. Plii kui üks toksilistest raskmetallidest põhjustab endoparasiitide arvukuse kahanemist

peremeestes, kuna selle mõju endoparasiitidele on toksilisuse tõttu negatiivne. Samas kidakärssussid ja paelussid on tõhusad raskmetallide akumuldeerijad. Seega võivad need endoparasiidid omakorda mõjutada teiste parasiidiliikide esinemissagedust peremehes ehk soodustada teiste parasiitide levikut ja arvukuse kasvu kahanenud toksiliste raskmetallide kontsentratsioonide korral. Orgaanilised saasteained (nt PCB-d) võivad samuti negatiivselt mõjutada parasiitide arvukust peremehes, kuna need pärsivad parasiitide levimist (Carreras-Aubets *et al.*, 2012).

Neljandat liiki koosmõju reoainete ja parasiitide vahel tuleneb peremeeste soost või suurusest. Sellist seost esineb valdavalt veekeskkonnas elavatel loomadel kui ka veeökosüsteemidega seotud linnuliikidel. Lindudel avalduv reoainete ja parasiitide vaheline koosmõju sõltub eelkõige lindude soost. Samas on oluline mõista, et kahe stressori vahelisele interaktsioonile avaldab märkimisväärset mõju parasiidi füsioloogia ning erinevad reoainegrupid. Peremeeste organismis elavate parasiitide füsioloogia määrab selle, kas toimub reoainete akumulatsioon parasiidis või mitte. Kahe stressori vaheline koosmõju isastel ja emastel lindudel on üldjuhul erinev, kuna neil võivad esineda erinevad parasiidiliigid, kellel on omakorda erinev reoainete akumulatsioonipotentsiaal. Erinevate parasiidiliikide esinemine emastel ja isastel isenditel on tõenäoliselt põhjustatud lindude toiduobjektidest. Teine põhjus, miks lindudel esineb sooline erinevus reoainete kontsentratsioonide ja parasiitide esinemise vahel, on tõdemus, et mõnedel linnuliikidel võivad emased munemise ajal reoaineid munadesse eemaldada ning vähendada selle kaudu enda keha reoainekoormust (Provencher *et al.*, 2014). Emaste isendite võimet reoaineid enda kehast eemaldada on täheldatud lisaks veeselaval imetajaliigil (Gui *et al.*, 2018). Kalade puhul avaldub kahe stressori vaheline koosmõju eelkõige läbi peremeeste kehasuuruse. Suurema kehaga kaladel on kõrgem reoainete kontsentratsioon, mis tingib kõrgemat parasiitide arvukust peremehes (Mille *et al.*, 2020). Teisalt võib kalade kehasuurusest tingitud suurem parasiitide arvukus põhjustada madalamat reoainete kontsentratsiooni peremehes, kui parasiit akumulereib reoaineid. Samas esineb kaladel ka vastupidine olukord, kus väiksema kehasuurusega kaladel on kõrgem reoainete sisaldus organismis (Pennino *et al.*, 2020), mis on tõenäoliselt tingitud peremehe nõrgestatud immuunsusest.

Parasiitide ja reostuse vahel võib koosmõju puududa, kuid siiski on nende kahe stressori mõju sageli omavahel seotud. Seose puudumine võib mõnes uuringus tuleneda uuritud reoainegruppidest. Näiteks kui uuritakse korraga paljusid raskmetalle ja orgaanilisi reoaineid, siis üksikute raskmetallide korral võib täheldada koosmõju reostuse ja parasiidi

vahel, samas teised uuritavad raskmetallid ning orgaanilised saasteained võivad indikeerida kahe stressori vahelise koosmõju puudumist. Koosmõju puudumine võib sellisel juhul olla juhuslik nähtus ning see ei välista kahe stressori koosmõju peremehe tervisele. Samas on oluline mõista, et keskkonnas esinevad reoained reeglina mitmekesistes nn reoainete kokteilides ning vaid üksikute ainete kontsentratsioonide mõõtmine ei anna tervikpilti parasiitide ja reoainete koosmõjust (või selle puudumisest) peremeestele.

Uuringutest võib järeldada, et mõnedel endoparasiitidel on võime teatud reoainete akumulereida ja selle kaudu potentsiaalselt vähendada stressikoormust peremeesorganismidel. Tulemuste analüüsil tuleks loomade uurijatel tähelepanu pöörata järgnevale: kas uuritav loom elab maismaal või vees; kas kudedest leiti endo- või ektoparasiidid; kas uuritakse raskmetalle või teisi reoaineid. Nimetatud tegurid on olulised, sest need mõjutavad uurimistulemusi, kuna veeselavatel loomadel võib reoainete kontsentratsioon organismis olla kõrgem kui maismaalloomadel. Samuti on endoparasiidid tõenäoliselt efektiivsemad reoainete akumulereijad kui ektoparasiidid. Peale selle oleneb parasiitide reoainete akumulereimisvõime nende toitumisviisist: kas neil esineb seedesüsteem või nad ammutavad toitaineid kogu oma kehapinnaga. Kui parasiidil puudub seedesüsteem ning ta hangib toitaineid kogu kehapinnaga, on reoainete akumulereumine parasiidis tõenäolisem kui seedesüsteemi omaval parasiidil. Selleks, et mõista, kas parasiitide võime reoaineid akumulereida tuleb peremehele kasuks, on tarvis lisaks hinnata ka muid peremehe tervise- ja kohasusenäitajaid.

Kokkuvõte

Vabas looduses elavad peremehed on mõjutatud nii reoainetest kui parasiitidest. Kuigi tavaliselt eeldatakse, et parasiidid avaldavad reostunud keskkonnas elavatele peremeestele täiendavat stressikoormust, siis paljud uuringud näitavad ka parasiitide positiivset mõju peremeestele. Mitme endoparasiitide rühma korral on täheldatud seda, et nad akumulatsioonivad peremehe kudetest toksilisi reoaineid, millega vähendavad stressikoormust peremehel. Paljud uuringud näitavad, et peamised endoparasiidid, kes reoaineid akumulatsioonivad on kidakärssussid, paelussid, imiussid ja ümarussid. Võrreldes endoparasiitidega on ektoparasiitide reoainete akumulatsioonimisvõimet peremeestes vähem uuritud. Ektoparasiidid on tavaliselt reostusest rohkem mõjutatud kui endoparasiidid ning nende reoainete akumulatsioonimisvõime on madalam. Samas üksikute ektoparasiitide korral võib olla tegu potentsiaalsete reoainete akumulatsioonijatega.

Oluline on mõista parasiitide ja reoainete vahelist koosmõju peremeestele, sest üks parasiit võib akumulatsioonida raskmetalle, kuid orgaanilisi saasteaineid mitte, ning vastupidi. Samuti avaldab märkimisväärset mõju parasiitide ja reoainete vahelisele suhtele peremehe ökoloogia: kas peremees elab maismaal, vees või ta on poolveelise eluviisiga. Tulevastes uuringutes tuleb seega tähelepanu pöörata järgnevale: uuritava looma ökoloogia, endo- ja ektoparasiitide füsioloogilised omadused, erinevad uuritavad reoainegrupid.

Parasiitide ja reoainete vaheline koosmõju on mitmekülgne. Mõned parasiidirühmad akumulatsioonivad reoaineid, kui reoained pole neile endile toksilised või omavad väikest mõju. Samas paljud parasiidid ei akumulooni reoaineid, mis on tingitud eelkõige nende füsioloogilistest eripäradest ning reoainete negatiivsest mõjust. Mõnel juhul võib reostus alandada peremehe konditsiooni ja suurendada vastuvõtlikkust parasiitidele või parasiidid võivad suurendada vastuvõtlikkust reoainetele. Samuti võib esineda olukord, kus reoainete ja parasiitide koosmõju tuleneb peremehe soost või kehasuurusest: emastel võib reoainete mõju olla väiksem kui isastel; suurema kehaga peremehel võib reoaine- ja parasiidikoormus olla kõrgem või madalam kui väiksema kehasuurusega isenditel. Mõnel juhul võib reostus põhjustada ka parasiidikoormuse vähenemist peremeesorganismis. Parasiitide ja reostuse vahel võib põhjuslik seos puududa, mis aga ei välista kahe stressori koosmõju peremehe tervisele.

Summary

„Parasite influence on hosts living in polluted environment“

Hosts living in the wild are influenced by both pollutants and parasites. Although it is usually assumed that parasites intensify stress load in hosts in polluted environment, plenty of research papers show that parasites can have a positive influence on hosts as well. For some endoparasite groups it is noticed that they accumulate toxic pollutants from host tissues, which reduces stress load in host. Main endoparasites who accumulate pollutants are *Acanthocephala*, *Cestoda*, *Digenea* and *Nematoda*. The ability to accumulate pollutants in ectoparasites is less studied compared to endoparasites. Ectoparasites are usually more influenced by pollutants than endoparasites and their ability to accumulate pollutants is lower. At the same time some ectoparasites can be potential pollutant accumulators.

It is important to understand the effect of parasites and pollutants on host organisms, because one parasite can accumulate heavy metals, but not organic pollutants, and other way around. Also hosts' ecology can have a remarkable influence on relationship between parasites and pollutants: whether host is living on land, in water or the host has semi-aquatic way of life. In future research the attention must therefore be paid to the following: hosts' ecology, endo- and ectoparasite physiological traits, different pollutant groups.

Relationships between parasites and pollutants are versatile. Some parasite groups accumulate pollutants if pollutants are not toxic for themselves or pollutants have little influence. At the same time many parasites do not accumulate pollutants, which is due to their physiological specificities and pollutants' negative influence on them. In some cases the pollution can cause a decrease in hosts' health condition, which can increase susceptibility to parasites or parasites can increase susceptibility to pollutants. There can also be a situation, where relationship between pollutants and parasites is influenced by hosts' gender or body size: the influence of pollutants on females is lower than on males, hosts with bigger body size can have higher or lower pollutant and parasite load than hosts with smaller body size. In some cases the pollution can cause decrease in hosts' parasite load. Causal relationship between parasites and pollutants can be absent, but it does not exclude the combined influence of two stressors on hosts' health.

Tänuavaldus

Täna väga oma juhendajat Tuul Seppa, kelle abistavad soovitused, sisukad kommentaarid ja toetav suhtumine aitasid mul oma uurimistööd paremaks muuta. Lisaks täna oma pere ja sõpru moraalse toe ja positiivsete sõnade eest, mis aitas samuti minu uurimistöö valmimisele kaasa.

Kasutatud kirjandus

Viitamisel ja kirjanduse loetelu vormistamisel on lähtunud Science of The Total Environment nõuetest.

- Abou Zaid, A. A. (2011). Study on clinopathological and biochemical changes in some freshwater fishes infected with external parasites and subjected to heavy metals pollution in Egypt. *Life Science Journal*, 8(3).
- Acevedo-Whitehouse, K., & Duffus, A. L. J. (2009). Effects of environmental change on wildlife health. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1534), 3429–3438. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0128>
- Aguilar, A., Borrell, A., & Pastor, T. (1999). Biological factors affecting variability of persistent pollutant levels in cetaceans. *J. Cetacean Res. Manage.*, 83–116. <https://doi.org/10.47536/jcrm.v1i1.264>
- Akinsanya, B., Ayanda, I. O., Fadipe, A. O., Onwuka, B., & Saliu, J. K. (2020). Heavy metals, parasitologic and oxidative stress biomarker investigations in *Heterotis niloticus* from Lekki Lagoon, Lagos, Nigeria. *Toxicology Reports*, 7, 1075–1082. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.08.010>
- Akinsanya, B., Isibor, P. O., Onadoko, B., & Tinuade, A.-A. (2020). Impacts of trace metals on African common toad, *Amietophrynus regularis* (Reuss, 1833) and depuration effects of the toad's enteric parasite, *Amplificum africanum* (Taylor, 1924) sampled within Lagos metropolis, Nigeria. *Heliyon*, 6(3), e03570. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03570>
- Aravind kumar, J., Krithiga, T., Sathish, S., Renita, A. A., Prabu, D., Lokesh, S., Geetha, R., Namasivayam, S. K. R., & Sillanpaa, M. (2022). Persistent organic pollutants in water resources: Fate, occurrence, characterization and risk analysis. *Science of The Total Environment*, 831, 154808. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154808>
- Balmer, J. E., Ylitalo, G. M., Rowles, T. K., Mullin, K. D., Wells, R. S., Townsend, F. I., Pearce, R. W., Bolton, J. L., Zolman, E. S., Balmer, B. C., & Schwacke, L. H. (2018). Persistent organic pollutants (POPs) in blood and blubber of common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) at three northern Gulf of Mexico sites following the Deepwater Horizon oil spill. *Science of The Total Environment*, 621, 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.209>

- Bamidele, A., Abayomi, A., Iyabo, A., & Giwa, M. (2019). Parasitic fauna, histopathological alterations, and organochlorine pesticides contamination in *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacepede, 1803) (*Bagridae*) from Lagos, Lagoon, Nigeria. *Scientific African*, 5, e00130. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00130>
- Binkowski, Ł. J., Merta, D., Przystupińska, A., Sołtysiak, Z., Pacoń, J., & Stawarz, R. (2016). Levels of metals in kidney, liver and muscle tissue and their relation to the occurrence of parasites in the red fox in the Lower Silesian Forest in Europe. *Chemosphere*, 149, 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.099>
- Blanar, C. A., Munkittrick, K. R., Houlihan, J., MacLachy, D. L., & Marcogliese, D. J. (2009). Pollution and parasitism in aquatic animals: A meta-analysis of effect size. *Aquatic Toxicology*, 93(1), 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2009.03.002>
- Borchert, E. J., Leaphart, J. C., Bryan, A. L., & Beasley, J. C. (2019). Ecotoxicoparasitology of mercury and trace elements in semi-aquatic mammals and their endoparasite communities. *Science of The Total Environment*, 679, 307–316. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.326>
- Brozova, A., Jankovska, I., Miholova, D., Schankova, S., Truneckova, J., Langrova, I., Kudrnacova, M., & Vadlejch, J. (2015). Heavy metal concentrations in the small intestine of red fox (*Vulpes vulpes*) with and without *Echinococcus multilocularis* infection. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(4), 3175–3179. [edswsc. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3733-7](https://doi.org/10.1007/s11356-014-3733-7)
- Campbell, T. W., & Ellis, C. K. (2013). *Avian and exotic animal hematology and cytology*. John Wiley & Sons.
- Carreras-Aubets, M., Montero, F. E., Kostadinova, A., & Carrassón, M. (2012). Parasite communities in the red mullet, *Mullus barbatus* L., respond to small-scale variation in the levels of polychlorinated biphenyls in the Western Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin*, 64(9), 1853–1860. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.06.008>
- Casadevall, M., Torres, J., Aoussimi, A. E., Carbonell, A., Delgado, E., Sarrà-Alarcón, L., García-Ruíz, C., Esteban, A., Mallol, S., & Bellido, J. M. (2016). Pollutants and parasites in bycatch teleosts from south eastern Spanish Mediterranean's fisheries: Concerns relating the foodstuff harnessing. *Marine Pollution Bulletin*, 104(1), 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.040>
- Centeno-Chalé, O. A., Aguirre-Macedo, M. L., Gold-Bouchot, G., & Vidal-Martínez, V. M. (2015). Effects of oil spill related chemical pollution on helminth parasites in

- Mexican flounder *Cyclopsetta chittendeni* from the Campeche Sound, Gulf of Mexico. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 119, 162–169.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.04.030>
- Chiarelli, R., & Roccheri, M. (2014). Marine Invertebrates as Bioindicators of Heavy Metal Pollution. *Open Journal of Metal*, 04, 93–106.
<https://doi.org/10.4236/ojmetal.2014.44011>
- Cuco, A. P., Wolinska, J., Santos, J. I., Abrantes, N., Gonçalves, F. J. M., & Castro, B. B. (2020). Can parasites adapt to pollutants? A multigenerational experiment with a *Daphnia* × *Metschnikowia* model system exposed to the fungicide tebuconazole. *Aquatic Toxicology*, 226, 105584. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2020.105584>
- Dairain, A., Legeay, A., Gonzalez, P., Baudrimont, M., Gourves, P.-Y., & Montaudouin, X. de. (2019). Seasonal influence of parasitism on contamination patterns of the mud shrimp *Upogebia cf. Pusilla* in an area of low pollution. *Science of The Total Environment*, 692, 319–332. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.258>
- Dang, M., Pittman, K., Bach, L., Sonne, C., Hansson, S. V., Søndergaard, J., Stride, M., & Nowak, B. (2019). Mucous cell responses to contaminants and parasites in shorthorn sculpins (*Myoxocephalus scorpius*) from a former lead-zinc mine in West Greenland. *Science of The Total Environment*, 678, 207–216.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.412>
- De Donato, C., Barca, D., Milazzo, C., Santoro, R., Giglio, G., Tripepi, S., & Sperone, E. (2017). Is trace element concentration correlated to parasite abundance? A case study in a population of the green frog *Pelophylax synkl. hispanicus* from the Neto River (Calabria, southern Italy). *Parasitology Research*, 116(6), 1745–1753. edswsc. <https://doi.org/10.1007/s00436-017-5453-7>
- D’Surney, S. J., & Smith, M. D. (2005). Chemicals of Environmental Concern. *Encyclopedia of Toxicology (Second Edition)*, 526–530. Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B0-12-369400-0/00206-4>
- Duarte, G. S. C., Lehun, A. L., Leite, L. A. R., Consolin-Filho, N., Bellay, S., & Takemoto, R. M. (2020). Acanthocephalans parasites of two Characiformes fishes as bioindicators of cadmium contamination in two neotropical rivers in Brazil. *Science of The Total Environment*, 738, 140339.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140339>
- Filipović Marijić, V., Vardić Smrzlić, I., & Raspor, B. (2013). Effect of acanthocephalan infection on metal, total protein and metallothionein concentrations in European

- chub from a Sava River section with low metal contamination. *Science of The Total Environment*, 463–464, 772–780.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.041>
- Gui, D., He, J., Zhang, X., Tu, Q., Chen, L., Feng, K., Liu, W., Mai, B., & Wu, Y. (2018). Potential association between exposure to legacy persistent organic pollutants and parasitic body burdens in Indo-Pacific finless porpoises from the Pearl River Estuary, China. *Science of The Total Environment*, 643, 785–792.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.249>
- Hanlon, S. M., Kerby, J. L., & Parris, M. J. (2012). Unlikely Remedy: Fungicide Clears Infection from Pathogenic Fungus in Larval Southern Leopard Frogs (*Lithobates sphenoccephalus*). *Plos One*, 7(8), e43573.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043573>
- Hernandez-Milian, G., Lusher, A., MacGibbon, S., & Rogan, E. (2019). Microplastics in grey seal (*Halichoerus grypus*) intestines: Are they associated with parasite aggregations? *Marine Pollution Bulletin*, 146, 349–354.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.014>
- Hudson, P. J., Dobson, A. P., & Lafferty, K. D. (2006). Is a healthy ecosystem one that is rich in parasites? *Trends in Ecology & Evolution*, 21(7), 381–385.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.04.007>
- Klenavic, K., Champoux, L., Mike, O., Daoust, P.-Y., Evans, R. D., & Evans, H. E. (2008). Mercury concentrations in wild mink (*Mustela vison*) and river otters (*Lontra canadensis*) collected from eastern and Atlantic Canada: Relationship to age and parasitism. *Environmental Pollution*, 156(2), 359–366.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.02.003>
- Knapp, S., Schweiger, O., Kraberg, A., Asmus, H., Asmus, R., Brey, T., Frickenhaus, S., Gutt, J., Kühn, I., Liess, M., Musche, M., Pörtner, H.-O., Seppelt, R., Klotz, S., & Krause, G. (2017). Do drivers of biodiversity change differ in importance across marine and terrestrial systems—Or is it just different research communities' perspectives? *Science of The Total Environment*, 574, 191–203.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.002>
- Koprivnikar, J. (2010). Interactions of environmental stressors impact survival and development of parasitized larval amphibians. *Ecological Applications*, 20(8), 2263–2272. <https://doi.org/10.1890/09-1558.1>

- Krone, O. (2007). Endoparasites. Raptor, research and management techniques. Surrey: Hancock House Publishers, 318–328.
- Lafferty, K. D., Allesina, S., Arim, M., Briggs, C. J., De Leo, G., Dobson, A. P., Dunne, J. A., Johnson, P. T. J., Kuris, A. M., Marcogliese, D. J., Martinez, N. D., Memmott, J., Marquet, P. A., McLaughlin, J. P., Mordecai, E. A., Pascual, M., Poulin, R., & Thielges, D. W. (2008). Parasites in food webs: The ultimate missing links. *Ecology Letters*, 11(6), 533–546. PubMed. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01174.x>
- Li, X.-D., Xin, L., Rong, W.-T., Liu, X.-Y., Deng, W.-A., Qin, Y.-C., & Li, X.-L. (2021). Effect of heavy metals pollution on the composition and diversity of the intestinal microbial community of a pygmy grasshopper (*Eucriotettix oculatus*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 223, 112582. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112582>
- Macnab, V., Katsiadaki, I., Tilley, C. A., & Barber, I. (2016). Oestrogenic pollutants promote the growth of a parasite in male sticklebacks. *Aquatic Toxicology*, 174, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2016.02.010>
- Marcogliese, D. J., & Pietroock, M. (2011). Combined effects of parasites and contaminants on animal health: Parasites do matter. *Trends in Parasitology*, 27(3), 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2010.11.002>
- Martinson, S. C., Marcogliese, D. J., & Verreault, J. (2017). Multiple stressors including contaminant exposure and parasite infection predict spleen mass and energy expenditure in breeding ring-billed gulls. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 200, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2017.06.005>
- McCallum, H. I., Kuris, A., Harvell, C. D., Lafferty, Kevin. D., Smith, G. W., & Porter, J. (2004). Does terrestrial epidemiology apply to marine systems? *Trends in Ecology & Evolution*, 19(11), 585–591. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.08.009>
- McGrew, A. K., O'Hara, T. M., Stricker, C. A., Castellini, J. M., Beckmen, K. B., Salman, M. D., & Ballweber, L. R. (2015). Ecotoxicoparasitology: Understanding mercury concentrations in gut contents, intestinal helminths and host tissues of Alaskan gray wolves (*Canis lupus*). *Science of The Total Environment*, 536, 866–871. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.106>
- Mille, T., Soulier, L., Caill-Milly, N., Cresson, P., Morandeau, G., & Monperrus, M. (2020). Differential micropollutants bioaccumulation in European hake and their

- parasites *Anisakis* sp. *Environmental Pollution*, 265, 115021.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115021>
- Minguez, L., Molloy, D. P., Guérol, F., & Giambérini, L. (2011). Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) parasites: Potentially useful bioindicators of freshwater quality? *Water Research*, 45(2), 665–673.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.08.028>
- Morris, T., Avenant-Oldewage, A., Lamberth, S., & Reed, C. (2016). Shark parasites as bio-indicators of metals in two South African embayments. *Marine Pollution Bulletin*, 104(1), 221–228. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.027>
- Nachev, M., & Sures, B. (2016). Environmental parasitology: Parasites as accumulation bioindicators in the marine environment. *Journal of Sea Research*, 113, 45–50.
<https://doi.org/10.1016/j.seares.2015.06.005>
- Orr, J. A., Vinebrooke, R. D., Jackson, M. C., Kroeker, K. J., Kordas, R. L., Mantyka-Pringle, C., Van den Brink, P. J., De Laender, F., Stoks, R., Holmstrup, M., Matthaei, C. D., Monk, W. A., Penk, M. R., Leuzinger, S., Schäfer, R. B., & Piggott, J. J. (2020). Towards a unified study of multiple stressors: Divisions and common goals across research disciplines. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 287(1926), 20200421. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.0421>
- Pennino, M. G., Bachiller, E., Lloret-Lloret, E., Albo-Puigserver, M., Esteban, A., Jadaud, A., Bellido, J. M., & Coll, M. (2020). Ingestion of microplastics and occurrence of parasite association in Mediterranean anchovy and sardine. *Marine Pollution Bulletin*, 158, 111399. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111399>
- Pinelli, C., Santillo, A., Chieffi Baccari, G., Falvo, S., & Di Fiore, M. M. (2019). Effects of chemical pollutants on reproductive and developmental processes in Italian amphibians. *Molecular Reproduction and Development*, 86(10), 1324–1332.
<https://doi.org/10.1002/mrd.23165>
- Pravdová, M., Kolářová, J., Grabicová, K., Mikl, L., Bláha, M., Randák, T., Kvach, Y., Jurajda, P., & Ondračková, M. (2021). Associations between pharmaceutical contaminants, parasite load and health status in brown trout exposed to sewage effluent in a small stream. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 21(2), 233–243.
<https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.09.001>
- Prokić, M. D., Gavrilović, B. R., Radovanović, T. B., Gavrić, J. P., Petrović, T. G., Despotović, S. G., & Faggio, C. (2021). Studying microplastics: Lessons from evaluated literature on animal model organisms and experimental approaches.

- Journal of Hazardous Materials, 414, 125476.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125476>
- Provencher, J. F., Braune, B. M., Gilchrist, H. G., Forbes, M. R., & Mallory, M. L. (2014). Trace element concentrations and gastrointestinal parasites of Arctic terns breeding in the Canadian High Arctic. *Science of The Total Environment*, 476–477, 308–316. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.016>
- Prüter, H., Franz, M., Auls, S., Czirják, G. Á., Greben, O., Greenwood, A. D., Lisitsyna, O., Syrota, Y., Sitko, J., & Krone, O. (2018). Chronic lead intoxication decreases intestinal helminth species richness and infection intensity in mallards (*Anas platyrhynchos*). *Science of The Total Environment*, 644, 151–160.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.297>
- Reijnders, P., Aguilar, A., & Borrell, A. (2009). Pollution and Marine Mammals. *Encyclopedia of Marine Mammals, Second Edition*, 890–898.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373553-9.00205-4>
- Saeedi, H. (2012). Availability of Venerid Clam, *Amiantis umbonella* as potential metal bioindicator in Bandar Abbas coast, the Persian Gulf. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 38(2), 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2012.12.003>
- Sagerup, K., Henriksen, E. O., Skorping, A., Skaare, J. U., & Gabrielsen, G. W. (2000). Intensity of Parasitic Nematodes Increases with Organochlorine Levels in the Glaucous Gull. *Journal of Applied Ecology*, 37(3), 532–539. JSTOR Journals.
- Sagerup, K., Savinov, V., Savinova, T., Kuklin, V., Muir, D. C. G., & Gabrielsen, G. W. (2009). Persistent organic pollutants, heavy metals and parasites in the glaucous gull (*Larus hyperboreus*) on Spitsbergen. *Environmental Pollution*, 157(8), 2282–2290. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.03.031>
- Sueiro, M. C., Awruch, C., Gilardoni, C., Demetrio, M., & Palacios, M. G. (2020). Immunity and health of two wild marine fishes naturally exposed to anthropogenic pollution. *Science of The Total Environment*, 726, 138303.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138303>
- Sueiro, M. C., Bagnato, E., & Palacios, M. G. (2017). Parasite infection and immune and health-state in wild fish exposed to marine pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 119(1), 320–324. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.011>
- Sun, Q., Li, Y., Shi, L., Hussain, R., Mehmood, K., Tang, Z., & Zhang, H. (2022). Heavy metals induced mitochondrial dysfunction in animals: Molecular mechanism of toxicity. *Toxicology*, 469, 153136. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2022.153136>

- Sures, B. (2008). Environmental Parasitology. Interactions between parasites and pollutants in the aquatic environment. *Parasite*, 15(3), 434–438.
<https://doi.org/10.1051/parasite/2008153434>
- Sures, B., Nachev, M., Selbach, C., & Marcogliese, D. J. (2017). Parasite responses to pollution: What we know and where we go in ‘Environmental Parasitology’. *Parasites & Vectors*, 10(1), 65. <https://doi.org/10.1186/s13071-017-2001-3>
- Tai, Y. L., Lee, Y.-F., Kuo, Y.-M., & Kuo, Y.-J. (2022). Effects of host state and body condition on parasite infestation of bent-wing bats. *Frontiers in Zoology*, 19(1), 12.
<https://doi.org/10.1186/s12983-022-00457-w>
- Thielen, F., Zimmermann, S., Baska, F., Taraschewski, H., & Sures, B. (2004). The intestinal parasite *Pomphorhynchus laevis* (*Acanthocephala*) from barbel as a bioindicator for metal pollution in the Danube River near Budapest, Hungary. *Environmental Pollution*, 129(3), 421–429.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.11.011>
- Vidal-Martínez, V. M., Pech, D., Sures, B., Purucker, S. T., & Poulin, R. (2010). Can parasites really reveal environmental impact? *Trends in Parasitology*, 26(1), 44–51.
<https://doi.org/10.1016/j.pt.2009.11.001>
- Yang, C., Lim, W., & Song, G. (2021). Reproductive toxicity due to herbicide exposure in freshwater organisms. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 248, 109103.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2021.109103>
- Yen Le, T. T., Rijdsdijk, L., Sures, B., & Jan Hendriks, A. (2014). Accumulation of persistent organic pollutants in parasites. *Chemosphere*, 108, 145–151.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.01.036>

Lisa 1. Ülevaattetabel reostuse ja parasiitide seostest peremeesorganismides

Peremeesorganism	Parasiit	Reoaine	Seos	Viide
Hallhunt (<i>Canis lupus</i>)	Paelussid, ümaruss	Hg (elavhõbe)	Negatiivne (potentsiaalne akumulatsioon parasiitides)	(McGrew <i>et al.</i> , 2015)
Kanada jõesaarvas (<i>Lontra canadensis</i>), harilik pesukaru (<i>Procyon lotor</i>), kanada kobras (<i>Castor canadensis</i>)	Imiuss, kidakärssuss, paeluss, ümarussid	Raskmetallid	Positiivne Hg ja Se (seleen) korral	(Borchert <i>et al.</i> , 2019)
Punarebane (<i>Vulpes vulpes</i>)	Paeluss, ümaruss	Raskmetallid	Üldist seost pole; Pb, Fe (raud) ja Cd ning parasiitide vahel positiivne	(Binkowski <i>et al.</i> , 2016)
Silepringel (<i>Neophocaena phocaenoides</i>)	Ümarussid	Orgaanilised reoained	Positiivne DDT korral	(Gui <i>et al.</i> , 2018)
Sinikael-part (<i>Anas platyrhynchos</i>)	Kidakärssussid, paelussid, imiussid	Pb (plii)	Negatiivne kidakärssusside ja paelusside korral Seost ei täheldatud imiusside korral	(Prüter <i>et al.</i> , 2018)
Jääkajakas (<i>Larus hyperboreus</i>)	Imiussid, paelussid, kidakärssussid, ümarussid	Orgaanilised reoained, raskmetallid	Positiivne (Hg ja kidakärssusside vahel, Se ja paelusside vahel) Teiste uuritud reoainete korral seos puudub	(Sagerup <i>et al.</i> , 2009)
Vöötnokk-kajakas (<i>Larus delawarensis</i>)	Imiuss, paeluss, ümaruss	Orgaanilised reoained	Negatiivne	(Marteinson <i>et al.</i> , 2017)
Randtiir (<i>Sterna paradisaea</i>)	Paelussid	Raskmetallid	Positiivne Se korral	(Provencher <i>et al.</i> , 2014)

			Negatiivne Bi (vismut) korral	
Harilik leopardkonn (<i>Rana pipiens</i>)	Imiuss	Atrasiin	Positiivne	(Koprivnikar, 2010)
Aafrika kärnkonn (<i>Amietophrynus regularis</i>)	Ümaruss	Raskmetallid	Negatiivne (akumulatsioon parasiidis)	(Akinsanya, Isibor, <i>et al.</i> , 2020)
Euroopa merluus (<i>Merluccius merluccius</i>)	Ümaruss	Hg, PCB	Positiivne MeHg korral	(Mille <i>et al.</i> , 2020)
			Negatiivne PCB korral	
Sardiin (<i>Sardina pilchardus</i>) ja anšoovis (<i>Engraulis encrasicolus</i>)	Imiuss, ümarussid	Mikroplastik (<5 mm)	Positiivne	(Pennino <i>et al.</i> , 2020)
Harilik meripoisur (<i>Mullus barbatus</i>)	Imiuss, ümaruss	PCB	Negatiivne	(Carreras-Aubets <i>et al.</i> , 2012)
Harilik ogalik (<i>Gasterosteus aculeatus</i>)	Paeluss	E2 (17β-östradiol)	Positiivne (isastel isenditel)	(Macnab <i>et al.</i> , 2016)
Euroopa nolgus (<i>Myoxocephalus scorpius</i>)	Imiussid, tsiliaarsed alveolaadid (trihhodiniidid)	Raskmetallid	Negatiivne	(Dang <i>et al.</i> , 2019)
Kapimaa kõblasnina (<i>Callorhinchus capensis</i>), mummuline logardrai (<i>Rhinobatos annulatus</i>) ja tömpnina-logardrai (<i>Rhinobatos blochii</i>)	Paeluss, ümaruss	Raskmetallid	Negatiivne kapimaa kõblasninal (akumulatsioon parasiidis <i>G. plana</i>)	(Morris <i>et al.</i> , 2016)
Aafrika kontkeel (<i>Heterotis niloticus</i>)	Kidakärssuss	Raskmetallid	Negatiivne (akumulatsioon parasiidis)	(Akinsanya, Ayanda, <i>et al.</i> , 2020)
			Seost pole Cu (vask), Co (koobalt) ja Mn (mangaan) korral	

Jõeforell (<i>Salmo trutta m. fario</i>)	Ainupõlvsed, imiuss ümaruss	Farmaatsia reoained	Positiivne ektoparasiitide korral	(Pravdová <i>et al.</i> , 2021)
			Negatiivne endoparasiitide korral	
Harksaba-ookersäga (<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>)	Koktsiidiumid, algloomad, amööbid, ümaruss	Orgaanilised reoained	Positiivne	(Bamidele <i>et al.</i> , 2019)
			Teiste uuritud pestitsiidide puhul seost ei täheldatud	
Sardiin (<i>Sardina pilchardus</i>), anšoovis (<i>Engraulis encrasicolus</i>), harilik stauriid (<i>Trachurus trachurus</i>), makrell (<i>Scomber scombrus</i>), põhjaputassuu (<i>Micromesistius poutassou</i>), mustlaik-besuugo (<i>Pagellus bogaraveo</i>), punane besuugo (<i>Pagellus erythrinus</i>), hispaania besuugo <i>Pagellus acarne</i> , annulaar (<i>Diplodus annularis</i>), kaksvööt-peitelhammas (<i>Diplodus vulgaris</i>)	Ümarussid, ainupõlvsed, imiussid	Raskmetallid	Positiivne	(Casadevall <i>et al.</i> , 2016)
Atlandi ümarpaltus (<i>Cyclosetta chittendeni</i>)	Ümarussid, paelussid, imiussid, kidakärssussid	Orgaanilised reoained, raskmetallid	Negatiivne	(Centeno-Chalé <i>et al.</i> , 2015)
Harilik pardkala (<i>Barbus barbus</i>)	Kidakärssuss	Raskmetallid	Negatiivne (reoainete kontsentratsioon langes parasiitide arvukuse suurenemisel)	(Thielen <i>et al.</i> , 2004)

			Positiivne Mg (magneesium) ja Mn korral	
Viir-pumpsalmmler (<i>Prochilodus lineatus</i>) ja rantuim-saagsalmmler (<i>Serrasalmus marginatus</i>)	Kidakärssussid	Cd (kaadmium)	Negatiivne (akumulatsioon parasiidis)	(Duarte <i>et al.</i> , 2020)
Brasiilia ebaahven (<i>Pinguipes brasilianus</i>)	Ainupõlvsed, aerjalalised, kakandilised, imiussid, paelussid, kidakärssussid, ümarussid	Üldiselt reostunud keskkond	Positiivne (kidakärssusside korral)	(Sueiro <i>et al.</i> , 2020)
Turb (<i>Squalius cephalus</i>)	Kidakärssussid	Raskmetallid	Negatiivne (akumulatsioon parasiidis)	(Filipović Marijić <i>et al.</i> , 2013)
<i>Upogebia cf. pusilla</i> perekonnast mudakrevett (<i>Upogebiidae</i>)	Ektoparasiit <i>Gyge branchialis</i> , imiuss	Raskmetallid	Positiivne ektoparasiidi korral	(Dairain <i>et al.</i> , 2019)
			Seost pole endoparasiidi korral	
Rändkarp (<i>Dreissena polymorpha</i>)	Ripslased, Rickettsiales-taolised organismid (RLO-d), imiussid	Raskmetallid	Positiivne (RLO-de korral)	(Minguez <i>et al.</i> , 2011)
			Negatiivne (<i>B. polymorphus</i> korral)	
Karp <i>Amiantis umbonella</i>	Krabi <i>Arcotheres tivelae</i>	Raskmetallid	Negatiivne (akumulatsioon parasiitses krabis)	(Saeedi, 2012)

Lihtlitsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Liis Laul,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose "Parasiitide mõju reostunud keskkonnas elavatele peremeestele", mille juhendaja on Tuul Sepp, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Liis Laul

27.05.2022