



**TURUN  
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen  
tiedekunta

**Leväsiiran (*Idotea balthica*) kyky havaita liejutaskurapu  
(*Rhithropanopeus harrisi*) ja kivinilkka (*Zoarces viviparus*)  
vesivälitteisten jälkien avulla**

Vilma kokko

Biologia  
LuK-tutkielma  
Laajuus: 8 op

17.2.2026

Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu  
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

LuK-tutkielma

**Pääaine:** Biologia

**Tekijä:** Vilma Kokko

**Otsikko:** Leväsiiran (*Idotea balthica*) kyky havaita liejutaskurapu (*Rhithropanopeus harrisi*) ja kivinilkkä (*Zoarces viviparus*) vesivälitteisten jälkien avulla

**Ohjaaja(t):** Lars Pelikan, Veijo Jormalainen

**Sivumäärä:** 16 sivua

**Päivämäärä:** 17.2.2026

---

Leväsiira (*Idotea balthica*) on Itämeren ekosysteemissä keskeinen avainlaji, joka on merkittävä ravintolaji useille pedoille ja vaikuttaa leväyhteisöihin laiduntamalla. Vieraslajin, liejutaskuravun (*Rhithropanopeus harrisi*), leviämisen myötä leväsiirtojen kannat ovat vähentyneet merkittävästi Saaristomerellä. Yhdeksi mahdolliseksi syyksi on esitetty, että liejutaskurapu edustaa leväsiirtoille uutta petotyyppiä, jonka kanssa leväsiirtoilla ei ole yhteistä evoluutiohistoriaa. Näin ollen leväsiirat eivät välttämättä kykene tunnistamaan liejutaskurapuja niiden kemiallisten jälkien eli kairomonien avulla. Tämän tutkielman tavoitteena oli selvittää, tunnistavatko leväsiirat liejutaskuravun sen vesivälitteisten jälkien perusteella. Vertailulajina käytettiin kivinilkkää (*Zoarces viviparus*), jolla on pitkä yhteinen evoluutiohistoria leväsiirtojen kanssa ja jonka vesivälitteisten jälkien oletetaan olevan leväsiirtoille tunnistettavia. Kokeet toteutettiin Y:n muotoisessa valinta-akvaariossa, jossa leväsiirat pystyivät valitsemaan alueen, jossa virtasi joko petojen vesivälitteisiä jälkiä sisältävää vettä tai kontrollivettä. Kokeissa mitattiin yksilöiden ajankäyttöä eri alueilla, ensimmäisiä valintoja käsittelyn jälkeen sekä aktiivisuuden muutoksia vesivälitteisten jälkien vaikutuksesta. Leväsiirat valitsivat kivinilkan kokeissa merkittävästi useammin ensimmäisenä kontrollialueen kuin käsittelyalueen, kun taas liejutaskuravun kokeissa leväsiirat valitsivat alueet yhtä todennäköisesti. Tulos viittaa siihen, että leväsiirat välttivät kivinilkkää, mutta eivät liejutaskurapua. Petojen välttelyä ei kuitenkaan havaittu ajankäytön perusteella, sillä siirat viettivät lähes yhtä paljon aikaa käsittely- ja kontrollialueilla kummankin lajin kokeissa. Lisäksi siirtojen aktiivisuus väheni vesivälitteisten jälkien lisäämisen jälkeen molemmissa kokeissa.

---

**Avainsanat:** *Idotea balthica*, *Rhithropanopeus harrisi*, *Zoarces viviparus*, kairomonit, vesivälitteiset jäljet, valintakoe, vieraslaji

# Sisällys

<b>1</b>	<b><i>Johdanto</i></b> .....	<b>1</b>
1.1	Taustaa .....	1
1.2	Tutkimuskysymys ja hypoteesit .....	2
<b>2</b>	<b><i>Menetelmät</i></b> .....	<b>3</b>
2.1	Lajien keruu ja kokeiden valmistelut .....	3
2.2	Akvaariokokeet .....	5
2.3	Tilastolliset menetelmät.....	6
<b>3</b>	<b><i>Tulokset</i></b> .....	<b>7</b>
3.1	Ensimmäiset valinnat vesivälitteisten jälkien antamisen jälkeen .....	7
3.2	Leväsiirujen aktiivisuus .....	9
3.3	Leväsiirujen viettämä aika käsittely- ja kontrollialueella.....	10
<b>4</b>	<b><i>Pohdinta</i></b> .....	<b>11</b>
4.1	Leväsiirujen ensimmäiset valinnat.....	11
4.2	Aktiivisuuden muutokset .....	12
4.3	Leväsiirujen ajankäyttö käsittely- ja kontrollialueella .....	13
4.4	Tutkimuksen rajoitteet ja jatkotutkimus .....	14
	<b><i>Lähteet</i></b> .....	<b>15</b>

# 1 Johdanto

## 1.1 Taustaa

Leväsiirat (*Idotea balthica* Pallas) ovat yleinen äyriäislaji Itämeren rakkohauruvyöhykkeellä. Ne käyttävät rakkohaurua (*Fucus vesiculosus* L.) sekä ravintonaan että suojanaan, ja niillä on tärkeä rooli laiduntajina, sillä ne vaikuttavat levien biomassaan ja yhteisörakenteisiin (Leidenberger ym. 2012). Lisäksi leväsiirat ovat tärkeää ravintoa useille kaloille. Vatsalaukkujen sisälön perusteella ainakin 18 eri kalalajia käyttää leväsiiroja ravintonaan. Niihin kuuluvat esimerkiksi kivinilkat (*Zoarces viviparus* L.) ja ahvenet (*Perca fluviatilis* L.) (Salemaa 1978). Leväsiirat säätelevät sekä primäärituottajien määrää (top-down-vaikutus) että toimivat ravintona ylemmille trofiatasoille (bottom-up-vaikutus), joten ne ovat keskeisiä avainlajeja Itämeren ravintoverkossa (Leidenberger ym. 2012). Koska Itämeri on vähäsuolaisuutensa vuoksi lajistoltaan köyhä (Österblom ym. 2007), yhden avainlajin muutoksilla voi olla suuri vaikutus ekosysteemin toimintaan, mikä korostaa avainlajien tutkimisen tärkeyttä.

Leväsiirujen määrän on havaittu vähentyneen merkittävästi viime vuosina, mikä on yhdistetty liejutaskurapujen (*Rhithropanopeus harrisi* Gould) saapumiseen Itämerelle (Jormalainen ym. 2023). Liejutaskuravut ovat Pohjois-Amerikasta todennäköisesti painolastivesien mukana levinnyt vieraslaji, joka löydettiin Saaristomerellä ensimmäisen kerran vuonna 2009 ja on siitä lähtien levinnyt laajasti Saaristomerellä (Fowler ym. 2013). Taskuravut ovat aivan uudenlainen petotyyppi Itämeressä, minkä vuoksi leväsiirat eivät välttämättä tunnista liejutaskurapuja uhakseen (Jormalainen ym. 2023). Petona ravut liikkuvat hitaammin ja käyttävät saalistuksessa kemiallisia jälkiä, kun taas kalat ovat nopeampia saalistajia ja käyttävät näköä saaliin löytämiseksi (Wellborn ym. 1996; Kidawa ym. 2004). Yleisesti saaliseläimet pystyvät todennäköisemmin tunnistamaan uusia petoja, jos ne muistuttavat alueella ennestään esiintyviä petoja (Sih ym. 2010). Leväsiiroilla ei kuitenkaan ole yhteistä evoluutiohistoriaa taskurapujen kanssa (Jormalainen ym. 2023), minkä vuoksi liejutaskuravut eivät välttämättä laukaise leväsiiroissa saalistajalta suojautumiseen liittyviä käyttäytymisvasteita (Sih ym. 2010).

Vesiekosysteemeissä petojen tunnistaminen perustuu usein kemiallisiin vihjeisiin, sillä heikon valonläpäisykyvyn vuoksi näkyvyys on rajallista (Brönmark & Hansson 2000). Petoista vapautuu veteen tahattomasti niille ominaisia kemiallisia yhdisteitä eli kairomoneja, joita saalis-

eläimet voivat käyttää pedon tunnistamiseen. Tämä hyödyttää saalista, mutta on pedolle haitallista. Tunnistamalla nämä vesivälitteiset jäljet saalis voi välttää pedon ajoissa muuttamalla käyttäytymistään (Ferrari ym. 2010), mikä ilmenee tyypillisesti jähmettymisenä, piiloutumisena tai pakenemisena (Yli-Renko ym. 2021). Reaktiot pedon kairomoneihin voivat olla synnynnäisiä tai opittuja. Kun peto vahingoittaa saalista, sen kudoksista vapautuu yhdisteitä, joita ei esiinny muissa tilanteissa ja jotka viestivät vaarasta. Kokemattomat yksilöt voivat oppia tunnistamaan pedon kairomoneja näiden niin kutsuttujen hälytysvihjeiden avulla. Jos naiivi yksilö altistuu samanaikaisesti sekä pedon kairomoneille että samaan lajiin kuuluvan yksilön hälytysvihjeille, se voi oppia yhdistämään nämä toisiinsa ja tunnistaa pedon jatkossa (Ferrari ym. 2010). Leväsiirat eivät kuitenkaan välttämättä ole oppineet tunnistamaan liejutaskurapujen vapauttamia vesivälitteisiä jälkiä, mikä voi lisätä niiden alttiutta saalistukselle ja siten vaikuttaa leväsiirujen runsauteen.

## **1.2 Tutkimuskysymys ja hypoteesit**

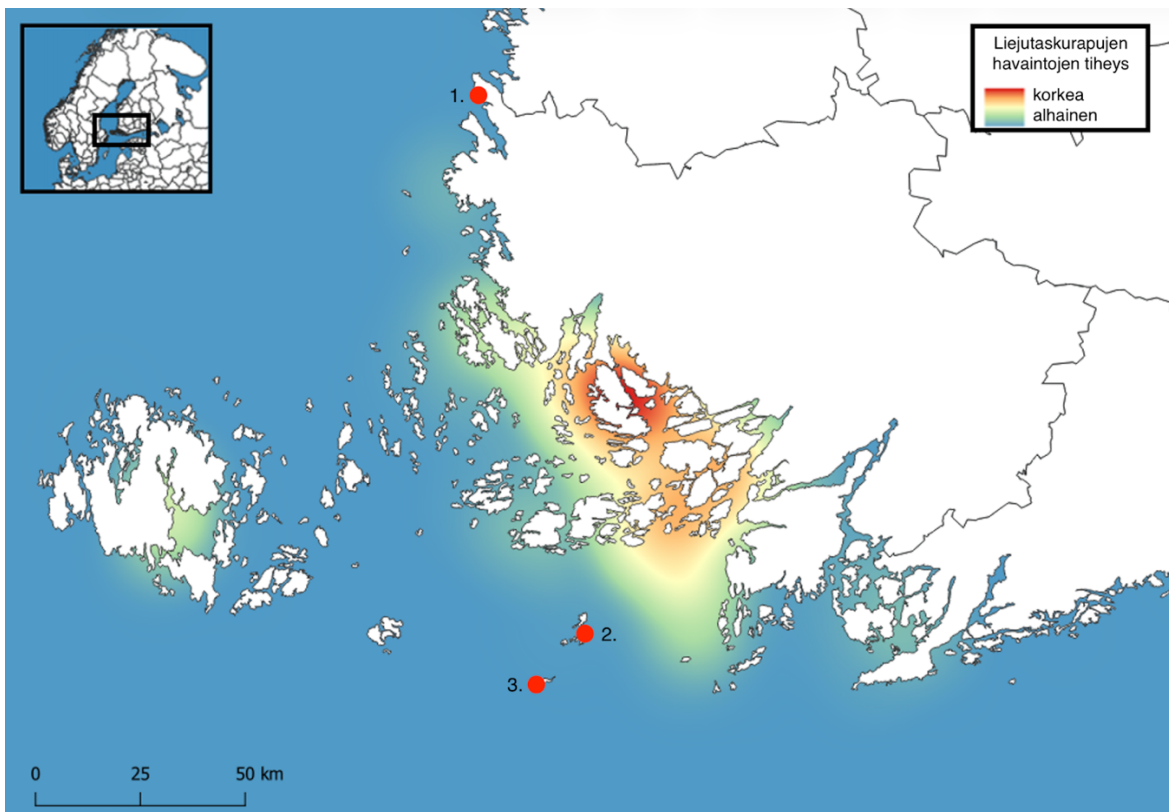
Kandidaatintutkielmani tavoitteena on tutkia, tunnistavatko leväsiirat liejutaskuravun vesivälitteisiä jälkiä. Vertailukohtana on, tunnistavatko leväsiirat kivinilkan vesivälitteisiä jälkiä. Kivinilkat ovat Itämerelle luontainen pohjakala ja yksi leväsiiran keskeisimmistä pedoista, joten leväsiirujen voidaan odottaa tunnistavan sen erittämiä kairomoneja. Aiemmassa tutkimuksessa havaittiin, että leväsiirat vähensivät merkittävästi aktiivisuuttaan kohdatessaan toisen tärkeän saalistajansa ahvenen vesivälitteisiä jälkiä, mutta eivät muuttaneet käyttäytymistään liejutaskuravun jälkien vaikutuksesta (Yli-Renko ym. 2022). Tutkimus tukee ajatusta siitä, että leväsiirat tunnistavat tuttuja saalistajiaan, kuten kivinilkan, pitkän yhteiselon seurauksena mutta eivät liejutaskurapuja.

Ensimmäisenä hypoteesina on, että leväsiirat tunnistavat kivinilkan, koska lajien välillä on pitkä yhteisevoluutio. Tämän oletetaan ilmenevän kivinilkan vesivälitteisten jälkien välttelyä sekä leväsiirujen vähentyneenä liikkumisena. Leväsiirat vaihtelevat huomattavasti väritykseltään ja käyttävät suojaväriä piiloutuakseen ympäristöönsä (Salemaa 1978), minkä vuoksi liikkumattomuus tehostaa suojaväriksen toimivuutta. Toisena hypoteesina on, että leväsiirat, jotka eivät ole aikaisemmin altistuneet liejutaskuravulle, eivät tunnista sitä saalistajaksi. Näin ollen leväsiirujen odotetaan muuttavan käyttäytymistään kivinilkan, mutta ei liejutaskuravun vesivälitteisten jälkien perusteella.

## 2 Menetelmät

### 2.1 Lajien keruu ja kokeiden valmistelut

Akvaariokokeita varten keräsimme tutkimusryhmän kanssa leväsiiroja Saaristomerен ulkosaa-riston rakkohauruvyöhykkeeltä kolmesta eri kohteesta: Sundskäristä, Rihtniemestä ja Jurmosta. Tutkimuskohteet valittiin alueilta, joilla ei ollut havaintoja liejutaskuravuista, jotta varmistettiin että leväsiirat eivät olleet aikaisemmin altistuneet rapujen vesivälitteisille jäljille (kuva 1). Leväsiirat kerättiin irrottamalla rakkohaurua meren pohjasta, ja ravistelemalla siirat siitä irti. Leväsiiroja oli kokeita varten yhteensä 153 yksilöä, joista 53 käytettiin liejutaskuravun kokeisiin ja 100 yksilöä kivinilkan kokeisiin. Tilastollisia testejä varten eri populaatiot yhdistettiin, että saatiin isompi aineisto (taulukko 1).



Kuva 1. Liejutaskurapujen havaintojen tiheys Saaristomerellä sekä leväsiirojen keräyspaikat: 1. Rihtniemi, 2. Sundskär ja 3. Jurmo. Kartan on tehnyt Lars Pelikan käyttäen QGIS-ohjelmaa (versio 3.15).

Taulukko 1. Leväsiirujen määrät eri populaatioista liejutaskuravun ja kivinilkan vesivälitteisten jälkien vaikutusten kokeissa.

	<b>Liejutaskurapu</b>	<b>Kivinilka</b>
Sundskär	16 kpl	33 kpl
Rihtniemi	18 kpl	29 kpl
Jurmo	19 kpl	38 kpl
<b>Yhteensä</b>	<b>53 kpl</b>	<b>100 kpl</b>

Liejutaskuravut ja kivinilkat kerättiin pienillä katiskoilla, joissa syöttinä käytettiin kalkkunanakkia, joka oli aiemmin todettu hyväksi syötiksi. Pyydyksiä laskettiin useisiin eri kohteisiin Saaristomerellä. Tavoitteena oli kerätä vähintään kolme yksilöä kummastakin lajista käsittelyveden valmistusta varten ja mahdollisuuksien mukaan valita samankokoisia yksilöitä.

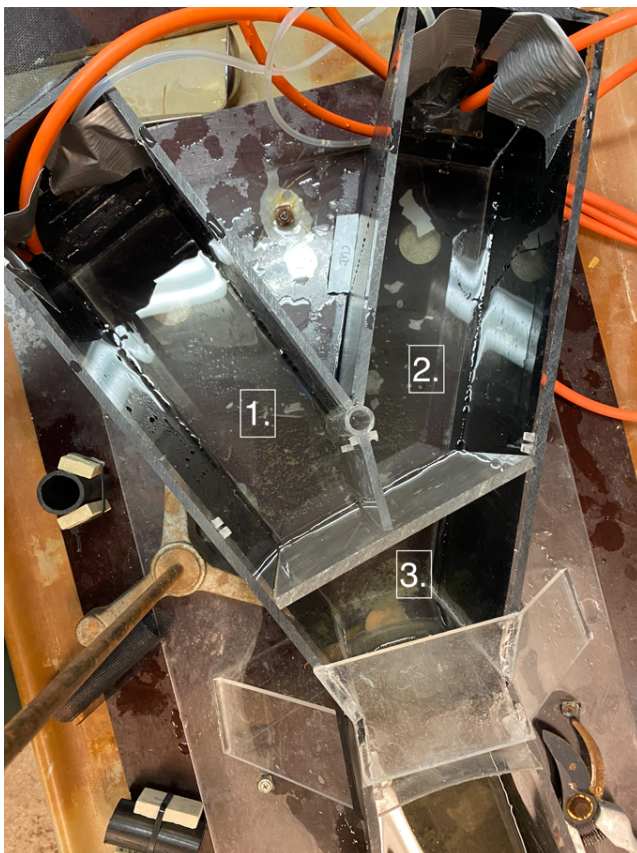
Leväsiiruja säilytettiin keräämisen jälkeen kylmiössä populaatioiden mukaan jaotelluissa säiliöissä, joissa vettä hapetettiin. Säiliöihin lisättiin rakkohaurua piilopaikoiksi ja ravinnoksi. Akvaariokokeessa käytettävät siirat siirrettiin pienempään altaaseen 24 tuntia ennen koetta, jotta niiden stressi olisi mahdollisimman vähäistä. Myös liejutaskuravut ja kivinilkat säilytettiin kylmiössä erillisissä ilmastetuissa säiliöissä. Niitä ruokittiin kalanruoalla, mikä lopetettiin 24 tuntia ennen kokeita, jotta ruokinta ei vaikuttaisi vesivälitteisten jälkien muodostumiseen.

Käsittelyvedet, jotka sisälsivät liejutaskuravun tai kivinilkan vesivälitteisiä jälkiä, valmistettiin 24 tuntia ennen kokeita ja jokaiselle testipäivälle valmistettiin aina uusi käsittelyvesi. Valmistuksessa altaaseen valittiin satunnaisesti kolme liejutaskurapua tai kolme kivinilkkaa, jotka punnittiin. Altaaseen lisättiin vettä siten, että veden määrä suhteutettiin liejutaskurapujen tai kivinilkkojen kokonaispainoon. Eläinten painon ja veden suhde oli 1,48 g/l, mikä valittiin aikaisempien kokeiden perusteella. Kontrollivesi säilytettiin samanlaisessa altaassa, ja oli se valmistettu samalla tavalla mutta ilman eläimiä. Molemmat vedet olivat saman lämpöisiä ollen lämpötiloiltaan 13–16 °C.

## 2.2 Akvaariokokeet

Kokeissa käytettiin Y:n muotoista valinta-akvaariota (kuva 2), jonka reunat oli peitetty mustalla teipillä ärsykkeiden määrän minimoimiseksi. Akvaarioon virtasi vettä neljästä putkesta akvaarion kahteen haaraan. Kahdesta putkesta johdettiin koko kokeen ajan tavallista merivettä, jotta akvaarioon muodostui jatkuva virtaus. Kahdesta muusta putkesta johdettiin vettä vasta kokeen jälkimmäisessä osiossa. Toisesta tuli käsittelyvettä, jossa oli vesivälitteisiä jälkiä ja toisesta kontrollivettä. Putkien puolta voitiin vaihtaa, ja ne oli kytketty peristaattiseen pumppuun (Watson Marlow Sci-Q 323, Watson-Marlow Fluid Technology Solutions, UK), jolla säädeltiin virtausnopeutta. Veden nopeus oli aiemmin säädetty käyttäen värjättyä vettä, ja sopivaksi virtausnopeudeksi oli määritetty 50 ml/min per putki.

Siirat pystyivät liikkumaan vain akvaarion V:n muotoisessa osassa (kuva 2). Tämä alue jaettiin eri osiin, joista toinen haara toimi käsittelyalueena, toinen kontrollialueena ja keskikohta oli kotialue. Veden virtauskokeiden perusteella myös kotialue jaettiin käsittelyn ja kontrollin puoliin, sillä virtaukset eivät täysin sekoittuneet kotialueella.



Kuva 2. Valinta-akvaario, jossa 1. on kontrollialue, 2. käsittelyalue ja 3. kotialue, joka on jaettu vielä käsittelyn ja kontrollin puoliin. Kotialue on suljettu molemmin puolin vettä läpäisevällä esteellä.

Kokeen alussa leväsiira asetettiin kotialueelle ja sen liikkuminen muihin osiin estettiin vettä läpäisevällä esteellä. Siira sai sopeutua altaaseen viiden minuutin ajan, minkä jälkeen este poistettiin ja sen annettiin liikkua vapaasti kontrolli-, käsittely ja kotialueella seuraavat viisi minuuttia. Siiran valintoja seurattiin, mille alueille siira liikkui ja kuinka kauan se vietti aikaa eri alueilla. Tämän jälkeen siira palautettiin kotialueelle ja sen liikkuminen estettiin uudelleen. Tälöin käsittelyveden ja kontrolliveden pumppaus aloitettiin ja siira sai yhden minuutin ajan sopeutua virtaukseen. Tämän jälkeen se vapautettiin uudelleen kulkemaan vapaasti viideksi minuutiksi, jonka aikana sen valintoja seurattiin.

Kokeiden välillä allas huuhdeltiin, ja seuraavaa koetta varten satunnaistettiin kummalle puolelle käsittelyvesi ja kontrollivesi johdettiin. Näin varmistettiin, etteivät mahdolliset muut kuin vesivälitteisiin jälkiin liittyvät tekijät vaikuttaneet siirojen valintoihin.

Leväsiiran liikkeiden kirjaamiseen käytimme Microsoft Exceliä (versio 16.94, Microsoft Corporation). Laadimme ohjaajani kanssa Exceliin makrokoodin, jonka avulla pystyimme merkitsemään, millä alueella siira milloinkin oli (kontrolli, käsittely, kontrollikoti tai käsittelykoti). Lopuksi Excel tuotti yhteenvedon siitä, kuinka kauan siira vietti aikaa kullakin alueella ennen ja jälkeen vesivälitteisten jälkien antamisen. Lisäksi sain ohjaajaltani tulokset siitä, mitkä olivat siirojen ensimmäiset valinnat käsittelyveden antamisen jälkeen ja kuinka monta alueenvaihtoa siirat tekivät ennen ja jälkeen käsittelyveden antamisen.

### **2.3 Tilastolliset menetelmät**

Tilastolliset analyysit suoritin RStudioissa R-ohjelmointikielellä (versio 4.4.2, R Core Team 2024). Aineistojen käsittelyssä käytin dplyr-pakettia (versio 1.1.4, François ym.) ja kaikkien kuvaajien luomisessa ggplot2-pakettia (versio 3.5.1, Wickham ym.). Tilastolliset testit suoritin R:n perusfunktioilla.

Alueilla vietettyjä aikoja koskevia analyysejä varten yhdistin kontrollialueen ja kotialueen kontrollipuolen ajat yhdeksi muuttujaksi, sekä vastaavasti käsittelyalueen ja kotialueen käsittelypuolen ajat. Koska muuttujat eivät olleet normaalisti jakautuneita ja mittaukset olivat parittaisia, vertasin kontrolli- ja käsittelyalueella vietettyjä aikoja Wilcoxonin parittaisella testillä. Tein testin erikseen liejutaskuravun ja kivinilkan kokeille. Lisäksi testasin Mann-Whitneyn U

-testillä, erosivatko ajat kivinilkan ja liejutaskuravun kokeiden välillä. Valitsin Mann-Whitneyn U -testin, koska kyseessä olivat toisistaan riippumattomat otokset.

Tutkin siirojen ensimmäisiä valintoja ennen ja jälkeen käsittelyveden annon erikseen kivinilkan ja liejutaskuravun kokeille. Eroja kontrollin ja käsittelyn välillä testasin khiin neliö -testillä. Jotkin siirat eivät tehneet valintaa lainkaan käsittely- ja kontrollialueen välillä vaan jäivät koti-alueelle, joten jätin ne huomioimatta testeistä.

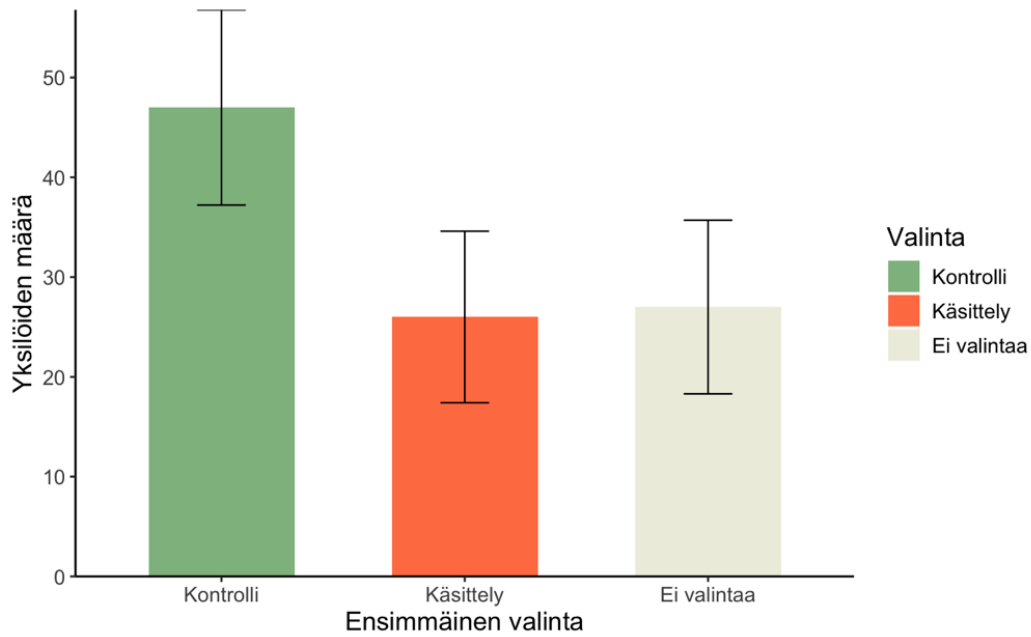
Siirujen aktiivisuutta mitattiin alueiden vaihtojen määränä kokeen aikana. Käytin Wilcoxonin testiä vertaamaan siirujen aktiivisuutta ennen ja jälkeen vesivälitteisten jälkien antamisen erikseen kivinilkan ja liejutaskuravun kokeissa. Lisäksi muodostin uuden muuttujan aktiivisuuden muutokselle, joka laskettiin alueiden vaihtojen määrän erotuksena vesivälitteisten jälkien antamisen jälkeen ja ennen. Näitä aktiivisuuden muutoksia vertasin keskenään Mann-Whitneyn U -testillä selvittääkseni, vähentävätkö siirat aktiivisuuttaan enemmän liejutaskuravun tai kivinilkan kokeissa.

Tekoälyä (ChatGPT, OpenAI; 2026) on hyödynnetty RStudion käytön tukena, kuten komentojen ymmärtämisessä, sekä tekstin kielenhuollossa ja sujuvuuden parantamisessa.

## **3 Tulokset**

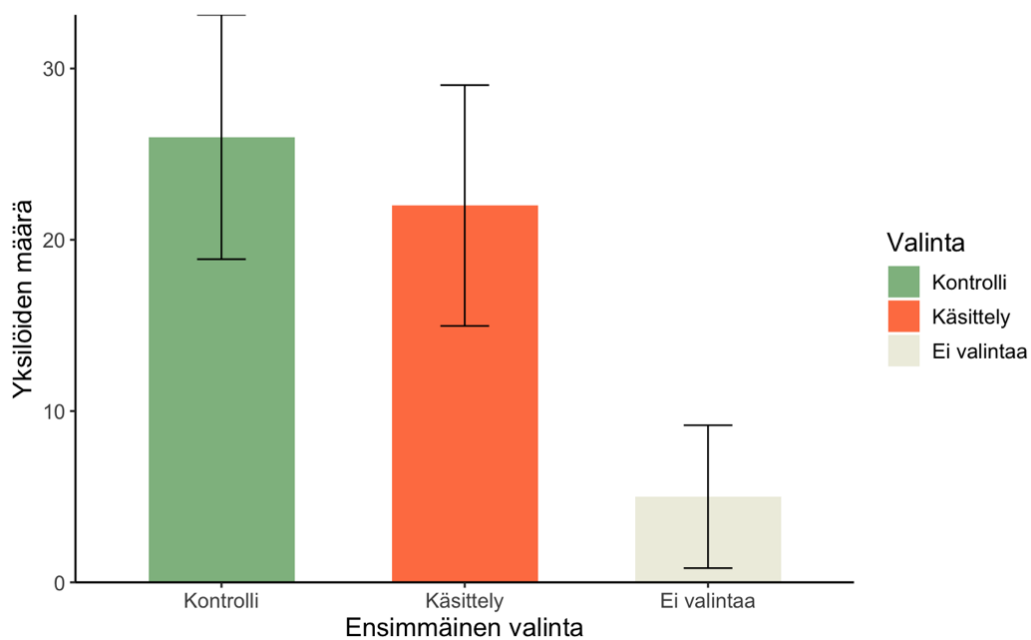
### **3.1 Ensimmäiset valinnat vesivälitteisten jälkien antamisen jälkeen**

Kohdatessaan kivinilkan vesivälitteisiä jälkiä leväsiirat valitsivat merkitsevästi useammin kontrollialueen kuin käsittelyalueen (khiin neliö -testi:  $\chi^2 = 6,0$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0,014$ ; kuva 3). Leväsiiroista 47 valitsi kontrollialueen ja 26 valitsi käsittelyalueen. Siiroista 27 ei tehnyt valintaa lainkaan eikä sisällytetty testiin. Leväsiirat siis välttelivät kivinilkkoja vesivälitteisten jälkien perusteella.



Kuva 3. Leväsiirujen ensimmäiset valinnat kiviniilkan vesivälitteisten jälkien antamisen jälkeen. Kuvaajaan on lisätty luottamusvälit 95 % tarkkuudella.

Liejutaskuravun vesivälitteisten jälkien kohtaaminen ei vaikuttanut leväsiirujen sijoittumiseen, vaan ne valitsivat lähes yhtä todennäköisesti käsittelyalueen kuin kontrollialueen ( $\chi^2 = 0,33$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0,56$ ; kuva 4). Siiroista 26 yksilöä valitsi liikkuu kontrollialueelle ensimmäisenä, 22 yksilöä käsittelyalueelle ja vain 5 siiraa ei tehnyt valintaa lainkaan. Leväsiirat eivät siis vältäneet liejutaskurapuja vesivälitteisten jälkien perusteella.

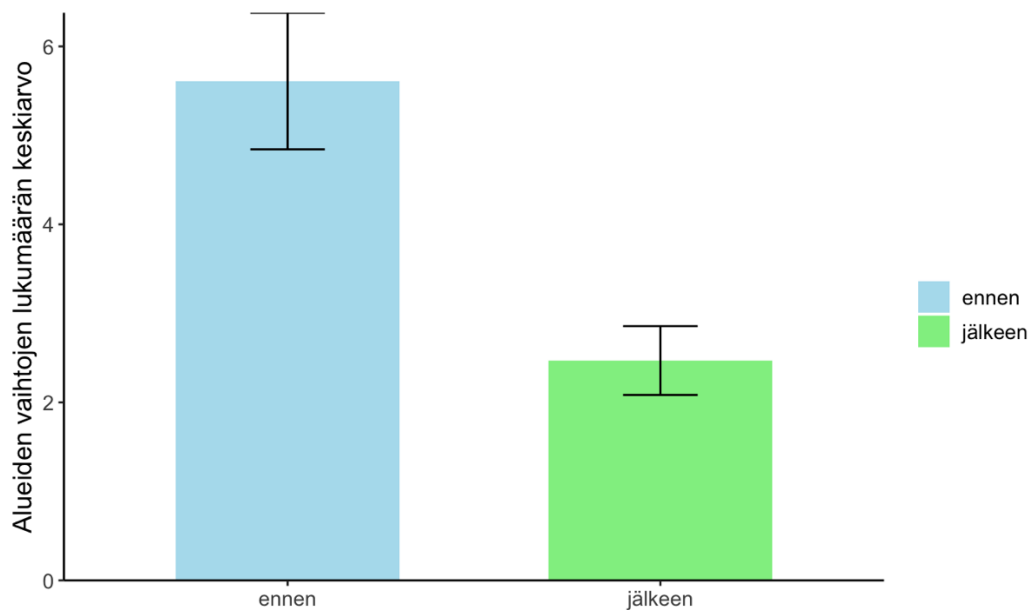


Kuva 4. Leväsiirujen ensimmäiset valinnat liejutaskuravun vesivälitteisten jälkien antamisen jälkeen. Kuvaajaan on lisätty luottamusvälit 95 % tarkkuudella.

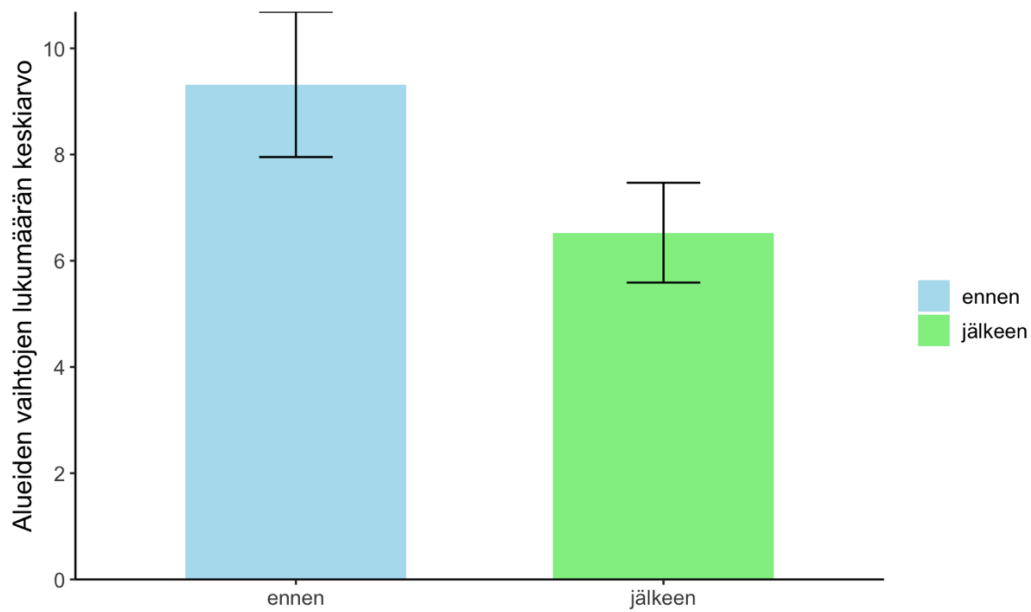
### 3.2 Leväsiirtojen aktiivisuus

Leväsiirat vähensivät merkitsevästi aktiivisuuttaan sen jälkeen, kun vesivälitteinen jälki tuli mukaan vesivirtaan sekä kivinilkan (Wilcoxonin testi:  $V = 2851$ ,  $p < 0,0001$ ,  $n = 100$ ; kuva 5) että liejutaskuravun ( $V = 853$ ,  $p = 0,006$ ,  $n = 53$ ; kuva 6) kokeissa. Leväsiirat vaihtoivat siis enemmän alueita ennen vesivälitteisten jälkien antamista kuin vesivälitteisten jälkien antamisen jälkeen.

Molemmissa kokeissa aktiivisuus väheni merkitsevästi, joten testasin eroavatko aktiivisuuden muutokset liejutaskuravun ja kivinilkan kokeiden välillä. Mann-Whitneyn U -testin perusteella kokeiden välillä ei ollut merkitsevää eroa ( $W = 2697$ ,  $p = 0,86$ ,  $n_1 = 100$ ,  $n_2 = 53$ ).



Kuva 5. Leväsiirtojen alueiden vaihtojen lukumäärän keskiarvo ja keskivirhe ennen ja jälkeen kivinilkan vesivälitteisten jälkien antamisen.

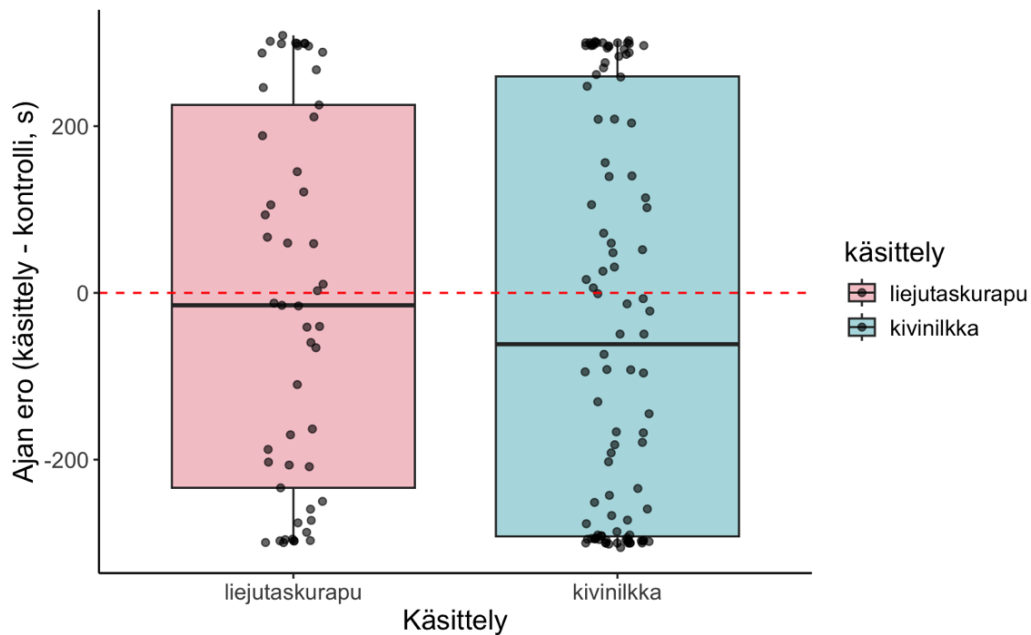


Kuva 6. Leväsiirujen alueiden vaihtojen lukumäärän keskiarvo ja keskivirhe ennen ja jälkeen liejutasuravun vesivälitteisten jälkien antamisen.

### 3.3 Leväsiirujen viettämä aika käsittely- ja kontrollialueella

Leväsiirat viettivät lähes yhtä paljon aikaa käsittely- ja kontrollialueella sekä kivinilkan (Wilcoxonin testi:  $V = 2189$ ,  $p = 0,25$ ,  $n = 100$ ) että liejutaskuravun ( $V = 717$ ,  $p = 0,99$ ,  $n = 53$ ) kokeissa (kuva 7). Leväsiirujen viettämä aika käsittely- ja kontrollialueella ei siis eronnut toisistaan kummankaan pedon kohdalla eli ajankäytön perusteella kummankaan pedon kemialliset jäljet eivät vaikuttaneet siirujen sijoittautumiseen.

Lisäksi testasin, eroavatko siirujen käsittely- ja kontrollialueella viettämät ajat kivinilkan ja liejutaskuravun kokeiden välillä. Kemiallisten jälkien vaikutuksella siiran sijoittautumiseen ei ollut eroa petojen välillä (Mann-Whitneyn U -testi:  $W = 2438$ ,  $p = 0,42$ ,  $n_1 = 100$ ,  $n_2 = 53$ ; kuva 7).



Kuva 7. Leväsiirujen viettämä aika käsittely- ja kontrollialueella liejutaskuravun ja kivinilkan kokeissa. Y-akselilla on leväsiirujen käsittely- ja kontrollialueella viettämien aikojen erotus sekunteina. Positiiviset arvot tarkoittavat, että leväsiira vietti aikaa enemmän käsittelyalueella kuin kontrollialueella. Laatikojanakuvaajan laatikko sisältää keskimmäiset 50 % havainnoista ja keskiviiva on mediaani.

## 4 Pohdinta

Tutkielmani tavoitteena oli selvittää, tunnistavatko leväsiirat liejutaskurapujen ja kivinilkkojen aiheuttaman saalistusuhan niiden vesivälitteisten jälkien perusteella. Hypoteesina oli, että leväsiirat tunnistaisivat kivinilkan niiden pitkän yhteisen evoluutiohistorian perusteella, mutta eivät liejutaskurapua, joka on Itämeressä uudenlainen peto. Tutkimuksesta saadut tulokset tukivat tätä hypoteesia osittain.

### 4.1 Leväsiirujen ensimmäiset valinnat

Ensimmäisten valintojen tarkastelussa hypoteesina oli, että kivinilkan kokeissa leväsiirat valitsivat ensin kontrollialueen ja välttäisivät aluetta, jossa oli vesivälitteisiä jälkiä, kun taas liejutaskuravun kokeissa alueiden valinta olisi yhtä todennäköistä. Tulokset tukivat tätä hypoteesia.

Alueiden välttely on tunnettu saalistuksen vastainen sopeuma useilla vesieliöillä. Esimerkiksi vesikirpuilla (*Daphnia pulex*) tehdyissä kokeissa yksilöt liikkuvat aina pois päin alueesta, jossa

oli pedon kairomoneja (Kleiven ym. 1996). Vesisiirroilla (*Asellus aquaticus*) tehdyssä samankaltaisessa valintakokeessa mitattiin, kauanko yksilöt viettivät aikaa alueella, jossa oli petojen (ahvenen tai sudenkorenon toukan) vesivälitteisiä jälkiä, ja kontrollialueella. Laboratoriossa kasvatetut vesisiirat, jotka eivät aikaisemmin olleet altistuneet petojen kairomoneille, eivät vältäneet niitä, kun taas luonnosta kerätyt yksilöt, joilla oli kokemusta pedoista, viettivät selvästi enemmän aikaa kontrollialueella välttämällä petoja (Harris ym. 2013). Tämä viittaa siihen, että petojen tunnistaminen perustuu aikaisempaan kokemukseen.

Myös tässä tutkimuksessa leväsiirat välttivät tutun pedon vesivälitteisiä jälkiä, mutta eivät reagoineet samalla tavalla liejutaskurapua kohtaan. Tutkimuksessa käytetyt leväsiirat oli kerätty alueilta, joissa liejutaskurapuja ei esiintynyt. Se että rapujen vesivälitteiset jäljet eivät vaikuttaneet leväsiirtojen käyttäytymiseen, voi lisätä leväsiirtojen alttiutta saalistukselle alueilla, joille liejutaskuravut levittäytyvät. On kuitenkin mahdollista, että jatkuva altistuminen liejutaskuravuille voisi ajan myötä johtaa niiden vesivälitteisten jälkien oppimiseen ja tehokkaampaan vältelyyn.

## 4.2 Aktiivisuuden muutokset

Aktiivisuutta tarkasteltiin ennen ja jälkeen kairomonien lisäämisen. Hypoteesina oli, että kivinilkan kokeissa siirat vähentäisivät aktiivisuuttaan, kun taas liejutaskuravun kokeissa aktiivisuus ei muuttuisi olennaisesti. Tulosten perusteella aktiivisuus kuitenkin väheni molemmissa kokeissa.

Aiemmissä tutkimuksissa siirat ovat vähentäneet aktiivisuuttaan kohdatessaan tutun pedon kairomoneja (Holomuzki ja Short 1988; Yli-Renko ym. 2022). Yli-Rengon ja muiden (2022) tutkimuksessa leväsiirat vähensivät merkittävästi aktiivisuuttaan ahvenen vesivälitteisten jälkien vaikutuksesta, mutta eivät reagoineet liejutaskuravun kairomoneihin. Tämä poikkeaa tämän tutkimuksen tuloksista, joissa aktiivisuus väheni myös liejutaskuravun kohdalla.

Käytetty koeasetelma ei ollut ihanteellisin aktiivisuuden muutosten tutkimiseen. Ennen ja jälkeen -tilanteiden välillä siirat siirrettiin takaisin kotialueelle ja siirtäminen saattoi vaikuttaa käyttäytymiseen. Siirat tarttuivat usein akvaarion rakenteisiin, ja niiden irrottaminen saattoi olla häiritsevää, mikä on voinut osaltaan lisätä yleistä aktiivisuuden vähenemistä. Aktiivisuuden tutkimiseen soveltuisi paremmin koeasetelma, jossa mittaukset tehdään pidemmällä aikavälillä

ilman siirtojen käsittelyä välissä. Monissa vesivälitteisiä jälkiä koskevissa tutkimuksissa kairomonit tai muut vihjeet lisätään suoraan akvaarioon ilman eläinten siirtämistä (Spivey ym. 2015; Sehr ja Gall 2016; Yli-Renko ym. 2022). Y-akvaario soveltuu siten paremmin valintakäyttämisen kuin aktiivisuuden muutosten tarkasteluun.

Ensimmäisten valintojen tarkastelussa havaittiin lisäksi, että osa siirroista ei tehnyt valintaa lainkaan eli eivät liikkuneet kokeen aikana kumpaankaan suuntaan. Kivinilkan kokeissa 27 % yksilöistä ei tehnyt valintaa (kuva 3), kun taas liejutaskuravun kokeissa vastaava osuus oli 9 % (kuva 4). Suurempi valitsematta jättäneiden osuus kivinilkan kokeissa saattaisi viitata aktiivisuuden vähenemiseen pedon tunnistamisen kohdalla, mikä tukisi hypoteesia aktiivisuuden vähentämisestä tutun pedon kohdalla.

### **4.3 Leväsiirtojen ajankäyttö käsittely- ja kontrollialueella**

Kun tarkasteltiin aikaa, jonka leväsiirat viettivät käsittely- ja kontrollialueella, oletuksena oli, että kivinilkan kokeissa siirat viettäisivät enemmän aikaa kontrollialueella välttämällä kivinilkan kairomoneja. Liejutaskuravun kokeissa puolestaan oletettiin, että siirat viettäisivät suunnilleen yhtä paljon aikaa molemmilla alueilla. Tulosten perusteella siirat viettivät kuitenkin molemmissa kokeissa keskimäärin yhtä paljon aikaa kummallakin alueella, eikä selkeää vesivälitteisten jälkien välttelyä havaittu ajankäytön perusteella. Tämä eroaa ensimmäisten valintojen tarkastelusta, jossa siirat välttivät käsittelyaluetta tutun pedon kohdalla. Samankaltaisessa vesisiirroilla tehdyissä valintakokeissa luonnosta kerätyt vesisiirat viettivät huomattavasti enemmän aikaa kontrollialueella välttämällä petoja, kun taas pedoille naiivit laboratorioissa kasvatetut yksilöt eivät välttäneet alueita (Harris ym. 2013). Näiden tulosten perusteella olisi voinut olettaa, että myös leväsiirat olisivat viettäneet enemmän aikaa kontrollialueella tunnistessaan tutun pedon kairomoneja.

Harrisin ym. (2013) tutkimuksen koeasetelma oli hyvin samankaltainen tämän tutkimuksen kanssa, sillä siirat saivat valita alueita, joissa virtasi käsittely- ja kontrollivettä suurin piirtein vastaavilla kairomonikonsentraatioilla. Keskeinen ero oli kuitenkin se, että Harrisin ym. (2013) kokeessa ei ollut ennen ja jälkeen -tilannetta vaan siirat asetettiin suoraan valintatilanteeseen. Tässä tutkimuksessa siirto kotialueelle ennen mittausta saattoi lisätä stressiä ja vaikuttaa siirtojen käyttäytymiseen. Siirat viettivät usein koko koejakson joko käsittely- tai kontrollialueella,

mikä viittaa vähäiseen liikkumiseen alueiden välillä. Siirtämisestä aiheutunut stressi on saattanut lisätä liikkumattomuutta ja siten vaikuttaa havaittuun ajankäyttöön. Lisäksi leväsiirat ovat aiemmissa tutkimuksissa vähentäneet aktiivisuuttaan saalistuksen vastaisena vasteena (Yli-Renko ym. 2022), joten on mahdollista, että siirat yksinkertaisesti jäivät paikoilleen kohdattaessaan vesivälitteisiä jälkiä, jolloin ajankäytön eroja ei juurikaan havaita.

#### **4.4 Tutkimuksen rajoitteet ja jatkotutkimus**

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, tunnistavatko leväsiirat liejutaskurapuja, sillä rapujen leviäminen on yhdistetty siirojen vähenemiseen. Kivinilka toimi kokeissa lähinnä vertailukohtana varmistamaan kokeiden toimivuus, sillä oletuksena on, että pitkäaikaisen yhteiselon seurauksena leväsiirat tunnistavat kivinilkat saalistajiksi. On kuitenkin huomioitava, että kalojen ja rapujen aiheuttamat vasteet eivät välttämättä ole suoraan vertailukelpoisia, sillä ne edustavat erilaisia petotyyppisiä. Kalat ovat aktiivisia ja nopeasti liikkuvia saalistajia, jolloin saaliin vasteena on usein aktiivisuuden vähentäminen, kun taas selkärangattomat pedot liikkuvat hitaammin ja saalistavat väijyen (Wellborn ym. 1996). Harrisin ym. (2013) tutkimuksessa vesisiirtojen vasteet kalalle ja sudenkorennon toukalle erosivat toisistaan, vaikka vesisiirat kuitenkin reagoivat kummankin lajin vesivälitteisiin jälkiin. Heidän tutkimuksessaan pohdittiin, että siirat saattavat tunnistaa erilaisia petotyyppisiä, ja näin ollen reagoivat pedon mukaan eri tavoin. Aiheesta tehdyssä toisessa tutkimuksessa verrattiin saaliiden erilaisia vasteita selkärangattomiin ja selkärangattomiin petoihin. Tutkimuksessa huomattiin, että selkärangattomien kohdalla saaliit vähensivät useammin aktiivisuuttaan, kun puolestaan selkärangattomien kohdalla saaliit yrittivät todennäköisemmin päästä pois paikalta (Wooster ja Sih 1995).

Tämän tutkimuksen rajoitteisiin kuuluu myös epätasainen otoskoko, jossa 100 leväsiiraa käytettiin kivinilkan kokeisiin ja 53 leväsiiraa liejutaskuravun kokeisiin. Epätasainen jakauma johtui tutkimuskysymyksen vaihtumisesta kesken tutkimuksen. Lisäksi eri populaatioiden yksilöt yhdistettiin, mikä voi peittää mahdollisia populaatiokohtaisia eroja. Jatkossa olisi kiinnostavaa tutkia populaatioita erikseen ja käyttää tasaisempia otoskokoja.

Tutkimus on biologisesti merkityksellinen, sillä leväsiirtojen runsas väheneminen liejutaskurapujen leviämisen myötä on huolestuttavaa. Leväsiirat ovat keskeinen avainlaji vähälajisessa Itämeren ravintoverkossa, ja niiden vähenemisellä voi olla laajoja vaikutuksia ekosysteemin toimintaan. Tutkimuksen tulokset osittain tukevat hypoteesia siitä, että leväsiirat, jotka eivät

ole aikaisemmin altistuneet liejutaskuravuille eivätkä niiden vesivälitteisille jäljille, eivät tunnista liejutaskurapuja saalistajiksi niiden erittämien kairomonien perusteella. Tämän seurauksena liejutaskuravut eivät välttämättä laukaise leväsiiroissa tehokkaita saalistuksen vastaisia vasteita, mikä voi lisätä niiden alttiutta saalistukselle. Kuten aiemmin todettiin, petojen tunnistaminen voi kuitenkin kehittyä oppimisen kautta kairomonien ja hälytysvihjeiden yhtäaikaisen havaitsemisen avulla. Tästä syystä käynnissä oleva jatkotutkimus, jossa selvitetään leväsiirojen kykyä oppia tunnistamaan liejutaskurapujen vesivälitteisiä jälkiä, on erityisen tärkeä. Tällainen oppiminen voisi parantaa leväsiirojen selviytymistä ja siten edistää niiden kantojen säilymistä Itämeressä.

## Lähteet

Brönmark, C. and Hansson, L. 2000. Chemical communication in aquatic systems: an introduction. - *Oikos* 88: 103–109.

Ferrari, M. C. O., Wisenden, B. D. and Chivers, D. P. 2010. Chemical ecology of predator–prey interactions in aquatic ecosystems: a review and prospectus. The present review is one in the special series of reviews on animal–plant interactions. - *Can. J. Zool.* 88: 698–724.

Fowler, A., Forsström, T., Von Numers, M. and Vesakoski, O. 2013. The North American mud crab *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) in newly colonized Northern Baltic Sea: distribution and ecology. - *AI* 8: 89–96.

Harris, S., Karlsson Green, K. and Pettersson, L. B. 2013. Predator faunas past and present: quantifying the influence of waterborne cues in divergent ecotypes of the isopod *Asellus aquaticus*. - *Oecologia* 173: 791–799.

Holomuzki, J. R. and Short, T. M. 1988. Habitat use and fish avoidance behaviors by the stream-dwelling isopod *Lirceus fontinalis*. - *Oikos* 52: 79–86.

Jormalainen, V., Kiiskinen, E., Hauhia, V. and Merilaita, S. 2023. Functionally novel invasive predator eradicates herbivores of a littoral community. - *AquaInv* 18: 313–329.

Kidawa, A., Markowska, M. and Rakusa-Suszczewski, S. 2004. Chemosensory Behaviour in the Mud Crab, *Rhithropanopeus Harrisii Tridentatus* From Martwa Wisla Estuary (Gdansk Bay, Baltic Sea). - *Crustac* 77: 897–908.

Kleiven, O. T., Larsson, P. and Hobæk, A. 1996. Direct distributional response in *Daphnia pulex* to a predator kairomone. - *J Plankton Res* 18: 1341–1348.

Leidenberger, S., Harding, K. and Jonsson, P. R. 2012. Ecology and Distribution of the Isopod Genus *Idotea* in the Baltic Sea: Key Species in a Changing Environment. - *Journal of Crustacean Biology* 32: 359–389.

Salemaa, H. 1978. Geographical variability in the colour polymorphism of *Idotea baltica* (Isopoda) in the northern Baltic. - *Hereditas* 88: 165–182.

Sehr, E. K. and Gall, B. G. 2016. Responses of an aquatic isopod and amphipod to chemical alarm cues from damaged conspecifics. - *Journal of Freshwater Ecology* 31: 231–237.

Sih, A., Bolnick, D. I., Luttbeg, B., Orrock, J. L., Peacor, S. D., Pintor, L. M., Preisser, E., Rehage, J. S. and Vonesh, J. R. 2010. Predator–prey naïveté, antipredator behavior, and the ecology of predator invasions. - *Oikos* 119: 610–621.

Spivey, K. L., Chapman, T. L., Schmitz, A. L., Bast, D. E., Smith, A. L. B. and Gall, B. G. 2015. The alarm cue obstruction hypothesis: isopods respond to alarm cues, but do not respond to dietary chemical cues from predatory bluegill. - *Behav* 152: 167–179.

Wellborn, G. A., Skelly, D. K. and Werner, E. E. 1996. Mechanisms creating community structure across a freshwater habitat gradient. - *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 27: 337–363.

Wooster, D. and Sih, A. 1995. A review of the drift and activity responses of stream prey to predator presence. - *Oikos* 73: 3–8.

Yli-Renko, M., Pettay, J. E., Rothäusler, E. and Vesakoski, O. 2022. Lack of anti-predator recognition in a marine isopod under the threat of an invasive predatory crab. - *Biol Invasions* 24: 3189–3198.