

**Arktisten alueiden järviökosysteemit muuttuvassa  
ilmastossa: tarkastelussa lohikalat**

Anna-Sofia Haipus

790351A  
LuK-tutkielma  
Maantieteen tutkinto-ohjelma  
Oulun yliopisto  
8.5.2021

## Tiivistelmä

Ilmastonmuutoksen seuraukset ilmenevät erittäin voimakkaasti maapallon arktisilla alueilla. Vuotuisen keskilämpötilan nousu ja lisääntyneet sateet vaikuttavat etenkin lumen sekä jään muodostumiseen. Ilmaston lämpenemisen vaikutuksesta lajien elinympäristöt muuttuvat ja tämän seurauksena eliöstön on pyrittävä sopeutumaan uusiin elinolosuhteisiin. Uuden elinympäristön resurssit eivät aina vastaa lajien optimaalista tilaa, minkä vuoksi etenkin tietyt arktisilla alueilla elävät eliölajit ovat uhattuina.

Pohjoisen arktiset järvet toimivat elinympäristönä lukuisille eliöille, kuten viileissä ja puhtaissa vesistöissä viihtyvillä lohikaloilla. Ekosysteemissä tapahtuvat muutokset saattavat vaikeuttaa lajien ravinnonsaantia, kasvua ja lisääntymiskäyttäytymistä, jotka joissain tapauksissa voivat aiheuttaa suurta vaihtelua järvien trofiatasoissa. Hapekkaat ja puhtaat järvet tarjoavat lohikaloille ensiluokkaisen elinympäristön ja samalla lajit toimivat vesistöjen hyvinvoinnin indikaattoreina. Lohikalat ovat herkkiä vesistöissä tapahtuville muutoksille ja niiden avulla saadaan paljon tietoa ilmastosta sekä vesistöjen tilasta.

Tutkielmani on kirjallisuuskatsaus, jossa tarkastelen lohikaloja ja ilmastonmuutoksen kokonaisvaltaisia vaikutuksia niihin. Käsittelen tutkielmassani muuttuvan ilmaston aiheuttamia seurauksia arktisissa järvissä sekä tarkastelen ilmastonmuutosta niin järviveden, -maiseman kuin eliöstön kannalta. Esimerkkilajeina toimivat lohi (*Salmo salar*), taimen (*Salmo trutta*) ja nieriä (*Salvelinus alpinus*). Tarkoituksena on selvittää, miten ilmaston lämpeneminen vaikuttaa ja mitkä ilmastotekijät ovat merkittävimpiä lohikalapopulaatioiden kannalta. Vertailen kolmea esimerkkilajia ja pyrin löytämään eroja sekä yhtäläisyyksiä niiden väliltä. Selvitän myös, miten eri lohikalat reagoivat ilmastonmuutokseen ja kuinka ne selviävät nykytilanteessa sekä tulevaisuudessa.

## Sisällysluettelo

<b>Tiivistelmä.....</b>	<b>2</b>
<b>Sisällysluettelo.....</b>	<b>3</b>
<b>1 Johdanto .....</b>	<b>4</b>
<b>2 Teoreettinen viitekehys .....</b>	<b>7</b>
2.1 Arktiset alueet .....	7
2.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset maailman kalastoon.....	10
2.3 Järviekosysteemi .....	11
2.4 Habitaatti .....	12
<b>3 Arktiset järvet.....</b>	<b>12</b>
3.1 Ilmastonmuutoksen vaikutukset arktisten järvien vesiin .....	14
3.2 Arktisen järvimaiseman muutokset.....	16
3.3 Muutokset arktisten järvien eliöstössä .....	16
<b>4 Lohikalat arktisissa järvissä.....</b>	<b>17</b>
4.1 Lohi .....	18
4.2 Taimen.....	19
4.3 Nieriä.....	20
<b>5 Ilmastonmuutoksen vaikutukset lohikalapopulaatioihin .....</b>	<b>21</b>
<b>6 Pohdinta .....</b>	<b>23</b>
<b>7 Lähdeluettelo .....</b>	<b>26</b>

## 1 Johdanto

Muuttuva ilmasto on ollut ihmiskunnan huolenaiheena jo pitkään. Huoli on aiheellinen, sillä ilmakehä on maapallon elinehto (Smerdon 2018). Ilman sitä maan pinta olisi jäässä ja ilman nestemäistä vettä elämä olisi mahdotonta (Smerdon 2018: 13). Ilmakehällä on myös lukuisia muita elintärkeitä tehtäviä. Se muun muassa suojaa maata vaaralliselta auringon UV-säteilyltä sekä mahdollistaa hiilen ja veden kiertokulun (Smerdon 2018: 13). Kasvihuonekaasujen lisääntynyt määrä maapallon ilmakehässä ilmenee erinäisinä ongelmina ilmastossa (Box ym. 2019). Kasvihuonekaasuista tyypillisimpiä ovat hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>) ja vesihöyry (H<sub>2</sub>O), mutta myös erilaisia halogeenejä sekä metaania (CH<sub>4</sub>), dityppioksidia eli ilokaasua (N<sub>2</sub>O) ja alailmakehän otsonia (O<sub>3</sub>) esiintyy ilmassa (Smerdon 2018: 160). Lisääntyneen ihmistoiminnan seurauksena, kuten fossiilisten polttoaineiden käytön johdosta ilmakehään vapautuu esimerkiksi hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>), jonka kohonneet pitoisuudet ovat yksi suurimmista syistä ilmakehän lämpenemiseen (Smerdon 2018: 101). Smerdon (2018: 101) lisää, että myös maankäytön muutokset, sekä esimerkiksi tulivuorenpurkaukset lisäävät kasvihuonepäästöjä. Smerdon (2018: 161) toteaa, että napa-alueet ovat kärsineet ilmaston lämpenemisestä enemmän kuin mitkään muut alueet.

Arktisilla alueilla talviset olosuhteet hallitsevat ilmastoa pohjoisimmissa osissa ympäri vuoden, joten lumen ja jään sekä maaperän sulaminen ilmenee erittäin suurina muutoksina koko alueen ekosysteemidynamiikassa (Hinzman ym. 2013: 1837). Hinzman ym. (2013) ovat sitä mieltä, etteivät arktisten alueiden tämänhetkiset poikkeuksellisen äärimmäiset olosuhteet ole palautumassa entiselleen. Ilmastojärjestelmän muutokset, kuten vuotuisen keskilämpötilan nousu, valtamerien prosessien epätavalliset vaihtelut, heikentynyt albedo ja kasvihuonekaasujen lisääntyneet pitoisuudet nopeuttavat muun muassa arktisille alueille tyypillisen merijään vähenemistä (Cavalieri & Parkinson 2012). Holoseenin aikana tapahtuvaa alueellista ja ajallista lämpenemistä on mitattu Arktiksella jo pitkään, jotta muutosten aiheuttamia vaikutuksia pystyttäisiin tulevaisuudessa ennustamaan paremmin (Prowse ym. 2006: 339).

Maapallon lämpötilan nousu viimeisten vuosisatojen aikana on vaikuttanut myös vesistöjen ominaisuuksiin (Prowse ym. 2006: 339). Etenkin auringon ultraviolettisäteily tulee aiheuttamaan muutoksia arktisilla alueilla sijaitseviin makeanveden ekosysteemeihin (Wrona ym. 2006: 326). Ultraviolettisäteilyn pitkäkestoiset vaikutukset näkyvät niin vesistöjen eliöstön trofiatasoissa, kuin veden laadussa (Wrona ym. 2006: 326). Lämpeneminen aiheuttaa muutoksia myös järvien jäätymiseen ja jääpeitteen kestoon sekä veden lämpökerrostumiseen

(Prowse ym. 2006: 339). Kemiaaliset ja fysikaaliset muutokset vesistöissä ovat ilmastotekijöiden, kuten sadannan ja lämpötilan kasvun seurausta (Wrona ym. 2006: 326). Esimerkiksi näiden ja monien muiden tekijöiden vaikutusten tiedostaminen ja ymmärtäminen on erittäin tärkeää, jotta arktisten alueiden vesistöjä pystyttäisiin suojelemaan.

Wrona ym. (2006: 326) ovat sitä mieltä, että makeiden järvi-ekosysteemien toimintaa ymmärretään edelleen heikosti, mikä tekee vuorovaikutusten mallintamisesta osittain haastavaa. Makeanveden ekosysteemit toimivat erinomaisena tutkimuskohteena niiden haavoittuvaisen luonteen vuoksi. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ilmenevät pääasiassa näissä joko lämpötilan nousun tai sateissa ja haihdunnassa tapahtuvien muutosten myötä (Kernan ym. 2010: 16). Vesistöissä tapahtuvilla muutoksilla on merkittävät vaikutukset akvaattisissa habitaateissa eläviin lajeihin, kuten kaloihin (Laybourn-Parry ym. 2008). Muutokset eivät ainoastaan vaikuta yksittäisiin lajeihin, vaan koko biologiseen kirjoon ja siten myös ravintoverkkoihin (Laybourn-Parry ym. 2008: 1).

Maailman monimuotoisin kalasto sijaitsee tropiikissa, Etelä-Amerikan Amazon-joen valuma-alueella (Freitas ym. 2012: 159). Vesistöalue muodostaa myös maailman suurimman makean veden järjestelmän (Freitas ym. 2012: 159). Freitas ym. (2012) ovat tutkineet kalastoa Brasilian Amazonilla Atlantin pintavesien lämpenemisestä aiheutuneen kuivan jakson aikana, sitä ennen ja sen jälkeen. Tutkimuksen tarkoituksena on ollut kartoittaa suurien ilmastollisten häiriöiden vaikutuksia trooppisiin kalalajeihin ja lajien monimuotoisuuteen vuosien 2004 ja 2007 välillä (Freitas ym. 2012: 159). Freitas ym. (2012) havaitsivat, että kuivan kauden jälkeen lihansyöjät ja sekasyöjät vähenivät, kun taas kasvissyöjät, detritivorit ja planktivorit lisääntyivät vesistöissä. Muutokset Amazonilla olivat rakenteellisia, eivät niinkään lajimäärän kasvua tai vähenemistä aiheuttavia (Freitas ym. 2012: 169). Freitas ym. (2012) huomasivat vesistön ja kalalajien kuitenkin toipuvan hetkellisestä ilmastohäiriöstä huolimatta. Kalayhteisöt pystyvät siis elpymään hetkellisten häiriöiden jälkeen kohtuullisen nopeasti, mutta mitä tapahtuu, kun häiriöistä tulee pitkäkestoisempia, voimakkaampia ja pahimmassa tapauksessa pysyviä? Tutkimusalueena toimi Freitasen ym. (2012) tapauksessa makean veden virtavesiekosysteemi tropiikissa, joten on mielenkiintoista nähdä, kuinka järvi-ekosysteemi ja sen kalapopulaatiot reagoivat saman kaltaisiin ilmastossa tapahtuviin muutoksiin Arktiksella.

Freitas ym. (2012) osoittivat, että trooppisilla alueilla kohonneen lämpötilan aiheuttama kuivuus vaikutti makeissa vesissä herkästi ilmaston muutoksiin reagoivien kalalajien diversiteettiin huomattavasti. Tämän tutkielman tarkoitus on selvittää ja eritellä ilmastomuutoksen vaikutuksia arktisten järvien vesiin ja niissä eläviin lohikaloihin. Pyrin ensisijaisesti selvittämään mitkä ilmastotekijät vaikuttavat näihin lohikalapopulaatioihin ja

millaisia eroja kolmen esimerkkilajin välillä on. Kirjallisuuskatsauksen kohteena olevat lohikalat toimivat erinomaisina esimerkkilajeina, kun tarkastellaan arktisia järviä habitaattina. Lohikalat, kuten myös arktiset alueet, ovat hyvin herkkiä ilmastossa tapahtuville muutoksille, minkä vuoksi tutkimusasetelma on luonteva. Tutkielmassani etsin vastauksia seuraaviin kysymyksiin;

1. Miten ilmastonmuutos vaikuttaa arktisten järvien lohikaloihin?
2. Millaisia eroja valittujen lohikalalajien: lohen (*Salmo salar*), taimenen (*Salmo trutta*) sekä nieriän (*Salvelinus alpinus*) sieto- ja sopeutumiskyvyissä on järvissä tapahtuvissa muutoksissa?

## 2 Teoreettinen viitekehys

### 2.1 Arktiset alueet

Arktiset alueet eli Arktis kattaa maapallon pohjoisimmat alueet (Wrona ym. 2006: 326). Arktiksen määrittely ei ole yksiselitteinen ja alue voidaan rajata monella eri tavalla (ks. kuva 1), esimerkiksi ilmastollisten olosuhteiden, kuten kasvillisuuden ja lämpötilan perusteella (Laybourn-Parry ym. 2008: 3). Rajaus voidaan toteuttaa myös poliittisia rajoja tai maantieteellisiä ominaisuuksia mukaillen (Keskitalo 2004). Keskitalo (2004) korostaa, että yleensä arktisten alueiden määritelmät perustuvat leveyspiireihin ja vuotuiseen keskilämpötilaan. Arktiseksi alueiksi voidaan luokitella lämpötilan perusteella ne alueet, joiden vuotuinen keskilämpötila pysyy alle 10 celsiusasteen (Keskitalo 2004: 31) Keskitalon (2004: 2) mukaan Arktiksen nykyinen, maantieteellisesti laajempi määritelmä kattaa Kanadan, Yhdysvaltojen, Venäjän, sekä viiden pohjoismaan alueita. Pohjoismaista mukaan kuuluvat Suomi, Ruotsi, Islanti, Norja ja Tanskalle kuuluva Grönlanti (Keskitalo 2004). Meriympäristöissä arktinen alue voidaan puolestaan rajata kohtiin, joissa Jäämeren kylmä vesi sekoittuu Atlantin lämpimämmän ja suolaisemman veden kanssa (Keskitalo 2004: 31). Keskitalo (2004) lisää, että Pohjois-Atlantin virran lämmittävät vaikutukset saavat aikaan hyvinkin suuria alueellisia eroja samoilla leveyspiireillä, aivan kuten mantereisissäkin olosuhteissa ilmenee eroja esimerkiksi jääpeitteen ja kasvillisuuden osalta. Esimerkiksi Kanadassa raja kulkee merialueella noin leveyspiirin 63°N pohjoispuolella, kun taas Euroopassa rajakohta sijoittuu noin leveyspiirin 80°N kohdalle (Keskitalo 2004: 31).

Wrona ym. (2006) luonnehtivat Arktista ainutlaatuisena ympäristönä, jonka biofysikaaliset, geologiset ja ilmastolliset piirteet luovat monipuolisen kirjon erilaisia elinympäristöjä. Parhaiten Arktis tunnetaan maailmalla sen vaihtelevista ilmasto- ja sääoloista, maapallon kallistuskulman aiheuttamasta jatkuvasta päivänvalosta kesäaikaan sekä keskitalven kaamoksesta (Wrona ym. 2006: 326). Wrona ym. (2006) tuo esiin myös Arktiksella erittäin merkittävästi olosuhteisiin vaikuttavat tekijät, kuten ikiroudan ja kausittaisen lumi- ja jääpeitteen. Cavalieri & Parkinson (2012) kertovat merijääalueiden esiintymien sekä laajuuksien vaihtelevan alueittain, mutta havaittavissa on yleisellä tasolla kiihtyvää merijään vähenemistä. Myös Nature -lehden (2011) artikkeli esittää huolestuttavia tietoja Arktiksen jäätilanteesta, jossa lämpötilan kohoaminen on kaksi kertaa nopeampaa kuin muualla maailmassa. Arktiksen hiilivetyvarannot ovat luultavasti maailman suurimpia ja siksi useat

valtiot pyrkivät näihin käsiksi merijään vähentyessä (Nature 2011). Ikirouta-alueilla on myös suuret varannot mineraaleja, kuten timantteja, sinkkiä, kultaa ja kuparia (French 2017: 13).



Kuva 1. Arktis määriteltyä metsärajan, heinäkuun keskilämpötilan, pohjoisen napapiirin sekä Pohjoisen jäämeren mukaan (Pienitz ym. 2004: 8).

Arktiksen kasvillisuuteen suurin vaikuttava tekijä on kesän lämpötila (Walker ym. 2005). Walkerin ym. (2005) mukaan, kuten oletettuaikin, lämpötila nousee Arktiksen pohjoisista osista etelään siirryttäessä eli samalla myös kasvillisuus lisääntyy. Maakasvillisuudella on todettu



olevan vaikutuksia muun muassa järvien valuma-alueeseen (Laybourn-Parry ym. 2008: 13). Arktiksen pohjoisimmissa osissa heinäkuun keskilämpötila lähentelee 0 celsiusastetta, minkä vuoksi lajikirjo on hyvin vähäistä, ja kasvit joutuvat selviytymään aineenvaihduntansa puolesta äärirajoilla (Walker ym. 2005). Arktisten alueiden pääasiallinen kasvillisuustyyppe on tundra, mutta myös boreaalisia metsiä esiintyy Arktiksen eteläisimmillä, eli sub-arktisilla alueilla (Epstein ym. 2013). Epstein ym. (2013) lisäävät, että monet vaihettumisvyöhykkeiden tundra-alueet ovat ilmaston lämpötilan vaikutuksesta kuitenkin vihertymässä. Walker ym. (2005) jaottelevat arktisten alueiden kasvillisuutta lämpötilojen perusteella siten, että alimmissa lämpötiloissa (heinäkuun keskilämpötila alle 3 °C) ei esiinny lainkaan puuvartisia- tai sarakasveja. Kun heinäkuun keskilämpötilaa nousee (3-5 °C), alkavat pienet pensaskasvit selviytyä ja tästä muutaman asteen lämpimämmässä menestyvät jo isommatkin (alle 40 cm) pensaat (Walker ym. 2005). Keskilämpötilan lähestyessä 10 celsiusastetta, kasvien koko kasvaa huomattavasti (Walker ym. 2005). Walker ym. (2005) määrittelevät puurajan alkavan noin 10-12 °C kohdalla (sub-arktiset alueet), jossa eri kasvilajeja saattaa esiintyä jo lähemmäs 500.

Ilmastonmuutoksella tulee olemaan arktisilla alueilla vakavat seuraukset niin ekosysteemien, talouden kuin ihmiskunnan osalta (Crépin ym. 2017). Crépinin ym. (2017) mukaan arktinen ympäristö, talous sekä ihmiskunta ovat vahvasti sidoksissa toisiinsa, joten ilmastonmuutoksen vaikutukset tulevat koskettamaan lopulta kaikkia osapuolia joko yhdessä tai erikseen. Ilmastolliset muuttujat, kuten sadanta, haihdunta, lämpötila, tuulet sekä UV-säteily aiheuttavat ensisijaisesti muutoksia ekosysteemien habitaatteihin, jotka heijastuvat niin biologiseen toimintaan ja rakenteeseen kuin ihmisten terveyteen ja maankäyttöön (Wrona ym. 2006: 327). Wronan ym. (2006) mukaan suurimmat haasteet tulevat arktisilla alueilla liittymään ekosysteemien osalta etenkin jää- ja virtavesijärjestelmiin, limnologiaan, kasvillisuuteen, alueiden geologiaan, maaperään sekä ikiroutaan.

Arktisten alueiden ikiroudalla on suuri vaikutus ympäristöön ja ihmisen toimintaan (Vincent ym. 2017). Ikiroudan merkitys käy ilmi esimerkiksi eliöstön, ekologian, geomorfologian ja biokemiallisen sekä erilasten vesiekosysteemien toiminnan osalta (Vincent ym. 2017). French (2017) kuvaa ikirouta-alueiksi sellaisia alueita, joissa esiintyy yli kaksi vuotta stabiilina pysynyttä jäätyneisyyttä maaperässä. Ikiroudan sulaminen aiheuttaa muun muassa maan vajoamista, jonka vahinkoja pyritään kontrolloimaan parhaan mukaan erilaisten rakennustekniikoiden avulla (French 2017: 379, 384). Arktis toimii myös kotina monille alkuperäiskansoille (Sjöberg ym. 2019). Heille arktisten alueiden vesistöt ovat elintärkeitä kalastus- ja metsästysmaita (Laybourn-Parry ym. 2008: 1). Näkyvimvät muutokset, kuten jään sulaminen aiheuttavat tulvien ohella huolta myös esimerkiksi kulkuyhteyksistä ja turismin

kannattavuudesta (French 2017: 396). French (2017) korostaa, että syrjäiset alueet voivat saada huomattavan määrän toimeentulostaan matkailuteollisuudesta, joka on puolestaan riippuvainen jään sekä arktisille alueille tyypillisten olosuhteiden säilymisestä.

## 2.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset maailman kalastoon

Kalastusta ja kalakantoja on tutkittu maailmalla pitkään. Muuttuva ilmasto aiheuttaa epävarmuustekijöitä, joten tutkimusta tarvitaan kalaston hyvinvoinnin takaamiseksi. Ilmastonmuutoksella tiedetään olevan vaikutuksia esimerkiksi kalojen trofiatasoihin, kasvuun, levinneisyyteen sekä vaellustapoihin (McIlgorm ym. 2010). Tutkimustulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että ilmastonmuutos muuttaa myös kokonaisia ekosysteemejä habitaattien lisäksi (McIlgorm ym. 2010). McIlgormin ym. (2010: 170) mukaan kalastoon vahvasti vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa vesistöjen lämpenevät pintavedet, rannikkoalueiden vesistöjen nousussa tapahtuvat muutokset sekä vesipatsaan lisääntynyt kerrostuminen. Arktisilla alueilla kalakantoihin vaikuttavat edellä mainittujen tekijöiden lisäksi myös lumi- sekä jääpeitteen pysyvyys (Prowse ym. 2011). Jääkerroksen alla lämpenevä vesipatsas heikentää esimerkiksi jääkannen kestävyyttä, joka puolestaan aiheuttaa muutoksia bioottisiin prosesseihin (Prowse ym. 2011: 64).

Yhdysvalloissa Columbia-joen lohikannan on huomattu kärsivän biofysikaalisista muutoksista, jotka vaikuttavat esimerkiksi lohien vaellukseen, kasvuun sekä selviytymiseen (McIlgorm ym. 2010: 172). McIlgorm ym. (2010: 173) kertovat samankaltaisista ongelmista myös Kanadassa ja muualla Yhdysvalloissa, joiden vuoksi kalastusta on jouduttu näillä alueilla rajoittamaan. Biskajanlahdella on puolestaan havaittu muutoksia koko alueen kalastossa pintavesien lämpenemisen seurauksena (McIlgorm ym. 2010: 173). On huomioitava, että kaikki lajit eivät kuitenkaan kärsi vesistöjen lämpenemisestä, vaan osa saattaa jopa hyötyä siitä (McIlgorm ym. 2010: 173). Ilmastonmuutos vaikuttaa vahvasti sääilmiöihin ja läntisellä Tyynellämerellä on huomattu, että sääilmiöiden El Niño sekä La Niña muutokset (esim. veden liikkeet ja olosuhteiden intensiteetti) aiheuttavat haasteita valtamerikalastukselle (McIlgorm ym. 2010: 173). McIlgorm ym. (2010: 173) lisäävät, että ilmastonmuutos sekoittaa myös valtameriprosesseja, kuten merivirtojen toimintaa. Heidän mukaansa esimerkiksi Itä-Australian lämpimän virran muutoksilla saattaa olla vaikutuksia kalojen liikkeisiin. Havaijilla meriolosuhteiden muutokset ovat aiheuttaneet mm. uhanalaisten lajien liikettä uusille alueille, jolloin ne saattavat joutua kalastuspaikoilla vahinkosaaliiksi (McIlgorm ym. 2010: 173-174). Milano ym. (2021) tutkivat Argentiinan Patagonian alueen järvien täplämeltejä (*Galaxias*

*maculatus*), jotka toimivat avainlajeina näissä järvissä. He pohtivat avainsaalislajien merkitystä ja ilmaisivat huolensa ilmastonmuutoksen aiheuttamasta avainlajien katoamisesta yksinkertaisten ravintoverkkojen ympäristöistä.

McIlgormin ym. (2010) ja Milanon ym. (2021) artikkelien perusteella voidaan todeta ilmastonmuutoksella olevan hyvin laajat vaikutukset maapallon kalastoon erilaisissa akvaattisissa ympäristöissä. Ilmastonmuutos muokkaa ennen kaikkea eliöiden fyysistä ympäristöä, jonka muutokset pakottavat pahimmassa tapauksessa kalaston muuttamaan elinympäristöään tai vaellustottumuksiaan (McIlgorm ym. 2010). Tämä ei aiheuta ongelmia ainoastaan kaloille, vaan myös ammattikalastajille. Kalastuksen rajoitustoimet johtavat hallinnollisiin muutoksiin sekä ylimääräisiin taloudellisiin kuluihin (McIlgorm ym. 2010: 174).

### 2.3 Järviekosysteemi

Järvet kuuluvat makeanveden ekosysteemeihin (Laybourn-Parry ym. 2008). Vaikka järviä ja lampia on lukematon määrä, maapallon makea vesi sijaitsee pääasiassa varastoituneena napa-alueiden lumi- ja jääpeitteeseen, sekä pohjavesiin (Brönmark & Hansson 2005: 207). Järviekosysteemeissä elävien organismien käytettävissä on maapallon makean veden varannoista ainoastaan 0,5 %, joten kyseessä on todella uniikki elinympäristö, joka tarjoaa elintilaa globaalisti jopa yli 70 000 lajille (Brönmark & Hansson 2005: 207-208). Brönmark & Hansson (2005: 208) ilmaisevat huolensa järviekosysteemien haavoittuvuudesta. Heidän mukaansa ilmastonmuutos sekä maankäytön muutokset sivuvaikutuksineen luovat erittäin suuren uhan sekä järviekosysteemeille että koko maapallon biodiversiteetille. Järviä on hyvin paljon erilaisia ja niiden tyypilliset ominaisuudet määräytyvät järven syntytyypin mukaan (Doran ym. 2008). Erilaisia järvityyppejä ovat muun muassa postglasiaaliset järvet, kraatterijärvet, tektoniset järvet, termokrastiset järvet sekä vulkaaniset järvet (Doran ym. 2008).

Järviekosysteemi koostuu ympäristön lisäksi sen abioottisista tekijöistä, erilaisista organismeista, ravintoverkoista ja elollisesta luonnosta (Brönmark & Hansson 2005: 3). Brönmark & Hansson (2005: 7) luokittelevat järviekosysteemin abioottisiin tekijöihin kuuluviksi järvivedelle tyypilliset fyysikaaliset sekä kemialliset ominaisuudet, kuten esimerkiksi lämpötilan, pH-arvon, valon määrän sekä ravintoaine-, hiili- ja happipitoisuuden. He lisäävät myös, että veden pyörteisyys sekä habitaattien pysyvyys ovat osa järvien kuvitteellista abioottista ”kehystä”. Järvien eliöstö koostuu suurimmaksi osaksi organismeista, joiden koko vaihtelee 0,01-1 mm välillä (Brönmark & Hansson 2005: 67). Tähän ryhmään Brönmark & Hansson (2005: 67) luokittelevat kuuluviksi esimerkiksi levät, erilaiset alkueliöt,

makroeläinplanktonin sekä rataseläimet. Suurempia järvivesissä eläviä organismeja ovat muun muassa perifytonit, makrofytyt, vesistön pienet selkärangattomat ja kalat (Brönmark & Hansson (2005: 67). Järvivesissä tavataan kaikkien edellä mainittujen lisäksi myös erilaisia viruksia sekä bakteereja (Brönmark & Hansson 2005: 67). Erilaisten organismien välillä ilmenee biologista vuorovaikutusta ja siten lajit vaikuttavat esimerkiksi toistensa populaatiodynamiikkaan (Brönmark & Hansson 2005: 107). Brönmark & Hansson (2005: 107-109) nostavat esiin lajien välisen kilpailun sekä predaation, jotka ovat suurimpia eliöryhmien rakennetta muokkaavia tekijöitä.

## 2.4 Habitaatti

Habitaattia on määritelty vuosien saatossa sanakirjoissa lukuisin eri tavoin. Yleisesti ottaen habitaattia voidaan kuvata jonkin samankaltaiset ekologiset vaatimukset omaavan lajin tai lajiryhmän alueelliseksi laajuudeksi (Bunce ym. 2013: 20). Bamford & Calver (2014) toteavat, että habitaatti on terminä usein tulkinnanvarainen. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi lajin elinympäristön määrittelyssä tai kuvaamaan tiettyä elinympäristöä ilman erillistä mainintaa lajista (Bamford & Calver 2014). Bamford & Calver (2014) toteavat, että habitaatin määritelmä voi olla erilainen tieteenalasta riippuen ja aiheuttaa siten myös sekaannusta. Esimerkiksi kasvi- ja eläintieteilijöiden määritelmät eroavat toisistaan siten, että eläintieteilijät usein kuvaavat habitaatilla tietynalaista ympäristöä (esim. arktinen järvi tai mangrovesuo), kun taas kasvitieteilijät tietyn lajin elinympäristöä ympäristöolosuhteineen (Bamford & Calver 2014).

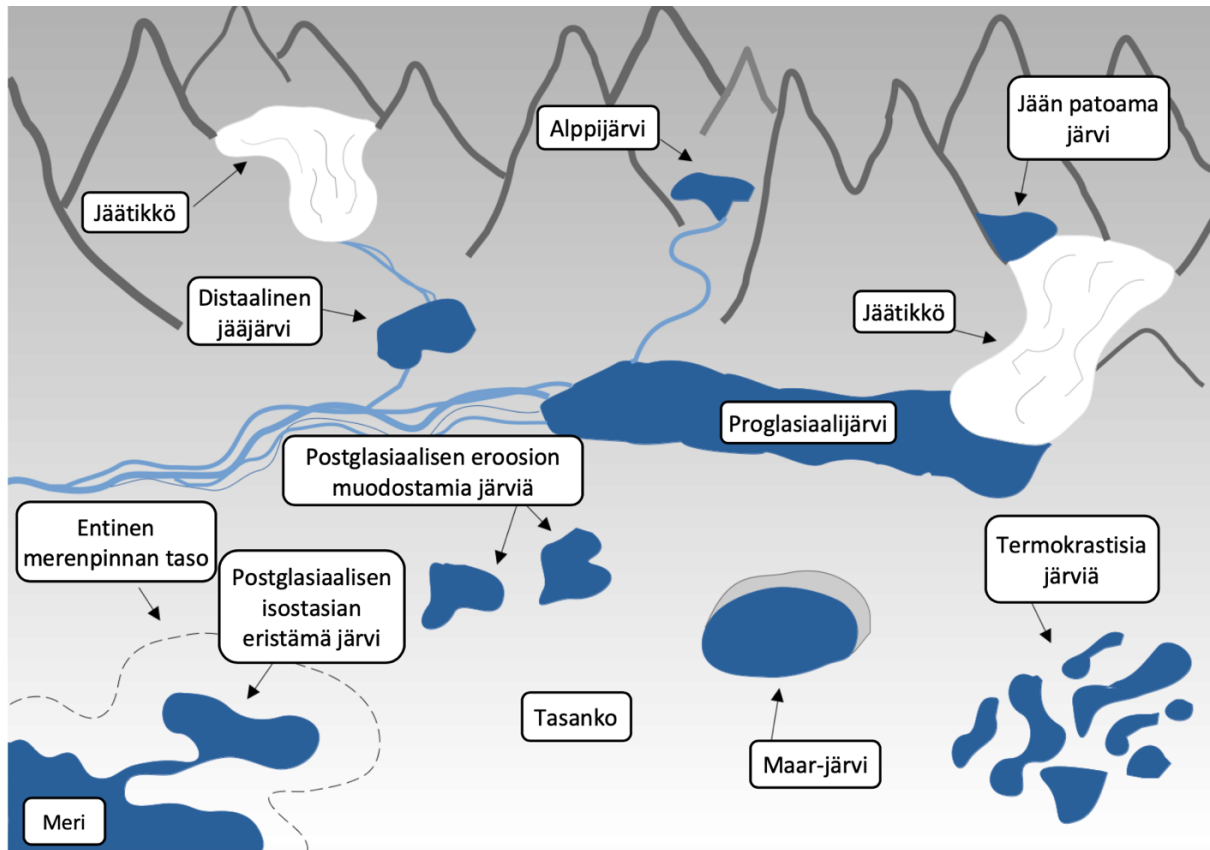
Maapallolla tapahtuva habitaattien katoaminen ja pirstoutuminen on uhka koko biologiselle monimuotoisuudelle (Fletcher ym. 2018). Habitaatit ja niiden tiedostaminen ovat erittäin tärkeitä myös poliittisen päätöksenteon ja luonnonsuojelun kannalta (Bunce ym. 2013: 19). Bunce ym. (2013: 19) korostavat habitaattien merkitystä biologisen monimuotoisuuden indikaattoreina. Erilaiset lajit tarvitsevat erilaisia elinympäristöjä ja siksi suojelutyö edellyttää tietämystä lajeista ja niiden tarvitsemista habitaateista (Fahrig 2003). Koska ekosysteemipalveluilla on suuri poliittinen merkitys tämän päivän luonnonsuojelussa, saatetaan habitaattista käyttää joskus yleistettyä ja löyhempää määritelmää ”ekosysteemi” (Bunce ym. 2013: 20).

## 3 Arktiset järvet

Kernanin ym. (2010: 16) mukaan pohjoiset järvet ovat iältään nuoria, sillä suurin osa niistä on muodostunut viimeisimmän jääkauden jälkeen, eli noin 15 000–10 000 vuotta sitten. Pohjoisen

alueen järvet ovat muodostuneet pääasiassa viimeisimmän jääkauden huppukohdan (LGM = Last Glacial Maximum) aikaisen jäälautan liikkeen seurauksena (Doran ym. 2008: 26). Doranin ym. (2008: 26) mukaan leveyspiirin 45° pohjoispuolella noin 200 000 alle 50 km<sup>2</sup> kokoista järveä vertailemalla voidaan todeta, että arktiset järvet sijoittuvat pohjoisen ikerouta-alueille ja eniten niitä tavataan jääkauden aikana jään peitossa olleilla alueilla (Doran ym. 2008: 26). Doran ym. (2008: 26) määrittävät arktisten järvien esiintyvyyden olevan näillä alueilla noin 14.4 järveä/1000 km<sup>2</sup>. Islannin, Suomen sekä Ruotsin maaperät tunnetaan järvimaisemista, mutta pelkästään Murmanskin alueella Venäjällä arktisia järviä on yli 100 000 (Doran ym. 2008: 35). Lisäksi järviä sijoittuu Kandan pohjoisosiin sekä Alaskan alueille (Doran ym. 2008: 35). Arktisilla alueilla on järvien lisäksi myös paljon lampia (Doran ym. 2008: 35). Doran ym. (2008: 35) erottavat pienet järvet ja lammet toisistaan niiden jäätymisominaisuuksien perusteella. Heidän mukaansa suurin ero on, että lampien vesi jäätyy pohjaan saakka, kun taas järvien jääkerrostuman ja pohjan välissä on tyypillisesti nestemäistä vettä. Sadannassa sekä haihdunnassa tapahtuneet muutokset kuivattavat järviä ja lampia Arktiksella, samaan aikaan, kun ikeroudan sulaminen luo uusia järviä eteläisemmille alueille (Laybourn-Parry ym. 2008: 12-13).

Ellei toisin mainita, seuraava teksti perustuu Doranin ym. (2008) artikkeliin *Origin and geomorphology of lakes in the polar regions*. Arktiset järvet ovat syntyneet moniulotteisen tapahtumaketjun seurauksena, johon vaikuttavat esimerkiksi alueen topografia, geologia, periglasiaaliset prosessit, pohjavesien liikkeet sekä jäätymishistoria. Nämä tekijät ovat luoneet arktisille alueille laajan kirjon erilaisia järviä. Järviä syntyy helposti suoalueille ja kosteikoille sekä jäätikön läheisyyteen. Suoalueilla esiintyy niin kutsuttuja termokrastisia järviä (kuva 2), jotka syntyvät ikeroudan sulaessa. Jäästä riippuvaiset järvet muodostuvat usein joko jäälauttojen väliin, niiden päälle tai esimerkiksi jäätyneeseen moreeniin. Arktiksella esiintyy suurimmaksi osaksi jäätikön patoamia järviä (kuva 2). Tällöin järvi syntyy jäätikön reunaan vuoristoisessa maastossa. Postglasiaaliset järvet (kuva 2) ovat puolestaan syntyneet jääkauden aikaisen jäälautan aiheuttaman eroosion myötä. Kilpialueet ovat topografisesti erinomaista maastoa järvien muodostumiselle, joista esimerkkinä toimii Kanadan pohjoisen kilpialueen lukuisat järvet. Doran ym. (2008) mainitsevat tässä yhteydessä myös glasiofluviaalisen toiminnan seurauksena syntyneet kamejärvet, jotka ovat sedimenttimuodostumia mukailevia järviä.



Kuva 2. Erilaisia arktisilla alueilla esiintyviä järviä. Kuva luotu Doranin ym. (2008: 28) kuvaa 2.2 mukailleen.

Glasioisostaattisen maankuoren kohoamisen seurauksena rannikkoalueille merivedestä on erkaantunut myös mono- ja meromiktisiä suolajärviä (kuva 2). Niiden lisäksi Arktiksella esiintyy kraaterijärviä sekä vulkaanisen toiminnan synnyttämiä järviä, joista tunnetuimpia ovat maar-järvet eli maarit (kuva 2). Ne ovat matalahkoja ja pyöreitä kraattereita, jotka ovat muodostuneet magman sekä veden aiheuttamassa purkauksessa. Maareja esiintyy muun muassa Islannissa sekä Alaskassa. Suurin osa Islannin järvistä on sen sijainnin vuoksi jollain tavalla myös yhteydessä laattatektoniikkaan. Arktisia järviä voi niin ikään syntyä karstimaalle, sillä niille tyypillinen kallioperä (esim. kalkkikivi) on hyvin herkästi liukenevaa. Lisäksi pienempiä järviä voi muodostua esimerkiksi jokien meanderoidessa sekä ihmisen toimesta.

### 3.1 Ilmastonmuutoksen vaikutukset arktisten järvien vesiin

Ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan etenkin arktisten järvien veden hydro-ekologisiin prosesseihin sekä veden laatuun (Doran ym. 2008: 38). Vaikutukset ovat alkaneet jo näkyä esimerkiksi jääpeitteen heikkoudessa sekä veden lämpötilassa ja kerrostumisessa (Laybourn-

Parry ym. 2008: 12). Laybourn-Parry ym. (2008: 13) mukaan arktisten järvien vesipatsaat ovat ympäri vuoden niin kylmiä, että vesi säilyy kesäisinkin vapaasti sekoittuvana. He lisäävät, että ilmaston lämpeneminen saattaa aiheuttaa muutoksia kesällä tapahtuvaan veden lämpökerrostumiseen, jolloin vaikutukset ilmenisivät esimerkiksi biogeokemiallisissa prosesseissa ja kasviplanktonin valon saannissa. Järven happikato on myös yksi vakavista ongelmista, joka johtaa usein nopeaan rehevöitymiseen (Laybourn-Parry ym. 2008: 13). Tällöin järven pohjasta saattaa vapautua veteen rautaa, mangaania sekä epäorgaanista fosforia (Laybourn-Parry ym. 2008: 13).

Useiden arktisten järvien vesiä kontrolloivat jääpadot voivat sulaaessaan johtaa järvien kuivumiseen (Laybourn-Parry ym. 2008: 13). Jääkuori toimii patojen ja jäätiköiden tapaan järviveden suojana, joten sen heikentyessä tai kadotessa kokonaan muun muassa veden sekoittuminen häiriintyy ja aiheuttaa siten suuria häiriöitä limnologiaan (Laybourn-Parry ym. 2008: 13). Laybourn-Parry ym. (2008: 13) mukaan jääkuoren puuttumisella olisi merkittävä vaikutus myös veden saamaan auringon säteilyn määrään. Myös jääkuoren päällä oleva lumipeite suojaa vedenalaista elämää ja Prowsen ym. (2011: 64) mukaan sen puuttumisesta aiheutuvat seuraukset saattaisivat olla jopa otsonikatoakin voimakkaammat. Arktiksella alle kaksi metriä syvät järvet jäätyvät usein pohjaa myöten (Prowse ym. 2011: 64). Jään paksuus vaihtelee alueittain, mutta korkeimmilla leveyksillä arktisten järvien jääpeitteen paksuus voi olla jopa 4-5 metriä. (Doran ym. 2008: 35). Prowsen ym. (2011: 64) mukaan jääpeitteen paksuuteen negatiivisesti vaikuttavat liialliset sateet sekä korkea lämpötila. He olettavat tällaisten sääolojen aikaistavan jäiden lähtöä keväisin. Ohut jää sekä jäiden normaalia aiempi lähtö keväällä lisäävät vesistöjen lämpenemistä entisestään (Prowse ym. 2011: 64). Prowse ym. (2011: 64) mainitsevat, että pidentyneillä jäättömällä jaksoilla on todennäköisesti vaikutuksia arktisten järvien vesien sekoittumiseen ja täten eliöiden habitaatteihin. He nostavat esiin muun muassa vesistön hapettumiseen ja ravintoaineisiin liittyvät haasteet.

Ikiroudan sulaminen arktisilla alueilla saattaa johtaa vesistöjen laadun huononemiseen, sillä kohonnut lämpötila liuottaa jäähän aiemmin sitoutuneena olleita aineita vesistöön (Roberts ym. 2017: 1). Roberts ym. (2017: 1) mainitsevat myös hydrokemialliset muutokset, sillä etenkin sulfaatit ovat lisääntyneet järvivesissä ilmaston lämpenemisen ja ikiroudan sulamisen seurauksena. Lisäksi järvissä tapahtuu happamoitumista (Michelutti ym. 2007: 1). Arktisille alueille tyypilliset matalat ja pienet järvet ovat erittäin herkkiä erilaisille fysiokemiallisille muutoksille (Roberts ym. 2017: 1). Roberts ym. (2017: 1) mukaan jo pienet häiriöt sadannassa saattavat muuttaa hydrologiaa lumien sulamisen tai valunnan osalta.

### 3.2 Arktisen järvimaiseman muutokset

Ilmaston lämmetessä metsät siirtyvät yhä pohjoisemmaksi. Kasvillisuuden, kuten puiden ja pensaiden lisääntyminen arktisten järvien valuma-alueella voi lisätä esimerkiksi humusmateriaalia ja happoja maaperään (Laybourn-Parry ym. 2008: 13). Orgaanisen materiaalin lisääntyminen järvivesissä ilmenee tummina hiukkasina, jolloin myös auringonvalo ja UV-säteily eivät pääse läpäisemään vesipatsasta niin helposti (Laybourn-Parry ym. 2008: 13). Laybourn-Parry ym. (2008: 13) nostavat kasvillisuuden lisääntymisestä aiheutuvista ongelmista esiin myös maaperän rapautumisen, albedon vähenemisen sekä juurten lisääntymisen. Myös ikeiroudan sulaminen voi niin ikään aiheuttaa muutoksia maisemaan (Roberts ym. 2017: 1).

### 3.3 Muutokset arktisten järvien eliöstössä

Järvien kausiluonteisessa jäätymisessä sekä sulamisessa tapahtuvilla muutoksilla voi olla merkittäviä vaikutuksia alueen biologiaan (Prowse ym. 2011: 71). Arktiset järviympäristöt koostuvat monista erilaisista habitaateista (Laybourn-Parry ym. 2008: 1) ja siten on selvää, että vesistöissä tapahtuvat muutokset heijastuvat myös niissä eläviin eliöihin. Järvivesissä tapahtuvia muutoksia voidaan seurata biologisten indikaattorien avulla (Prowse ym. 2006: 339). Sedimenteissä sijaitsevat indikaattorit, kuten piilevät, itiöt, siitepölyt, syanobakteerit, kasvien makrofossiilit antavat paljon tietoa vesistön tuotannosta sekä hyvinvoinnista (Prowse ym. 2006: 339). Tunnetumpina ja näkyvämpinä vesistön biologisina indikaattoreina Prowse ym. (2006: 339) nostavat esiin muun muassa raakkuäyriäiset, kaksisiipiset, erilaiset vesikirput sekä kalat. He kertovat parhaiden biologisten indikaattoreiden olevan sedimenttien joukosta helposti tunnistettavia sekä fysiologiansa puolesta hyvin säilyviä (esimerkiksi kitiinikuori). Etenkin piilevät ovat hyviä, sillä ne ovat erittäin tarkkoja oman habitaattinsa fysiokemiallisista olosuhteista (Roberts ym. 2017: 1). Jääpeitteen sulamisen ja jäätyminen vaihtelut sekä veden aikaisempi lämpeneminen vaikuttavat perustuotannon osalta esimerkiksi planktoneliöiden kasvun nopeutumiseen (Prowse ym. 2011: 64-65). Prowse ym. (2011: 65) käyttävät esimerkkitapauksena kasviplanktonin kukinnan aikaistumista, jolloin myös haitalliset syanobakteerit lisääntyisivät keväisin. Lisääntyneen auringonvalon vaikutus ei kuitenkaan ole täysin negatiivinen, sillä valon määrä tehostaa muun muassa benttisten eliöiden kasvua pohjan sedimenteissä (Laybourn-Parry ym. 2008: 13). Pääsääntöisesti lämpimät vedet ja jäiden väheneminen suosivat planktoneläimiä pohjaeliöiden sijaan (Roberts ym. 2017: 2).



Prowse ym. (2011: 65) korostavat veden lämpenemisen vaikutuksia järvieliöstön trofiatasoihin kokonaisvaltaisesti. Kun muutoksia tapahtuu perustuotannossa, heijastuvat ne myös jatkotuotantoon. Muutokset vesipatsaassa ja pidentynyt sulan veden aika saattavat johtaa joidenkin lajien häviämiseen, mikä vaikuttaa puolestaan koko vesistön eliöstöön ja ravintoverkkoihin (Prowse ym. 2011: 66). Järvien sulat vedet houkuttelevat alueille esimerkiksi vesilintuja, mutta samaan aikaan osa kalalajeista voi kärsiä (Prowse ym. 2011: 66). Prowsen ym. (2011: 66) mukaan ilmaston lämpenemisen seurauksena vesimassan harppauskerroksen eli termokliinin muodostuminen aikaistuu ja siitä tulee syvempi, mikä puolestaan pienentää sen ylä- ja alapuolella olevien kerrosten määrää vedestä. Tällöin kalat joutuvat sopeutumaan uusiin lämpötilaoloihin (Prowse ym. 2011: 66). Prowsen ym. (2011: 66) mukaan myös lumen syvyydellä on havaittu olevan vaikutusta arktisten järvien kalojen määrään. He korostavat myös tuulen ja jääpeitteen merkitystä habitaateille. Kaloja kuolee esimerkiksi happikadon seurauksena, kun jääkuoren pysyvyys järvissä lyhenee (Prowse ym. 2011: 66).

Prowse ym. (2011: 71) muistuttavat jälleen, etteivät vaikutukset ole pelkästään negatiivisia. Järvien kerrostumisen sekä hydrologian muutokset aiheuttavat joidenkin lajien katoamisen, mutta saattavat samalla vakiinnuttaa toisten lajien esiintymistä alueella (Prowse ym. 2011: 71). Esimerkiksi lämpimien vesien kalat siirtyvät kohti arktisten alueita, sillä ilmasto-olosuhteet alkavat olla pohjoisissakin järvivesissä niille suotuisia (Laybourn-Parry ym. 2008: 13). Uudet lajit voivat puolestaan vaikuttaa negatiivisesti alkuperäisiin kalapopulaatioihin (Laybourn-Parry ym. 2008: 13). Elinympäristön muutokset eivät Laybourn-Parryn ym. (2008: 14) mukaan aina aiheuta välitöntä muuttoa suotuisampiin vesistöihin, vaan veden lämpötila voi vaikuttaa negatiivisesti esimerkiksi kalojen kokoon tai lisääntymiseen. Veden lämpeneminen saattaa myös joissain tapauksissa lisätä järvien primäärituotantoa, joka tarkoittaa saalistajille lisää ravintoa (Roberts ym. 2017: 2). Tämä näkyy puolestaan positiivisena muutoksena kalojen koossa.

#### **4 Lohikalat arktisissa järvissä**

Lohikalat (*Salmonidae*) ovat yksi maapallon tutkituimmista kalaryhmistä (Barton 1996). Niitä tavataan tänä päivänä ympäri maapalloa erilaisissa habitaateissa, vaikka alunperin lohikalojen levinneisyysalueet painottuivat lauhkeiden vyöhykkeiden kylmiin vesistöihin (Barton 1996: 29-30). Bartonin (1996) mukaan useat lohikalalajit sopivat anadromisten muotojensa myötä hyvin viljeltäviksi sekä meri- että makeanveden ympäristöissä. Lohikalojen (*Salmonidae*)

heimo koostuu yhteensä kymmenestä suvusta, joista neljällä (*Oncorhynchus*, *Salvelinus*, *Salmo* ja *Parahucho*) on tunnistettava punainen pigmentoitunut liha (Rajasingh ym. 2007). Rajasinghin ym. (2007) mukaan punainen väri johtuu äyriäispainotteisen ruuan karotenoideista, jotka kerääntyvät kalojen lihaksiin. Samankaltaisuudesta huolimatta lohikalojen välillä on paljonkin eroavaisuuksia populaatiodynamiikassa sekä ekologiassa (Klemetsen ym. 2003: 1). Lohi (*Salmo salar*), taimen (*Salmo trutta*) ja nieriä (*Salvelinus alpinus*) ovat lohikaloista tunnetuimpia ja parhaiten tutkittuja (Klemetsen ym. 2003). Urheilukalastajat etenkin läntisessä Euroopassa toivovat näitä lajeja saaliiksi (Elliott & Elliott 2010), sillä lohikaloja arvostetaan sekä urheilu- että kaupallisessa mielessä (Barton 1996).

Lohi, taimen sekä nieriä ovat levinneet laajasti ympäri maailman, mutta lajien luonnolliset levinneisyysalueet poikkeavat toisistaan (Klemetsen ym. 2003). Arktisten järvien elinolosuhteet ovat hyvin äärimmäiset ja siksi vain harvat lajit elävät näissä ympäristöissä vakituisesti (Reist ym. 2008: 249). Olosuhteet ovat kylmät ja järvet ovat suurimman osan ajasta jään peitossa, jolloin myös lajien fysiologialta vaaditaan valtavaa sopeutumiskykyä (Reist ym. 2008: 249). Reistin ym. (2008: 249) mukaan tyypillisin korkeiden leveyksien arktisissa järvissä tavattava lohikala on nieriä. Kalojen avulla saadaan paljon tietoa arktisista makean veden ekosysteemeistä (Wrona ym. 2006: 329). Osa kaloista viettää koko elämänsä makeissa vesistöissä ja osa suorittaa merivaelluksen, jonka seurauksena vaelluskalojen mukana siirtyy muun muassa ravinteita meristä makean veden ekosysteemeihin (Wrona ym. 2006: 329).

#### 4.1 Lohi

Täysikasvuinen lohi (*Salmo salar*) on ruumiiltaan virtaviivainen ja väritykseltään hopeanhohtoinen (Palmén ym. 1989: 121). Vatsa on Palménin ym. (1989: 121) mukaan tyypillisesti vaalea, mutta väritys vaihtelee runsaasti. He kuvailevat nuoren lohien selkäpuolen olevan joko sinertävä tai vihertävä. Kutuaikana aikuisen lohien väritys on normaalia tummempi, jopa ruskehtava (Palmén ym. 1989: 121). Palmén ym. (1989: 121) mainitsevat myös jokipoikasten olevan väritykseltään ruskehtavia tai kellertäviä. Niiden kylkiä peittävät tummat poikaspilkut, sekä näiden välissä sijaitsevat oranssihtavat täplät. Lohenpoikanen muuttuu ulkonäöltään aikuisen lohien kaltaiseksi noin 2-4 vuoden ikäisenä, jolloin siitä tulee hopeanhohtoinen smoltti eli vaelluspoikanen (Palmén ym. 1989: 123). He kutsuvat tapahtumaa smoltifikaatioksi.

Lohen yläleuan luu ulottuu silmän takareunan kohdalle ja täysikasvuisen lohien pyrstön lovi on pieni ja sen tyvi on kapea (Palmén ym. 1989: 121). Palmén ym. (1989: 121) korostaa,

että kummankin lajin, sekä lohen että taimenen ulkonäkö vaihtelee eri vuodenaikoina erilaisissa ympäristöissä, joten niiden erottaminen toisistaan voi olla haastavaa. Esimerkiksi merestä pyydetyn lohen kylkien täplitys rajautuu yleensä kylkiviivan kohdalle, vain harvoin sen alapuolelle ja täpliä on yleisesti ottaen myös vähemmän kuin meritaimenella (Palmén ym. 1989: 121).

Lohesta on olemassa kaksi ekologista rotua: vaeltamaton järvilohi ja vaeltava, fluviaalisissa elinympäristöissä elävä lohi (Klemetsen ym. 2003: 1). Vaeltavan lohen poikaset kasvavat joessa 1-6 vuotta, jonka aikana oliivinvihertävä jokipoikanen saavuttaa noin 12-20 senttimetrin pituuden ja muuttuu smoltiksi eli vaelluspoikaseksi (Palmén ym. 1989: 123,124). Eteläisissä joissa kasvu on Palménin ym. (1989: 123) mukaan huomattavasti nopeampaa kuin pohjoisessa, sillä kasvukausi on pidempi ja vesi lämpimämpää. Suurin osa smolteista suorittaa merivaelluksen keväällä (Klemetsen ym. 2003: 1). Lohet kasvavat merivaelluksen aikana paljon, sillä ne siirtyvät pinta- ja ilmaravinnosta suurempaan kalaravintoon (Palmén ym. 1989: 126). Jävilohi on puolestaan lohen vaeltamaton sisävesimuoto eli potamodrominen ekologinen rotu (Palmén ym. 1989: 121, 123). Runsaammasta merivaelluksen tekevästä ekologisesta rodusta poiketen, järvilohen kutu tapahtuu Palménin ym. (1989: 121) mukaan järviin laskevissa joissa. Ulkonäöltään se on hyvin yhtenevä kuin samankaltaisissa vesistöissä elävä järvitaimen (Palmén ym. 1989: 129).

#### 4.2 Taimen

Taimenta tavataan tänä päivänä sen alkuperäisten elinympäristöjen, eli Euroopan, Aasian ja Pohjois-Amerikan lisäksi ympäri maailman (Klemetsen ym. 2003: 1). Taimen (*Salmo trutta*) on helpoin erottaa samankaltaisesta sukulaisestaan lohesta (*Salmo salar*) pyrstön paksun varren perusteella. Taimenen pyrstön reuna on yleensä todella suora, lähes loveton tai havaittavissa oleva lovi on hyvin maltillinen (Palmén ym. 1989: 121, 134). Lajin ulkonäkö, koko ja väri vaihtelevat runsaasti erilaisista elinympäristöistä johtuen. Taimenesta tavataan kolme erilaista ekologista rotua: meritaimenta, järvitaimenta ja purotaimenta eli tammukkaa (Kaukoranta 1998: 16). Puroissa ja jokiympäristöissä elävien yksilöiden väri on sekoitus ruskeita ja kellertäviä sävyjä. Tumma selkä, vaalea vatsa ja hopeanhoitoiset kyljet punertavilla täplillä tekevät purotaimենesta hyvin tunnistettavan (Palmén ym. 1989: 134). Meri- ja järvitaimenet, sekä suurissa joissa elävät yksilöt ovat purotaimeniin verrattuna hopeampia ja vähemmän täplikkäitä (Palmén ym. 1989: 134). Palménin ym. (1989: 134) mukaan isoissa järvissä ja

merissä elävät taimenet painavat noin 5–15 kg ja ovat 60–100 cm pitkiä. He kuvailevat tammukoiden ovat kooltaan hyvin pieniä, vain noin parinkymmenen sentin kokoisia.

Meri- ja järvitaimen vaeltavat kutemaan virtaaviin vesistöihin, kuten jokiin ja koskiin, kun taas purotaimen voi olla hyvin paikallinen ja vähän vaeltava (Kaukoranta 1998: 16). Kaukorannan (1998: 16) mukaan taimenen eri ekologiset muodot voivat kuitenkin lisääntyä keskenään samalla vesistöalueella eläessään. Tällöin vaeltavan taimentyypin ja paikallisen taimenen määrät populaatiossa riippuvat ympäristöstä ja perintötekijöistä, jolloin osa voi tammukoitua, eli jäädä hidaskasvuiseksi ja osa poikasista voi lähteä vaeltamaan esimerkiksi ravinnon perässä kauemmaksi (Kaukoranta 1998: 16).

Järvitaimen on taimenen sisävesissä elävä eli potamodrominen ekologinen rotu, joka elää tyypillisesti reittivesien järvissä (Palmén ym. 1989: 123, 134). Palménin ym. (1989: 121) mukaan sen voi erottaa järvilohesta täplien perusteella, joita on runsaasti ja jotka ulottuvat myös kylkiviivan alapuolelle. He kertovat järvitaimenen vaeltavan 4-7 vuoden iässä järvitaimen virtaavaan vesistöön kutemaan. Kutu tapahtuu joko järvien välissä sijaitsevilla koskialueilla tai järviin laskevien jokien koskissa. Järvitaimenet voivat tehdä lyhyitä vierailuja koskiin tai jokiin myös ravinnon, kuten vesihyönteisten perässä (Palmén ym. 1989: 136). Järvitaimen ja meritaimenen joki- ja järvivaiheet poikkeavat siten toisistaan huomattavasti (Palmén ym. 1989: 134). Palmén ym. (1989: 134) mainitsevat, että järvitaimen käy elämänsä aikana myös useammin kutuvaelluksella koskialueilla kuin meritaimen.

### 4.3 Nieriä

Nieriä (*Salvelinus alpinus*) on kylmissä ja hapekkaissa järvissä, merissä sekä pohjoisissa tunturipuroissa elävä taimenen kaltainen lohikala (Palmén ym. 1989: 142, Klemetsen ym. 2003:2). Laji on hyvin monimuotoinen ja kannat poikkeavat toisistaan kasvu- sekä vaellusominaisuuksiltaan (Kaukoranta 1998: 21). Nieriästä eli raudusta tavataan paikallisten kantojen lisäksi merestä jokiin nousevia kantoja (Palmén ym. 1989: 142). Nieriä on sirkumpolaarinen laji (Palmén ym. 1989: 142) mikä tarkoittaa, että se on levinnyt ympäri maapallon pohjoisen puolen subarktisia ja arktisia alueita (Kaukoranta 1998: 21).

Puroissa tavattavat yksilöt ovat tavallisesti pieniä, kutuaikaan ainoastaan 10–20 senttimetrin pituisia (Palmén ym. 1989: 142). Taimenen tammukoitumisen tapaan (Kaukoranta 1998: 16) myös nieriät kääpiöityvät tyypillisesti lampi- ja puroympäristöissä, jopa taimenia nopeammin (Kaukoranta 1998: 21). Suurissa järvissä elävät nieriät ovat yleensä noin 30–75 senttimetriä pitkiä ja painavat 0,3–1,5 kilogrammaa (Palmén ym. 1989: 142). Koon ja

ekologisten eroavaisuuksien vuoksi nieriää on pyritty jakamaan kahteen tai useampaan lajiin (Palmén ym. 1989: 142, Kaukoranta 1998: 21). Lajiryhmä erotellaan usein kahteen osaan: isokokoiseen järvissä elävään nieriään sekä virtavesissä viihtyvään pikkunieriään (Kaukoranta 1998: 21). Klemetsenin ym. (2003: 2) mukaan fylogeografisia linjoja on mtDNA-tutkimusten perusteella erotettavissa jopa viisi. Fenotyyppien välisten ominaisuuksien vaihtelu on nieriällä erittäin suurta muihin kalalajeihin verrattuna (Klemetsen ym. 2003: 2). Nieriän kutu, aivan kuten taimenen ja lohen kutu tapahtuu syksyllä ja poikaset kuoriutuvat keväällä (Kaukoranta 1998: 21).

Nieriä on helppo tunnistaa sen punertavista parillisista evistä, joita reunustaa valkoinen väri (Palmén ym. 1989: 142). Kalan yleisväritys vaihtelee Palménin ym. (1989: 142) mukaan paljon, mutta tavallisesti värikirjo kulkee tummasta selästä hopeahoitoisten tai ruskehtavien kylkien kautta punertavaan vatsaan. Vatsa voi olla myös kellertävä tai jopa valkea. Selkäpuolen evä ja pyrstö ovat tummia selän värityksen tapaan (Palmén ym. 1989: 142). Palmén ym. (1989: 142) lisää, että kylkiä koristaa vaalean kellertävät pilkut, jotka ulottuvat usein selkään saakka. Nieriän tunnistaa hyvin myös sen erittäin pienikokoisista suomuista (Palmén ym. 1989: 142).

## **5 Ilmastonmuutoksen vaikutukset lohikalapopulaatioihin**

Ilmastonmuutoksella on todettu olevan vaikutuksia niin järvien ekologiaan, hydrologiaan kuin sosioekonomisiin seikkoihin (Prowse ym. 2011: 71). Vaikka suurin osa muutoksista on asteittaisia, saattavat jotkin asiat muuttua hyvin äkkiäkinäistekin (Prowse ym. 2011: 71). Koska lohikalat tarvitsevat hyvälaatuista vettä elääkseen (Palmén ym. 1989: 122), ne toimivat erinomaisina indikaattoreina ilmastonmuutokselle. Palménin ym. (1989: 122) mukaan lohikaloille suotuisan veden tulee olla hapekasta, riittävän viileää ja puhdasta. Lohikaloista saatavien tietojen avulla pystytään ennakoimaan ilmastonmuutoksen haasteita ja siten suojelemaan järvien biologista monimuotoisuutta (Elliott & Elliott 2010). Arktisten järvien kalat voivat ilmastonmuutoksen seurauksia kohdatessa joko sopeutua geneettisen muuntelun ja luonnonvalinnan myötä uusiin olosuhteisiin tai siirtyä entistä pohjoisemmaksi suotuisampien olosuhteiden toivossa, etteivät ne häviä alueellisesti kohonneen lämpötilan aiheuttaman rasituksen vuoksi (Reist ym. 2008: 264). Erinäisissä tutkimuksissa on vertailtu muun muassa lohen, taimenen ja nieriän eroja niiden lämmönsietokyvyssä. Elliott & Elliott (2010) vertailevat artikkelissaan näiden lohikalalajien lämmönsietokyvyn eroja säilyvyyden, kasvun sekä

ravinnonsaannin kannalta. Ellei toisin mainita, seuraava teksti perustuu Elliottin & Elliottin (2010) artikkeliin *Temperature requirements of Atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta* and Arctic charr *Salvelinus alpinus*: Predicting the effects of climate change*.

Yleisesti luukaloille ihanteellisen habitaatin veden lämpötila vaihtelee 0–30 celsiusasteen välillä ja noin 50 % kaloista kykenee selviytymään äkkinäisistä lämpötilamuutoksista. Kolmesta vertailussa olleesta lohikalalajista lohella on havaittu olevan korkein lämpötilan sietokyky ja nieriällä puolestaan heikoin. Liian korkea ja niin ikään liian matala veden lämpötila aiheuttavat kuolleisuutta. Lohi sietää maksimissaan 22–28, taimen 22–25 ja nieriä 22–23 asteista vettä. Lohikalojen haavoittuvaisuus vaihtelee lajien sisällä poikasvaiheiden mukaan: smoltit kestävät lämpötilan vaihteluja parhaiten ja munat ovat kaikkein herkimpiä. Toleranssi vaihtelee siis huomattavasti lajeittain, mutta myös elämänvaiheen mukaan. Etenkin nieriän munat ovat alttiita lämpötilamuutoksille, sillä laji elää tyypillisesti hyvin matalissa järvissä, joissa ekosysteemissä tapahtuvat muutokset ovat joskus hyvinkin äkkinäisiä. Nieriän munat vaativat veden lämpötilan pysyvän alle kahdeksassa celsiusasteessa, kun taas lohien munat säilyvät jopa 16 asteisessa vedessä ja taimenen 13 asteisessa vedessä. Elliott & Elliott (2010) ennustavat seurausten olevan nieriälle kohtalokkaat, jos ilmastonmuutos nostaisi järvivesien lämpötiloja yli 5 °C ja kutualueiden happipitoisuudet laskisivat. Ilmastolla on havaittu olevan myös suuri merkitys poikasten syntymisajankohtaan. Tutkimusten mukaan sillä on yhtymäkohtia suurempien ilmastoilmiöiden, kuten Pohjois-Atlantin oskillaation kanssa.

Lohikalat, jotka ovat tottuneet elämään vaihtelevissa olosuhteissa (esimerkiksi kylmissä vesissä, joissa on lyhyt kasvukausi) pärjäävät luonnollisesti paremmin muutosten ilmaantuessa. Koska kalojen lämpötilanvaihto tapahtuu pääosin kehon seinämien läpi, pienemmät kalat ovat alttiimpia veden lämpötilan vaihtelulle. Elliott & Elliott (2010) perustelevat tätä lämpötasapainon kautta, eli suurien yksilöiden on osoitettu olevan kestävämpiä. Siten ne pystyvät esimerkiksi nousemaan ilman suuria kehon lämpötilamuutoksia kylmästä syvästä vedestä pintaveteen ja palata takaisin pohjaan.

Veden lämpötila vaikuttaa kalojen ravinnonsaantiin sekä kasvuun. Kolmesta esimerkkilajista lohi sietää parhaiten lämpimiä vesiä, kun taas nieriälle optimaalinen kasvuympäristö vaatii kylmempää vettä. Nieriän ravinnonsaannin sekä kasvulämpötilan optimi on tutkimuksen mukaan 14,4–17,2 °C ja lohella 16,3–20 °C. Lämpötilan sietokyky vaihtelee Elliottin & Elliottin (2010) mukaan lohikaloilla myös niiden ruokavalion myötä. Esimerkiksi keinotekoista ravintoa syöville taimenilla optimilämpötila on kolmesta viiteen celsiusastetta korkeampi kuin selkärangattomia tai kaloja syöville yksilöillä. Lämpötilan tulisi nousta

järvivesissä huomattavasti, ennen kuin sillä olisi vaikutusta taimenen kasvuun. Vasta 4 °C nousu talvella ja 3 °C kesällä saattaisivat vaikuttaa negatiivisesti. Alle 2,5 celsiusasteen nousulla järvivesissä saattaa olla jopa positiivinen vaikutus taimenien kasvuun. Lämpötilan vaihtelu aiheuttaa niin ikään eroavaisuuksia kalojen energiantarpeeseen ja kylmissä vesissä kasvu on huomattavasti hitaampaa. Suurissa järvissä lämpötilan aiheuttamat muutokset ovat pieniin järviin ja lampiin verrattuna monimutkaisempia, sillä veden lämpötila vaihtelee jo järven vesipatsaan sisäisesti sen syvyyden vuoksi.

Lohikalojen poikasista nieriät ovat yksi parhaiten selviävistä lajeista vähähappisissa olosuhteissa. Järvien pelagisten alueiden happipitoisuuden vähentyessä nieriän poikaset pärjäisivät lohta ja taimenta paremmin, sillä ne pystyvät selviytymään vedessä, jonka happipitoisuus on 15–20 asteisessa vedessä ainoastaan 2.2–2.4 mg l<sup>-1</sup> ja kylmemmässä vedessä vielä matalampi. Elliott & Elliott (2010) arvelevat nieriän häviävän järvestä, jos happitasot laskevat 5–10 asteisessa vedessä alle 1.8 mg l<sup>-1</sup> tai 15–20 asteisessa vedessä alle 2.2 mg l<sup>-1</sup>. Myös pohjoisten nieriäpopulaatioiden vähentynyt geneettinen vaihtelu saattaa vaikeuttaa sopeutumista uusiin ilmasto-olosuhteisiin tulevaisuudessa (Shikano ym. 2015: 1). Shikanon ym. (2015: 1) mukaan geneettinen vaihtelu on hyvin vähäistä pienten ja eristyneiden lampien sekä järvien populaatioissa. He toteavat, että alhainen geneettinen vaihtelu voi pahimmassa tapauksessa estää populaatioiden sopeutumista uusiin olosuhteisiin. Siksi Shikano ym. (2015: 2) pelkäävät erityisesti nieriän puolesta.

## 6 Pohdinta

Tulos lohen, taimenen sekä nieriän lämpötilansietokyvystä oli ennalta-arvattava. Nieriä on pohjoisin lohikalalaji ja siksi hyvin altis muutoksille verrattuna taimeneen ja loheen. Nieriä voi selviytyä ja ruokailla jopa 0 °C vedessä (Reist ym. 2008: 258), joka kertoo sen sopeutumisesta äärimmäisen arktisiin olosuhteisiin. Nieriän elinympäristöt eli matalat ja pienet järvet sekä lammet luovat lajille erittäin haastavat olosuhteet ilmastonmuutoksen kannalta, joten siksi sen poikaset ovat tottuneet selviytymään vaihtelevissa ja äärimmäisissä elinympäristöissä. Lohta puolestaan tavataan ympäri maailman erilaisissa habitaateissa, joten sen kyky sopeutua ja sietää erilaisia häiriötekijöitä parhaiten oli odotettavissa. Samoin taimen, josta on pystytty tunnistamaan jopa noin 50 erilaista variaatiota, kykenee sopeutumaan muuttuviin vesistöihin ja ruokavalioihin erinomaisesti (Klemetsen ym. 2003: 11). Esimerkkilajien munien säilyvyydessä oli havaittavissa hyvinkin suuria eroja. Lohen munat säilyvät jopa puolet lämpimämmässä

vedessä, kuin nieriän munat (Elliott & Elliott 2010: 1796). Tämän kannalta huolestuttavaa on, kuinka pitkään pohjoiset nieriäkannat selviävät ja pystyvät tuottamaan poikasia.

Suurin haaste lohikaloille tulee olemaan tulosten perusteella ilmastonmuutoksen aiheuttaman veden lämpötilan kohoaminen sekä happipitoisuuden väheneminen (Elliott & Elliott 2010). Kokonaisvaltainen tapahtumaketjujen sarja alkaa aina kasvihuonepäästöjen lisääntymisestä ja vähentyneestä albedosta. Muutokset lumi- ja jääolosuhteissa heijastuvat niin järvien hydrologiaan kuin siellä eläviin eliöihin (Hinzman ym. 2013: 1837). Arktisten järvien jääpeitteen väheneminen lisää sulavesien aikaa sekä järvivesien lämpökerrostuminen muuttuu (Prowse ym. 2006: 339). Kuten Laybourn-Parry ym. (2008: 13) toteavat, jääkuori ja sen päällä oleva lumi suojaavat myös vedenalaista elämää auringonsäteilyltä. Lisäksi happikato yleistyy jääpeitteen heikon pysyvyyden seurauksena (Prowse ym. 2011: 66). Esimerkkilajeista nieriän poikasten on tutkittu pärjäävän parhaiten vähähappisissa olosuhteissa (Elliott & Elliott 2010: 1801). Lohi, taimen ja nieriä joutuvat joko sopeutumaan uusiin ilmasto-olosuhteisiin tai siirtymään pohjoisemmaksi, jos se on mahdollista (Reist ym. 2008: 264). Järvissä elävät populaatiot ovat valitettavan usein niin eristäytyneitä, että ekologiset käytävät uusiin elinympäristöihin ovat vähissä. Pahin lopputulos on, että laji ei kykene sopeutumaan tai muuttamaan ja häviää alueelta kokonaan.

Arktisissa järvissä tapahtuvat muutokset näkyvät tutkimustulosten perusteella usein lajimäärän kasvuna tai vähenemisenä, eivät niinkään rakenteellisina muutoksina. Freitaksen ym. 2012: 169) havaitsemat muutokset Amazonilla olivat puolestaan pääosin rakenteellisia. Tämä perustuu oletettavasti elinympäristön lajiversiteettiin, sillä esimerkiksi predaatio on arktisissa järvissä hyvin vähäistä suppean lajikirjon myötä (Klemetsen ym. 2003: 32). Ainoat pedot järvissä ovat lohikaloja ja joissain tapauksissa lintuja (Klemetsen ym. 2003: 32). Amazonin lajikirjo on erittäin monimuotoinen ja siksi yhden lajin menettäminen ei ole välttämättä yhtä kohtalokasta kuin pienissä järvissä. Laajasta lajikirjosta löytyy usein toinen laji, joka pystyy korvaamaan edellisen lajin paikan ravintoketjussa ja tasapaino säilyy. Mielestäni tästä käy erinomaisesti ilmi järviekosysteemien haavoittuvainen sekä eristäytynyt luonne. Pienissä arktisissa järvissä ja lammissa on niin vähän lajeja, ettei niitä ole varaa menettää. Lisäksi Amazonin kaltainen suuri virtavesiekosysteemi tarjoaa lukemattoman määrän erilaisia habitaatteja, joten lajien on helpompi muuttua uudelle suotuisammalle alueelle vesistön sisällä. Eristäytyneistä järvistä toiseen muuttaminen ei ole ollenkaan niin yksinkertaista.

Freitas ym. (2012) huomasi, että kalalajit toipuivat Amazonilla hetkellisistä ilmastohäiriöistä. Arktis on sijaintinsa puolesta Amazoniin verrattuna huomattavasti



haavoittuvaisemmassa asemassa ja vaikutusten on todettu olevan napa-alueilla pitkäaikaisia. Smerdonin (2018: 161) mukaan napa-alueet ovat kärsineet ilmastonmuutoksesta kaikkein eniten ja siksi ainutlaatuista eliöstöä tulisi suojella. Lohia ja lohikaloja on yleisesti ottaen tutkittu merissä, mutta makean veden ympäristöistä tulisi saada lisää tietoa, jotta vaikuttavia tekijöitä, kuten kuivuusjaksoja ja tulvia voitaisiin ymmärtää paremmin (Klemetsen ym. 2003: 11). Myös arktisten alueiden järvien jääpeitteen muutoksien ymmärtäminen auttaa ennustamaan sekä löytämään vaihtoehtoisia ratkaisuja tulevaisuutta varten (Prowse ym. 2011: 71). Suojelutyötä tulisi kehittää myös sosioekonomisten palveluiden puolesta, sillä makean veden järviöekosysteemit tarjoavat Arktiksella lukuisia aktiviteetteja ihmisille (Prowse ym. 2011: 72). Valitettavasti vääränlaisen ihmistoiminnan seurauksena saastuneet vedet, eutrofikaatio sekä ylikalastus häiritsevät kalakantojen elämää Arktiksella (Reist ym. 2008: 264). Silti ilmastonmuutos on Reistin ym. (2008: 264) mukaan suurin tekijä, joka muuttaa kalapopulaatioiden rakennetta pohjoisissa järvissä.

## 7 Lähdeluettelo

- Bamford, M. J. & Calver, M. C. (2014). A precise definition of habitat is needed for effective conservation and communication. *Australian zoologist*, 37(2), 245-247.  
<https://doi.org/10.7882/AZ.2014.015>
- Barton, B. A. (1996). *Chapter 2 General biology of salmonids*. [https://doi.org/10.1016/S0167-9309\(96\)80005-6](https://doi.org/10.1016/S0167-9309(96)80005-6)
- Box, J. E., Colgan, W. T., Christensen, T. R., Schmidt, N. M., Lund, M., Parmentier, F. W., . . . Olsen, M. S. (2019). Key indicators of Arctic climate change; 1971-2017. *Environmental research letters*, 14(4), 45010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aafc1b>
- Brönmark, C. & Hansson, L. (2005). *Biology of lakes and ponds* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Bunce, R., Bogers, M., Evans, D., Halada, L., Jongman, R., Mucher, C., . . . Olsvig-Whittaker, L. (2013). The significance of habitats as indicators of biodiversity and their links to species. *Ecological indicators*, 33, 19-25.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.07.014>
- Cavalieri, D. J. & Parkinson, C. L. (2012). Arctic sea ice variability and trends, 1979–2010. *The cryosphere*, 6(4), 881-889. <https://doi.org/10.5194/tc-6-881-2012>
- Crépin, A., Karcher, M. & Gascard, J. (2017). Arctic Climate Change, Economy and Society (ACCESS): Integrated perspectives. *Ambio*, 46(Suppl 3), 341-354.  
<https://doi.org/10.1007/s13280-017-0953-3>
- Doran, P. T., Lamoureux, S. F. & Pienitz, R. (2008). *Origin and geomorphology of lakes in the polar regions*. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199213887.003.0002>
- Elliott, J. M. & Elliott, J. A. (2010). Temperature requirements of Atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta* and Arctic charr *Salvelinus alpinus*: Predicting the effects of climate change. *Journal of fish biology*, 77(8), 1793-1817.  
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02762.x>
- Epstein, H. E., Myers-Smith, I. & Walker, D. A. (2013). Recent dynamics of arctic and sub-arctic vegetation. *Environmental research letters*, 8(1), 15040.  
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015040>
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 34(1), 487-515.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>

- Fletcher, R. J., Didham, R. K., Banks-Leite, C., Barlow, J., Ewers, R. M., Rosindell, J., . . . Haddad, N. M. (2018). Is habitat fragmentation good for biodiversity? *Biological conservation*, 226, 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.07.022>
- Freitas, C. E. C., Siqueira-Souza, F. K., Humston, R. & Hurd, L. E. (2012). An initial assessment of drought sensitivity in Amazonian fish communities. *Hydrobiologia*, 705(1), 159-171. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1394-4>
- French, H. M. (2017). *The Periglacial Environment*.
- Gray, J. M. (2013). *Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature* (2nd ed.). Wiley.
- Hinzman, L. D., Deal, C. J., McGuire, A. D., Mernild, S. H., Polyakov, I. V. & Walsh, J. E. (2013). Trajectory of the Arctic as an integrated system. *Ecological applications*, 23(8), 1837-1868. <https://doi.org/10.1890/11-1498.1>
- Kaukoranta, M. (1998). *Kala-atlas: Nahkiainen, pikkunahkiainen, lohi, taimen, nieriä, siika, muikku, harjus, toutain, vimpa, rantaneula ja kivisimppu : esiintymät ja kantojen tila*. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.
- Kernan, M., Kernan, M., Battarbee, R. W. & Moss, B. R. (2010). *Climate change impacts on freshwater ecosystems*.
- Keskitalo, E. (2004). *Region-building and Definitions of "The Arctic"*. <https://doi.org/10.4324/9780203508114-6>
- Klemetsen, A., Amundsen, P., Dempson, J. B., Jonsson, B., Jonsson, N., O'Connell, M. F. & Mortensen, E. (2003). Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): A review of aspects of their life histories. *Ecology of freshwater fish*, 12(1), 1-59. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0633.2003.00010.x>
- Laybourn-Parry, J., Vincent, W. F. & Hobbie, J. E. (2008). *Introduction to the limnology of high-latitude lake and river ecosystems*. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199213887.003.0001>
- McIlgorm, A., Hanna, S., Pascal, L. F., Knapp, G., Pan, M. & Millerd, F. (2010). How will climate change alter fishery governance[glottal stop] Insights from seven international case studies. *Marine policy*, 34(1), 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2009.06.004>
- Michelutti, N., Wolfe, A. P., Briner, J. P. & Miller, G. H. (2007). Climatically controlled chemical and biological development in Arctic lakes. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 112(G3), G03002-n/a. <https://doi.org/10.1029/2006JG000396>

- Milano, D., Rechencq, M., Lippolt, G. E. & Vigliano, P. H. (2021). The effect of climate change on *Galaxias maculatus* thermal habitat availability in northern Andean Patagonian lakes. *Freshwater biology*, 66(12), 2210-2222.  
<https://doi.org/10.1111/fwb.13826>
- Nature (London) (2011), 478(7368), Redrawing the Arctic map: The new north. 172-173.  
<https://doi.org/10.1038/478172a>
- Palmén, E., Koli, L. & Dahlström, H. (1989). *Suomen eläimet: [3], Kalat, sammakkoeläimet ja matelijat* (8. p.). Weilin + Göös.
- Pienitz, R., Douglas, M. S. & Smol, J. P. (2004). *Long-Term Environmental Change in Arctic and Antarctic Lakes*.
- Prowse, T. D., Wrona, F. J., Reist, J. D., Gibson, J. J., Hobbie, J. E., Lévesque, L. M. J. & Vincent, W. F. (2006). Historical Changes in Arctic Freshwater Ecosystems. *Ambio*, 35(7), 339-346. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2006\)35\[339:HCIAFE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2006)35[339:HCIAFE]2.0.CO;2)
- Prowse, T., Alfredsen, K., Beltaos, S., Bonsal, B. R., Bowden, W. B., Duguay, C. R., . . . Weyhenmeyer, G. A. (2011). Effects of Changes in Arctic Lake and River Ice. *Ambio*, 40(sp1), 63-74. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0217-6>
- Rajasingh, H., Vage, D. I., Pavey, S. A. & Omholt, S. W. (2007). Why are salmonids pink? *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 64(11), 1614-1627.  
<https://doi.org/10.1139/f07-119>
- Reist, J. D., Dempson, J. B. & Power, M. (2008). *Fish in high-latitude Arctic lakes*.  
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199213887.003.0014>
- Roberts, K. E., Lamoureux, S. F., Kyser, T. K., Muir, D. C. G., Lafrenière, M. J., Iqaluk, D., . . . Normandeau, A. (2017). Climate and permafrost effects on the chemistry and ecosystems of High Arctic Lakes. *Scientific reports*, 7(1), 13292-8.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-13658-9>
- Shikano, T., Järvinen, A., Marjamäki, P., Kahilainen, K. K. & Merilä, J. (2015). Genetic Variability and Structuring of Arctic Charr (*Salvelinus alpinus*) Populations in Northern Fennoscandia. *PloS one*, 10(10), e0140344.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140344>
- Sjöberg, Y., Gomach, S., Kwiatkowski, E. & Mansoz, M. (2018). Involvement of local indigenous peoples in Arctic research – expectations, needs and challenges perceived by early career researchers. *Arctic science*, 5(1), 27-53. <https://doi.org/10.1139/AS-2017-0045>

- Smerdon, J. (2018). *Climate Change : The Science of Global Warming and Our Energy Future: Vol. Second edition*. Columbia University Press.
- Vincent, W. F., Lemay, M. & Allard, M. (2017). Arctic permafrost landscapes in transition: Towards an integrated Earth system approach. *Arctic science*, 3(2), 39-64. <https://doi.org/10.1139/as-2016-0027>
- Walker, D. A., Raynolds, M. K., Daniëls, F. J., Einarsson, E., Elvebakk, A., Gould, W. A., . . . Team, T. o. m. o. t. C. (2005). The Circumpolar Arctic vegetation map. *Journal of vegetation science*, 16(3), 267-282. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2005.tb02365.x>
- Wrona, F. J., Prowse, T. D., Reist, J. D., Hobbie, J. E., Lévesque, L. M. J. & Vincent, W. F. (2006). Climate Impacts on Arctic Freshwater Ecosystems and Fisheries: Background, Rationale and Approach of the Arctic Climate Impact Assessment (ACIA). *Ambio*, 35(7), 326-329. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2006\)35\[326:CIOAFE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2006)35[326:CIOAFE]2.0.CO;2)