

Ilmastonmuutoksen vaikutus Suomen luontoon esimerkkiympäristöissä

Lisäselvitys: järvet ja virtavedet

15.6.2020

Työn tilaaja:

Maailman Luonnon Säätiö (WWF) Suomen Rahasto sr

Työn toteuttaja:

FM Paula Tallinen

Ympäristöasiantuntija

Ympäristöasiantuntijoiden osuuskunta Universo

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	3
2 JÄRVET JA VIRTAVEDET	3
2.1 Muutokset jää- ja lumipeitteessä	3
2.2 Muutokset sadannassa	3
2.3 Ravinne- ja kiintoainehuuhtoumat	4
2.4 Tulvien lisääntyminen	6
2.5 Vesien lämpenemisen vaikutukset	7
2.5.1 Kalat	8
2.5.2 Raakku	8
2.6 Happitilanteen muutokset	9
2.7 Kuivuuden lisääntymisen vaikutukset	9
2.8 Vieraslajit ja muutokset lajistossa.....	10
2.9 Saimaa	11
2.9.1 Saimaannorppa	11
2.9.2 Järvilohi ja saimaannieriä.....	12
LÄHTEET	13

1 JOHDANTO

Tämä selvitys on jatkoa vuonna 2019 laaditulle Ilmastonmuutoksen vaikutus Suomen luontoon esimerkkiympäristöissä -selvitykselle, jossa ilmastonmuutoksen vaikutuksia tarkasteltiin metsien, Itämeren rannikkomaiseman ja tunturien osalta. Tässä selvityksessä ilmastonmuutoksen vaikutuksia tarkastellaan tieteelliseen tietoon pohjautuen suomalaisiin järviin ja virtavesiin. Työntilajana toimi Maailman Luonnon Säätiö (WWF) Suomen Rahasto sr ja laatijana FM (ympäristötiede) Paula Tallinen Ympäristöasiantuntijoiden osuuskunta Universosta. Tallinen vastasi myös aiemmasta selvityksestä. Selvityksessä on huomioitu ennen 1.5.2020 julkaistut tutkimukset.

2 JÄRVET JA VIRTAVEDET

2.1 Muutokset jää- ja lumipeitteessä

Ilmaston lämpenemisen seurauksena lumena satavan veden määrä vähenee syksyllä ja keväällä, Etelä-Suomessa keskitalvellakin. Lapissa satavan lumen määrä sen sijaan lisääntyy keskitalvella. Samalla kuitenkin lumen talviaikainen sulaminen yleistyy. (Jylhä ym. 2012).

Sisävesien jääpeiteajassa on jo tapahtunut selviä muutoksia (Aapala & Mattsson 2020). Koko maassa, aivan pohjoisimpia osia lukuun ottamatta, on havaittu merkittävää lyhenemistä järvien jääpeiteajassa 1800-luvulle ulottuvien aikasarjojen perusteella. Jäiden lähtö on aikaistunut merkittävästi ja jääpeitteen muodostuminen on siirtynyt myöhäisemmäksi (Korhonen 2019). Mallinusten mukaan järvien jääpeiteajan kesto lyhenee edelleen ja jäiden paksuus vähenee ilmaston lämmetessä (Forsius ym. 2013). Vuosisadan loppuun mennessä ennusteiden mukaan esimerkiksi Päijänteen Asikkalanselän keskimääräinen jäätymisajankohta siirtyy joulukuulta tammikuulle ja sulaminen toukokuulta maaliskuulle. Joinakin talvina yhtenäistä jääpeitettä ei enää jatkossa ehkä muodostu lainkaan, vaan sulamis- ja jäätymisjaksot saman talvikauden aikana yleistyvät. (Forsius, ym. 2013; Sairanen ym. 2011).

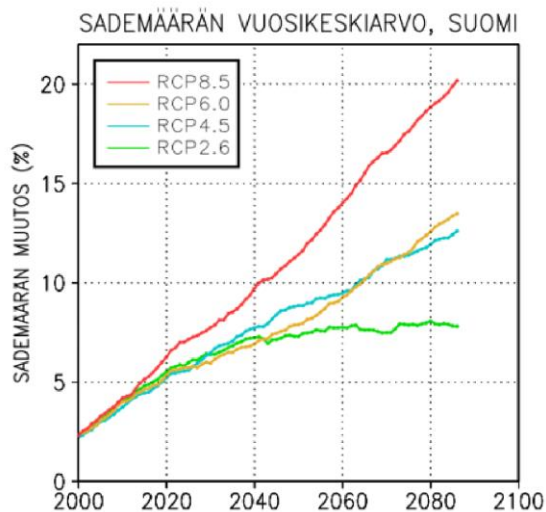
Veijalaisen ym. (2012) käyttämän jäämallin tulosten perusteella keskimääräinen jäänpaksuus tammikuussa pienenee keskimäärin n. 20 cm Näsijärvellä ja 15 cm Saimaalla. Kestävän, yli 5 cm:n, jääpeitteen syntyminen myöhentyy näillä järvillä keskimäärin lähes kuukaudella joulukuun loppuun ja vastaavasti sulaminen aikaistuu noin kolmella viikolla. Tulevaisuudessa jääpeitteen kesto voi joinain vuosina olla hyvin lyhyt ja jää koko talven melko heikkoa. Muutokset jäänpaksuudessa ovat suhteellisesti pienempiä Pohjois-Suomen järvissä kuin Etelä- ja Keski-Suomessa.

- Lumen määrä vähenee syksyllä ja keväällä.
- Järvien jäätyminen siirtyy myöhemmäksi ja sulaminen aikaistuu.
- Jään paksuus vähenee ja joinakin talvina yhtenäistä jääpeitettä ei muodostu.

2.2 Muutokset sadannassa

Ilmaston lämmetessä sademäärien arvioidaan Suomessa kasvavan vuosisadan loppuun mennessä 8–20 % (kuva 1) ja rankkasateiden voimistuvan. Vuosisadan puolivälin vaiheilla vuotuinen

sademäärä on ennusteiden mukaan noin 6–11 % suurempi kuin ajanjaksolla 1981–2010. Vuosisadan loppupuolella sademäärät riippuvat huomattavasti päästöjen suuruudesta. RCP2.6-skenaariion mukaan sademäärä kasvaa vuosisadan loppuun mennessä noin 6 %, RCP4.5- ja RCP6.0-skenaarioiden mukaan 11–12 % ja RCP8.5-skenaariion mukaan 20 %. (Ruosteenoja ym. 2016).



KUVA 1. Vuoden sademäärän (%) muutos Suomessa vuosina 2000–2085 verrattuna jakson 1971–2000 keskimääräisiin arvoihin. Käyrät esittävät 28 maailmanlaajuisen ilmastonmuutosmallin tulosten keskiarvoa neljälle eri RCP-skenaariolle. (Ruosteenoja ym. 2016).

Muutos on suhteellisesti suurempi talvella kuin kesällä (ACCLIM II 2011; Ruosteenoja ym. 2016), samoin pohjoisessa se on hieman voimakkaampi kuin etelässä. Sateet ovat kesällä aiempaa rankempia, mutta niitä ei tule useammin. Vuosisadan lopulla sadetta tulee talvisin eri olomuodoissaan noin 5–30 prosenttia nykyistä enemmän, kun taas kesällä muutos on todennäköisesti melko pieni. (Parjanne ym. 2018).

Sateisuus vaikuttaa mm. vesistöjen vesimäärään, valuntaan, vedenlaatuun, jokien virtaamaan, tulvaherkkyyteen, ravinteiden ja kiintoaineen huuhtoutumiseen vesistöihin sekä veden happipitoisuuteen (Aapala & Mattsson 2020).

- Sademäärät kasvavat Suomessa 8–20 % vuoteen 2085 mennessä.
- Muutos on suhteellisesti suurempi talvella kuin kesällä.
- Rankkasateet voimistuvat.

2.3 Ravinne- ja kiintoainehuuhtoumat

Kasvava sadanta ja siitä aiheutuva veden virtausnopeuden kasvu, lisääntyvät tulvat ja roudaton maa lisäävät valuntaa vesistöihin, jonka myötä riski ravinteiden, taudinaiheuttajien ja muiden haitallisten aineiden sekä humusaineiden ja kiintoaineen lisääntyvälle huuhtoutumiselle kasvaa merkittävästi (Aapala & Mattsson 2020; Delpla ym. 2009; Huttunen ym. 2015). Lisäksi suoriksi ruopatut ojat metsissä ja peltoalueilla pidättävät vähemmän vettä, virtausnopeus on niissä

suurta ja uomaeroosio voimakasta. Suot, luontaiset tulvatasanteet ja kosteikot sen sijaan sitovat vettä hyvin, mutta niitä on hävitetty muun maankäytön tieltä. Samalla on hävitetty valuma-alueiden luontainen kyky toimia muuttuvissa olosuhteissa.

Tulevaisuudessa yhä suurempi osa vesistöjen ravinnekuormituksesta tapahtuu talviaikaan, kun kasvavan talviaikaisen sadannan lisäksi maata suojaava lumipeitteinen kausi lyhenee ja lämpötilojen nousu kiihdyttää maan mikrobitoimintaa (Sairanen ym. 2011). Roudaton maa ja lisääntyvä talviaikainen sadanta tekee erityisesti savimaiden rakenteesta vettä läpäisemättömän, mikä lisää pintavaluntaa pelloilta vesistöihin. Orgaanisen kuormituksen ja kiintoainekuormituksen haittavaikutuksia ovat mm. rehevöityminen, järvien ja lampien mataloituminen, pohjan liettyminen, veden tummentuminen ja samentuminen sekä happiongelmat. Virtavesissä kutosoraikkojen liettyminen vaikeuttaa uhanlaisten vaelluskalojen lisääntymistä. Luontaisesti vähähumuksiset järvet ovat herkkiä humuspitoisuuden lisääntymiselle (Lammi ym. 2018). Rehevöityminen ja pintaveden lämpeneminen voivat johtaa suurempiin sinileväesiintymiin (Solheim ym. 2010).

Suomen luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnissa (Lammi ym. 2018) sisävesien uhanalaisuuskehityksen yhdeksi merkittävimmin vaikuttaneeksi tekijäksi ja tulevaisuuden selkeästi merkittävimmäksi uhkatekijäksi arvioitiin vesien rehevöityminen, jota aiheuttaa mm. maa- ja metsätalouden, turvetuotannon, asutuksen ja teollisuuden päästöt. Valuma-alueen peltopinta-alan osuudella on merkittävä vaikutus fosfori-, typpi- ja kiintoainepitoisuuksiin varsinkin jokivesissä (Futter ym. 2009). Pahimmillaan fosforikuormitus voi ennusteen mukaan kasvaa Saaristomeren alueen peltoalueilta 50 prosenttia ja typpikuormitus runsas kolmannes vuoteen 2060 mennessä (Huttunen ym. 2015). Lämpimän ja sateisen talven 2019–20 aikana Etelä-Suomessa jokien virtaamat nousivat tulvakorkeuksiin useaan kertaan joulukuusta helmikuussa. Kolmen kuukauden fosforikuorma Saaristomereen oli lähes yhtä suuri kuin koko ennätysvuoden 2008 aikainen kuorma ja Vantaanjoellakin talven fosforikuorma oli samaa luokkaa kuin keskimääräinen vuosikuorma 2010-luvulla. (SYKE 2020).

Maataloudesta peräisin olevien ravinnevalumiin ja jätevesien ohijuoksuusten lisäksi vesistöjen fosforikuormaa kasvattaa sisäinen kuormitus pohjasedimentistä, kun veden sekoittuminen kesäisin vähenee ja hapen kulutus etenkin järvien pohjassa kasvaa (Solheim ym. 2010). Maatalouden kuormitus on voimakkainta Etelä- ja Länsi-Suomessa sekä Pohjanmaalla, Ylä-Savossa ja osissa Pohjois-Karjalaa (Mäenpää & Tolonen 2011).

Metsätalouteen liittyvien ojitusten vaikutukset virtavesien veden laadussa näkyvät etenkin veden tummentumisena ja orgaanisen typen pitoisuuden kasvuna. Vuosikymmeniä vanhojen turvemaiden ojitusaluiden ravinnekuormitus voi edelleen kasvaa, kun ojista irtoava maa-aines kulkeutuu virtaavan veden mukana. (Lammi ym. 2018).

- Lisääntyvän valunnan myötä vesiin pääsee enemmän rehevöittäviä ravinteita ja samentavaa kiintoainesta.
- Sinileväesiintymät voivat yleistyä rehevöitymisen ja lämpenemisen myötä.
- Turvemaiden ojitusaluiden ravinnekuormitus voi kasvaa.

2.4 Tulvien lisääntyminen

Ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät jo nyt talvivirtaamien kasvuna ja kevättulvien aikaistumisena, ja ne tulevat lisääntymään 2000-luvun aikana. Vaikutukset vaihtelevat eri puolilla Suomea ja riippuvat vesistöjen hydrologisista ominaisuuksista. Keskipitkällä aikavälillä vesistötulvat pienenevät suurella osalla maata lumen määrän vähenemisen myötä, mutta Lapissa vasta pitkällä aikavälillä. Saimaan, Vuoksen, Kokemäenjoen, Päijänteen, Kymijoen ja Oulujoen tulvien ennakoidaan kasvavan ilmastonmuutoksen vaikutuksesta. (Gregow ym. 2016; Veijalainen ym. 2012).

Jokien talviaikaiset keskivirtaamat voivat jopa kaksinkertaistua vuoteen 2100 mennessä. Talvitulvat lisääntyvät ja etenkin suurten keskusjärvien (kuten Päijänne ja Saimaa) vedenkorkeudet nousevat talvella nykyistä yleemmäksi lisääntyvien sateiden ja sulamisvesien takia, mikä lisää Etelä-Suomen jokien talviaikaista tulvimisriskiä. Keväinen ylivaluntahuippu tulee siirtymään aiemmaksi ja pienenevään talven lumikertymien pienentyessä. Kevättulvat pienenevät etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa. Etelässä pieneminen voi olla jopa 50 %. Pohjois-Suomessa kevättulvien odotetaan kuitenkin vielä kasvavan muutaman vuosikymmenen ajan lisääntyvän sadannan takia, mutta pienenevän myöhemmin lämpenemisen edetessä. Sadetulvien arvioidaan yleistyvän rankkasateiden kasvun myötä myös kesällä varsinkin pienissä vesistöissä. Vuosisadan lopussa arvioidaan kerran sadassa vuodessa (1/100a, todennäköisyys 1 %) tapahtuvien suurtulvien esiintyvyyden lisääntyvän etelä- ja keskiosissa maata 15 % (todennäköisyys 1,15 %) ja kerran 20 vuodessa (1/20a, todennäköisyys 5 %) tapahtuvien tulvien 10 % (todennäköisyys 5,5 %). Pohjoisessa näiden tulvien esiintyvyys hieman lisääntyy lähitulevaisuudessa, mutta vuosisadan loppuun mennessä esiintyvyys on samalla tasolla kuin nykyhetkellä. (Suomalainen ym. 2006).

Tulvien lyhyen aikavälin muutoksista näkyvimpiä on hyydetulvariskin lisääntyminen talvivirtaamien kasvaessa. Hyydetulva syntyy, kun jokeen pakkautuu jääkiteistä hyydettä, joka tukkii joen pohjaa ja joen pinta nousee. Erityisesti nykyisillä hyydetulvariskialueilla hyydetulvien todennäköisyyden arvioidaan yleistyvän. (Parjanne ym. 2018). Riski pienenee taas pitkällä aikavälillä pakkasjaksojen harvinaistuuessa (Gregow ym. 2016).

Asfaltoiduille ja viemäröidyille alueille osuvat rankkasateet voivat aiheuttaa lyhytaikaisia virtaamahuippuja, jolloin jätevedenpuhdistamolle tulevat vuorokausivirtaamat saattaa moninkertaistua. Rankkasateet vaikuttavat jäteveden varastointikapasiteetin riittävyteen jätevedenpuhdistamoilla. Suuret virtaamat voivat aiheuttaa viemäreiden ja pumppaamoiden tukkeutumista, tulvimista ja ylivuotoja, jotka voivat johtaa ympäristövahinkoihin ja hajuhaittoihin sekä aiheuttaa terveysriskin. Altaiden mahdolliset ylivuodot tai ohijuoksutukset altistavat purkuvesistön kerralla suurelle ravinne- ja mikrobikuormitukselle, mikä mm. kiihdyttää rehevöitymistä. (Vienonen ym. 2012).

Vesiepidemioiden oletetaan yleistyvän ilmastonmuutoksen myötä. Norovirusepidemioiden on havaittu lisääntyvän sateisuuden kasvun myötä (Bruggink & Marshall 2010) ja norovirus on päätynyt Suomessa jätevesien kautta myös vesiympäristöön (Vienonen ym. 2012). Tulvat ja rankkasateet on yhdistetty alankomaisessa tutkimuksessa eräiden bakteerien, virusten ja alkueläimen korkeisiin pitoisuuksiin (de Man ym. 2014). Mallien perusteella on ennustettu, että vuoteen 2075 mennessä esimerkiksi Norjassa *Escherichia coli* -bakteerin pitoisuudet tulevat jopa kolminkertaistumaan pintavesissä keväisin ja syksyisin nykytilanteeseen verrattuna (Mohammed ym. 2019).

Tulvien esiintymisessä ja kestossa tapahtuvien muutosten takia luonnontilaisten jokien rantavyöhykkeen tulvavaikutteisten elinympäristöjen määrä vähenee. Suurimpien muutosten ennustetaan tapahtuvan pensasvyöhykkeessä, ja rantavyöhykkeen puuston avainlajin, harmaalepän (*Alnus incana*), esiintymisalueen ennustetaan supistuvan. Lisääntyvät talvivirtaamat ja muutos jääolosuhteissa heikentävät rannan tuntumassa kasvavien pohjaversoisten vesikasvien olosuhteita. (Jansson ym. 2019). Kevättulvien puuttuminen voi johtaa matalien lahtien umpeenkasvuun, jos järveen kohdistuu lisäksi ravinnekuormitusta (Mäenpää & Tolonen 2011).

- Talvivirtaamat lisääntyvät ja kevättulvat aikaistuvat.
- Vesiepidemioiden ennustetaan yleistyvän.
- Tulvavaikutteisten elinympäristöjen määrä vähenee ja harmaalepän esiintymisalue supistuu.

2.5 Vesien lämpenemisen vaikutukset

Vesien lämpötila on noussut ilmastonmuutoksen myötä esimerkiksi Saimaalla yli 1 °C viimeisen sadan vuoden aikana (Solheim ym. 2010), ja kesäaikaisten lämpötilojen ennustetaan edelleen nousevan: esimerkiksi Päijänteen pintaveden lämpötilan ennustetaan nousevan 2–3 °C vuosisadan loppuun mennessä (Forsius ym. 2013). Myös virtavesien lämpötila on noussut viimeisen parin vuosikymmenen aikana, mikä on yhdistetty selkärangattomissa eliöyhteisöissä tapahtuneisiin muutoksiin ja elinympäristöjen siirtymiin (Settele ym. 2014). Lämpötila on yksi jokien pohjaeläinlajiston levinneisyyttä määrittävistä tekijöistä, ja lämpötilan nousun arvioidaan vaikuttavan lajikoostumukseen. Vesikasvi- ja pohjaeläinlajien levinneisyysrajojen arvioidaan siirtyvän pohjoisemmiksi ilmastonmuutoksen seurauksena (Lammi ym. 2018).

Vuosisadan loppuun ulottuvan ennusteen mukaan voimakkaimpien vaikutusten arvioidaan kohdistuvan pohjoiseen sekä latvavesiin (Lammi ym. 2018). Latvavedet ovat erityisesti suojelemisen arvoisia, sillä niiden monimuotoisuus voi olla suurempaa verrattuna suurempiin jokijaksoihin (Finn ym. 2011; Jyrkänkallio-Mikkola ym. 2018). Vaikutusten ennustetaan olevan voimakkaampia pienissä vesistöissä kuin suurissa (Heino ym. 2009; Settele ym. 2014). Kerrostuvissa järvissä kesäaikainen lämpötilakerrostuneisuus on tulevaisuudessa pitkäkestoisempaa ja harppauskerros painuu syvemmälle (Aapala & Mattsson 2020; Sairanen ym. 2011), jolloin matalista järvistä ei löydy kesäisin suojapaikkaa kylmää vettä suosiville lajeille (Heino ym. 2009).

- Vesien kesäaikaisten lämpötilojen ennustetaan nousevan.
- Vaikutukset ovat voimakkaimpia pohjoisessa, latvavesissä ja pienissä vesistöissä.
- Vesikasvit ja pohjaeläimet siirtyvät pohjoisemmaksi.

2.5.1 Kalat

Ilmastonmuutoksen ennustetaan vaikuttavan erityisesti kalalajeihin, jotka ovat sopeutuneet elämään vesistöjen viileissä latvavesissä (Buisson ym. 2008). Järvissä lämpötilan nousu suosii särki- ja ahvenkaloja samalla kun se huonontaa viileän veden lajien, mm. muikun, siian ja mateen elinoloja. Joissa kylmän veden lajien levinneisyysalueen ennustetaan pienenevän ja siirtyvän kohti pohjoista, ja lajien korvautuvan lämpimän veden kaloilla. (Peltonen-Sainio ym. 2017).

Kylmiin vesiin sopeutuneet lohikalat menettävät elinalueitaan ja voivat hävitä kokonaan, mikäli niille ei löydy riittävän viileää ja hapekasta vettä (Solheim ym. 2010). Lohikalojen osalta lämpeneminen lisää mätimunien tuhoutumista ja vastakuoriutuneiden poikasten kuolleisuutta. Lisäksi lisääntyvät talvitulvat voivat tuhota mätiä ja lisätä veden happamuutta. (WWF Suomen raportti 2016). Kalayhteisöt muuttuvatkin tulevaisuudessa ahven- ja särkikalavaltaisempaan suuntaan lohikalojen taantuessa. Veden lämpötila saattaa olla niin korkea, että lämpiminä vuosina se ylittää taimenen poikasten sietorajat, mikä heikentää kasvua ja lisää kuolleisuutta. Tästä on jo näyttöä: erityisen kuumien kesien 2010 jälkeen havaitut taimenen poikastiheydet Keski-Suomen virtavesissä olivat alhaisia. Myös purojen kuivuminen kesällä ja lisääntynyt kiintoaineksen huuhtoutuminen katusoraikkoihin ovat haitallisia taimenen lisääntymiselle. Kuha ja ahven puolestaan hyötyvät lämpötilan noususta. Esimerkiksi kuha kasvaa nykyisin Pohjois-Päijänteellä kuudessa vuodessa keskimäärin kilon painoiseksi, mutta vuosisadan loppupuolelle ennustetuilla keskimääräisillä lämpötiloilla 1,8 kilon painoiseksi. (Karjalainen ym. 2011).

- Lämpimän veden lajit hyötyvät, kylmän veden lajit taantuvat.
- Särki- ja ahvenkalat runsastuvat.
- Lohikalat kärsivät.

2.5.2 Raakku

Erittäin uhanalainen jokihelmisimpukka eli raakku (*Margaritifera margaritifera*) viihtyy kylmissä niukkaravinteisissa virtavesissä ja tarvitsee taimen- tai lohikantaa toukkiensa väli-isännäksi. Raakkukanta on pienentynyt huomattavasti ihmistoiminnan, esimerkiksi elinympäristöjen muokkauksen, pirstoutumisen, metsätalouden, suo-ojitusten ja isäntälajien liikakalastuksen, seurauksena. Ilmastonmuutos uhkaa jokihelmisimpukoiden kantoja kohonneiden lämpötilojen sekä entistä rajumpien tulvien ja kuivuusjaksojen muodossa (Ferreira-Rodrigues ym. 2019). Bolotov ym. (2018) tutkivat raakulle ilmastollisesti sopivien alueiden olemassaoloa ajanjaksolla 2061–2080 kolmessa eri skenaarissa (RCP2.6, 4.5 ja 8.5). RCP2.6-skenaarissa elinvoimaisia populaatioita löytyy Suomen pohjoisosista, kun taas Etelä-Suomesta paikoin katoaa sopivat elinalueet kokonaan. RCP4.5-skenaarissa elinvoimaisten populaatioiden raja nousee pohjoisemmaksi ja elinkelvottomat alueet laajenevat ja siirtyvät Pohjanmaan korkeudelle. RCP8.5-skenaarissa elinvoimaisia populaatioita löytyy vain aivan maan pohjoisimmista osista suurimman osan nykyisistä elinalueista ollessa raakulle elinkelvottomia. RCP2.6- ja RCP4.5-skenaarioissa on myös alueita, joilla ilmastovaikutukset ovat todennäköisesti negatiivisia ja populaation pienenevät.

- Raakulle sopivien elinalueiden määrä vähenee ja siirtyy pohjoisemmaksi.

2.6 Happitilanteen muutokset

Tulevaisuudessa veden lämpötilan nousu pienentää happipitoisuutta joissa ja järvissä. Tämä on seurausta rehevöitymisestä johtuvasta lisääntyvästä hapenkulutuksesta ja pienentyvästä hapen liukenemisestä. Kylmään veteen liukenee enemmän kaasuja kuten happea kuin lämpimään. Järvien kesäaikaisen lämpötilakerrostuneisuusajan ennustetaan pidentyvän, mikä heikentää pohjan happitilannetta. (Solheim ym. 2010). Veden happikylläisyyspitoisuus laskee lähes 10 prosenttia 3 °C:n nousun myötä (Delpla ym. 2009).

Lisääntyneen valunnan mukanaan tuoma eloperäinen aines tummentaa vesiä (Settele ym. 2014; Solheim ym. 2010) ja vaikuttaa sitä kautta järvien lämpötila- ja happioloihin sekä vesipatsaan kerrostuneisuuteen. Tämä saattaa rajoittaa esimerkiksi siikakaloille ja kuoreelle tärkeää viileän ja hapekkaan alusveden määrää (Peltonen-Sainio ym. 2017). Lisääntynyt hapenkulutus laskee happipitoisuutta etenkin kesäisin ja järvien pohjassa. Korkeampi lämpötila ja pienentynyt happipitoisuus aiheuttaa kylmissä vesissä eläville lajeille, kuten lohikaloille, stressiä ja pienentää mahdollisia elinalueita. (Solheim ym. 2010). Lisääntyneen liuenneen orgaanisen hiilen määrän on jo todettu pidentäneen hapettomien jaksojen pituutta järvissä kuluneen 30 vuoden aikana (Couture ym. 2015).

- Happipitoisuus pienenee järvissä ja joissa etenkin kesäisin.
- Järvien pohjissa voi kesäisin esiintyä happikatoa.

2.7 Kuivuuden lisääntymisen vaikutukset

Kesän kuivuuden ennakoidaan lisääntyvän Etelä- ja Keski-Suomessa jo lähivuosikymmeninä aikaisemmasta ja vähälumisemmasta keväästä sekä korkeammasta lämpötilasta johtuvan suuremman haihdunnan vuoksi (Veijalainen ym. 2010). Maaperän kuivuminen ja kesän minimivirtaamien pieneneminen voivat heikentää veden laatua johtaen esimerkiksi kalakuolemiin (Gregow ym. 2016).

Kesän ja alkusyksyn kuivuus ja alhaiset vedenpinnat tulevat joillakin järvillä olemaan tulevaisuudessa entistä suurempi ongelma (Veijalainen ym. 2012). Kuivumisen myötä virtavesien syvyys voi vähentyä, mikä altistaa selkärangattomat pohjaeläimet lisääntyvälle UV-säteilylle (Solheim ym. 2010).

- Kesäaikaisen kuivuuden ennustetaan lisääntyvän.
- Veden laadun heikentyminen voi johtaa kalakuolemiin.

2.8 Vieraslajit ja muutokset lajistossa

Luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnissa (Lammi ym. 2018) sisävesien uusiksi kasvaviksi uhkiksi katsottiin ilmastonmuutos ja vieraslajit. Sisävesien haitallisiksi vieraslajeiksi on kansallisessa vieraslajistrategiassa (2012) arvioitu viisi lajia: puronieriä (*Salvelinus fontinalis*), täplärapu (*Pacifastacus leniusculus*), isosorsimo, kanadanvesirutto (*Elodea canadensis*) ja rapurutto (*Aphanomyces astaci* (As, Ps1)). Vieraslajiuhka on suurin keskiravinteisilla ja ravinteisilla sisävesiluontotyypeillä. Koillismaan runsaskalkkiset järvet ovat alttiita kanadanvesiruton leviämislle ja massakasvustojen muodostumiselle. Vieraslajeiksi määritellyistä lajeista mm. isosorsimo (*Glycyria maxima*), karhunköynnös (*Convolvulus sepium*) ja jättipalsami (*Impatiens glandulifera*) leviävät helposti rantakasvillisuuden sekaan, ja ilmastonmuutoksen uskotaan lisäävän niiden runsastumisen riskiä. (Lammi ym. 2018).

Vieraslajit voivat jo nykyisellään syrjäyttää alkuperäistä lajistoa tietyissä ympäristöissä ja niiden vaikutuksen voidaan olettaa voimistuvan vesistöissä (Tuomenvirta ym. 2018). Suomeen istutettu puronieriä kilpailee taimenen kanssa ja syrjäyttää tämän yleisesti. Alkuperäisten taimenkantojen heikkeneminen ja paikallisten taimenkantojen menettäminen jatkuu edelleen, mikäli puronierian leviämistä uusille alueille ei saada hallintaan. (Maa- ja metsätalousministeriö 2012). Tämä vaikuttaa myös raakkuun, sillä se ei pysty hyödyntämään puronieriää väli-isäntänään samoin kuin taimenta ja lohta (Salonen ym. 2016).

Suomen alkuperäinen rapulaji, jokirapu (*Astacus astacus*), on taantunut nopeasti 2000-luvulla istutettujen täplärapujen ja niiden levittämän rapuruton takia, ja laji luokiteltiin uusimmassa uhanalaisuusluokituksessa (2019) erittäin uhanalaiseksi (Väinölä ym. 2019). Rapurutto voi tappaa yksittäisen järven tai joen jokirapupopulaation kokonaan tai lähes kaikki sen yksilöt. Täplärapulle rapurutto harvoin aiheuttaa suurta kuolleisuutta. (Maa- ja metsätalousministeriö 2012). Täplärapu näyttäisi hyötyvän ilmaston ja vesien lämpenemisestä (Peltonen-Sainio ym. 2017).

Suomen sisävesiin on aivan viime vuosina levinnyt uusia vieraslajeja, kuten keltalammikki (*Nymphoides peltata*) ja hyytelösammaleläin (*Pectinatella magnifica*). Lisäksi Suomen lähialueilla on potentiaalisia uusia vieraslajeja, jotka saattavat levitä Suomeen ja aiheuttaa uusia haittoja. Tällainen on esimerkiksi kiehkuravesirutto (*Elodea nuttallii*). (Lammi ym. 2018).

Vesien lämpenemisestä on hyötyä monien kevätkutuisten kalojen poikasten kasvulle aikaistuneen kudun ja pitkän kasvukauden ansiosta. Se voi johtaa Tonavan alueelta lähtöisen olevan karpin (*Cyprinus carpio*) luonnonkantojen syntyyn myös Suomessa. Karppi on lämpimän veden kala ja lisääntyy vasta, kun veden lämpötila ylittää 20 °C. Pysyviä karpikantoja ei tiettävästi Suomessa vielä ole, mutta ilmaston lämmitessä ennustetusti karpin on mahdollista alkaa lisääntyä myös yhä useammassa luonnon vedessä (Urho 2011).

Etelärannikolle ja rannikon sisävesiin levinnyt hopearuutana (*Carassius gibelio*) saattaa tulevaisuudessa olla hyvin haitallinen matalissa ja rehevissä vesissä, sillä sen tiedetään Keski-Euroopassa runsastuneen paikoin jopa järvien valtalajiksi. Rehevyys ja lämpeneminen näyttävät olevan vain hyödyksi hopearuutனால் ja sen tiedetään sietävän huonoakin happitilannetta. Runsaana esiintyessään hopearuutana aiheuttaa muiden kalojen poikasille kiristyneen kilpailun ravinnosta. Se voi myös syödä pieniä kalanpoikasja. Hopearuutana pystyy valloittamaan vesistöjä itseään kloonaamalla ja mahdollisesti syrjäyttämään alkuperäislajeja. (Urho 2011).

- Vieraslajit voivat tulevaisuudessa syrjäyttää alkuperäislajeja, esim. puronieriä taimenen.
- Lämpenemisestä hyötyvä täpläräpu ja rapurutto uhkaavat jokirapua.
- Karppi ja hopearuutana sekä isosorsimo, karhunköynnös, jättipalsami ja kanaanvesirutto hyötyvät ilmastonmuutoksesta.

2.9 Saimaa

2.9.1 Saimaannorppa

Erittäin uhanalainen saimaannorppa (*Pusa hispida saimensis*) synnyttää poikasen kylmyydeltä ja pedoilta suojaavaan lumipesään helmi-maaliskuussa. Saimaannorpan lisääntymismenestys onkin riippuvainen lumi- ja jääolosuhteista. Lumipeitteen keskimääräisen vähenemisen on todettu kohdistuvan erityisesti kevättalveen, jolloin norpat pesivät. Vuosittaisen jääpeitteen oheneminen ja lumipeitteen heikkeneminen on havaittavissa myös ilmastotilastoissa Saimaalla. Poikkeukselliset sääolosuhteet ovat jo vaikuttaneet saimaannorpan pesintään lisäämällä kuuttien kuolleisuutta muutamina talvina 2000-luvulla: leutojen kevättalvien aikana pesäpoikaskuolleisuus on noussut jopa 30 prosenttiin (Ympäristöministeriö 2011).

Kolattujen apukinosten tarve voi tulevaisuudessa nousta. Vuonna 2014 yli 90 % pesälaskennoissa havaituista kuuteista oli syntynyt kolattuun apukinokseen. Mikäli jääpeite ohenee ennusteiden mukaisesti, vuosisadan lopulla tulee olemaan talvia, jolloin pysyvää jääpeitettä ei muodostu, ja lumen määrä vähenee huomattavasti. Tällöin apukinoksiakaan ei voida tehdä, ja syntyy tarve pysyville keinotekoisille pesille. Lumipesän puuttuessa kuutit joutuvat kylmyyden lisäksi saalistajien kuten ketun, koiran ja ilveksen, kohteeksi. Aikaisemmin sulava lumi altistaa kuutit myös lokkien, korppien ja merikotkan saalistukselle. (Auttila 2015).

Talvinen vedenkorkeuden vaihtelu vaikuttaa saimaannorpan pesintään, sillä pesät sijaitsevat rannan tuntumassa ja ovat vaarassa romahtaa, mikäli vedenkorkeus vaihtelee. Esimerkiksi 1980-luvulla luontaisen vedenpinnan muutokset ja niitä lisänneet tulvajuoksutukset rikkoivat pesiä aiheuttaen osaltaan keskimäärin noin 31 % suuruisen pesäpoikaskuolleisuuden. (Ympäristöministeriö 2011). Saimaan juoksutusstrategiassa pesinnän onnistumisen kannalta kriittiseksi määritetty muutos (nousu tai lasku) on 20 cm (Veijalainen ym. 2012). Ilmastonmuutoksen seurauksena sääolosuhteista aiheutuvat vedenpinnan jyrkät vaihtelut saattavat kuitenkin yleistyä, jolloin vedenkorkeuksien vakauttaminen vaikeutuu. Mikäli vedenpinnan taso ei ennusteen mukaan nouse tai laske ± 50 cm:n rajan eikä ennusteiden mukaan ole uhkaa veden pinnan noususta tai laskusta edelleen, ei valtiolla ole säännöstelyoikeutta ehkäistä todennäköisiä pesätuhoja. (Ympäristöministeriö 2011).

Saimaannorppakannan pieni koko ja siitä johtuva vähäinen geneettinen vaihtelu voi vähentää saimaannorpan kykyä sopeutua ilmastonmuutokseen (Valtonen 2014). Saimaannorppa ei myöskään pysty siirtymään pohjoisemmaksi suotuisamman ilmaston perässä.

- Jää- ja lumitalvien heikkenemisen myötä huonontuvat pesintäolosuhteet lisäävät kuuttien kuolemia.
- Tarve kolatuille apukinoksille ja keinotekoisille pesille kasvaa.
- Lisääntyvät vedenpinnan korkeuden vaihtelut rikkovat pesiä.

2.9.2 Järvilohi ja saimaannieriä

Äärimmäisen uhanalaiset järvilohi (*Salmo salar m. sebago*) ja saimaannieriä (*Salvelinus alpinus*) ovat ns. reliktilajeja, jotka jääkauden jälkeisen maankohoamisen jälkeen menettivät meriyhteyden ja jäivät Vuoksen vesistöalueelle saimaannorpan tavoin. Suomessa on jäljellä vain kaksi järvilohikantaa Vuoksen ja Hiitolanjoen vesistöissä, joissa sen luontainen lisääntyminen on satunnaista ja vähäistä. Ilmastonmuutos seuraavien 20–30 vuoden aikana uhkaa kumpaakin lajia, ja saimaannieriän kohdalla sen on arvioitu jo olevan yksi uhanalaisuuden syy. (Urho ym. 2019).

Ilmastonmuutos aiheuttaa samanaikaisia muutoksia useissa eri tekijöissä, kuten veden lämpötilassa ja happipitoisuudessa. Saimaannieriä näyttäisi kestävän vähäisiä happipitoisuuksia hyvin, mutta kärsivän lämpötilan noususta. Järvilohella puolestaan tilanne on toisinpäin. Saimaannieriä on tutkimuksen mukaan järvilohia haavoittuvampi ympäristön muutoksille. (Anttila ym. 2015).

- Ilmastonmuutos uhkaa järvilohia ja saimaannieriää seuraavien 20–30 vuoden aikana.
- Järvilohi kestää huonosti vähäisiä happipitoisuuksia.
- Saimaannieriä kestää huonosti lämpötilan nousua.

LÄHTEET

Aapala, K. & Mattsson, T. 2020. Sisävedet ja rannat. Julkaisussa: Pöyry, J. & Aapala, K. (toim.). 2020. Lajit ja luontotyypit muuttuvassa ilmastossa. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 2/2020. 61–69.

ACCLIM II-hanke. 2011. ACCLIM II – Ilmastonmuutosarviot ja asiantuntijapalvelu sopeutumistutkimuksia varten. Lyhyt loppuraportti. Ilmatieteen laitos, Helsingin yliopisto & SYKE. 23 s.

Anttila, K., Lewis, M., Prokkola, J. M., Kanerva, M., Seppänen, E., Kolari, I. & Nikinmaa, M. 2015. Warm acclimation and oxygen depletion induce species-specific responses in salmonids. *The Journal of Experimental Biology*. 218: 1471–1477.

Auttila, M. 2015. The endangered Saimaa ringed seal in a changing climate. Väitöskirja. University of Eastern Finland. 58 s.

Bolotov, I. N., Makhrov, A. A., Gofarov, M. Y., Aksenova, O. V., Aspholm, P. E., Bespalaya, Y. V., Kabakov, M. B., Kolosova, Y. S., Kondakov, A. V., Ofenböck, T., Ostrovsky, A. N., Popov, I. Y., Proschwitz, T., Rudzite, M., Rudzitis, M., Sokolova, S. E., Valovirta, I., Vikhrev, I. V., Vinarski, M. V. & Zotin, A. A. 2018. Climate warming as a possible trigger of keystone mussel population decline in oligotrophic rivers at the continental scale. *Scientific reports*. 8:35.

Bruggink, L. D. & Marshall, J. A. 2010. The incidence of norovirus-associated gastroenteritis outbreaks in Victoria, Australia (2002–2007) and their relationship with rainfall. *Int J Environ Res Public Health*. 7(7): 2822–2927.

Buisson, L., Thuiller, W., Lek, S., Lim, P. & Grenouillet, G. 2008. Climate change hastens the turnover of stream fish assemblages. *Global Change Biology*. 14. 2232–2248.

Couture, R-M., Wit, H. A., Tominaga, K., Kiuru, P. & Markelov, I. 2015. Oxygen dynamics in a boreal lake responds to long-term changes in climate, ice phenology, and DOC inputs. *J. Geophys. Res. Biogeosci.* 120. 2441–2456.

Delpla, I., Jung, A-V., Baures, E., Clement, M. & Thomas, O. 2009. Impacts of climate change on Surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International*. 35. 1225–1233.

de Man, H., van den Berg, H. H., Leenen, E. J., Schijven, J. F., Schets, F. M., van der Vliet, J. C., van Knapen, F. & de Roda Husman, A. M. 2014. Quantitative assessment of infection risk from exposure to waterborne pathogens in urban floodwater. *Water Res.* 1:48: 90–99.

Ferreira-Rodriguez, N., Akiyama, Y., Aksenova, O., Araujo, R., Barnhart, C., Bespalaya, Y., Bogan, A., Bolotov, I., Budha, P., Clavijo, C., Clearwater, S. Darrigran, G., Do, V., Douda, K., Froufe, E., Gumpinger, C., Henrikson, L., Humphrey, C., Johnson, N., Klishko, O., Klunzinger, M., Kovitvadhi, S., Kovitvadhi, U., Lajtner, J., Lopes-Lima, M., Moorkens, E., Nagayama, S., Nagel, K-O., Nakano, M., Negishi, J., Ondina, P., Oulasvirta, P., Prie, V., Riccardi, N., Rudzite, M., Sheldon, F., Sousa, R., Strayer, D., Takeuchi, M., Taskinen, J., Teixeira, A., Tiemann, J., Urbańska, M., Varandas, S., Vinarski, M., Wicklow, B., Zajac, T., Vaughn, C. 2019. Research priorities for freshwater mussel conservation assessment. *Biological Conservation*, 2019 (manuscript).

- Finn, D. S., Bonada, N., Múrria, C. & Hughes J. M. 2011. Small but mighty: headwaters are vital to stream network biodiversity at two levels of organization. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 30(4): 963–980.
- Forsius, M., Anttila, S., Arvola, L., Bergström, I., Hakola, H., Heikkinen, H. I., Helenius, J., Hyvärinen, M., Jylhä, K., Karjalainen, J., Keskinen, T., Laine, K., Nikinmaa, E., Peltonen-Sainio, P., Rankinen, K., Reinikainen, M., Setälä, H. & Vuorenmaa, J. 2013. Impacts and adaptation options of climate change on ecosystem services in Finland: a model based study. *Environmental Sustainability*. 5: 26–40.
- Futter, M. N., Forsius, M., Homlberg, M. & Starr, M. 2009. A long-term simulation of the effects of acidic deposition and climate change on surface water dissolved organic carbon concentrations in a boreal catchment. *Hydrology Research* 40.2–3. 291–305.
- Gregow, H., Carter, T., Groundstroem, F., Haavisto, R., Haanpää, S., Halonen, M., Harjanne, A., Hildén, M., Jakkila, J., Juhola, S., Jurgilevich, A., Kokko, A., Kollanus, V., Lanki, T., Luhtala, S., Miettinen, I., Mäkelä, A., Nurmi, V., Oljemark, K., Parjanne, A., Peltonen-Sainio, P., Perrels, A., Pilli-Sihvola, K., Punkka, A-J., Raivio, T., Räsänen, A., Sääntti, K., Tuomenvirta, H., Veijalainen, N. & Zacheus, O. 2016. Keinot edistää sää- ja ilmatoriskien hallintaa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 47/2016. 36 s.
- Heino, J., Virkkala, R. & Toivonen, H. 2009. Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. *Biological reviews*. 84: 39–54.
- Huttunen, I., Lehtonen, H., Huttunen, M., Piirainen, V., Korppoo, M., Veijalainen, N., Viitasalo, M. & Vehviläinen, B. 2015. Effects of climate change and agricultural adaptation on nutrient loading from Finnish catchments to the Baltic Sea. *Science of the Total Environment*. 529. 168–181.
- Jansson, R., Ström, L. & Nilsson, C. 2019. Smaller future floods imply less habitat for riparian plants along a boreal river. *Ecological Applications*. e01977.
- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räsänen, J. & Fronzek, S. 2012. Ilmasto muuttuu Suomessa. Julkaisussa: Ruuhela, R. (toim.). 2012. Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? – yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. Maa- ja metsätalousministeriö. Tampereen yliopistopaino, Tampere. 16–23.
- Jyrkänkallio-Mikkola, J., Siljander, M., Heikinheimo, V., Pellikka, P. & Soininen, J. 2018. Tropical stream diatom communities – The importance of headwater streams for regional diversity. *Ecological Indicators*. 95. 183–193.
- Karjalainen, J., Keskinen, T. & Pulkkanen, M. 2011. Kalatalous. Julkaisussa Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J. & Forsius, M. (toim.). *Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon*. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Suomen ympäristö 26/2011. 51–54.
- Korhonen, J. 2019. Long-term changes and variability of the winter and spring season hydrological regime in Finland. Väitöskirja. University of Helsinki. 83 s.

Lammi, A., Kokko, A., Kuoppala, M., Aroviita, J., Ilmonen, J., Jormola, J., Karonen, M., Kotanen, J., Luotonen, H., Muotka, T., Mykrä, H., Rintanen, T., Sojakka, P., Teeriaho, J., Teppo, A., Toivonen, H., Urho, L. & Vuori, K-M. 2018. Sisävedet ja rannat. Julkaisussa: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa I: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö. Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. 81–115.

Maa- ja metsätalousministeriö. 2012. Kansallinen vieraslajistrategia. 126 s.

Mohammed, H., Longva, A. & Seidu, R. 2019. Impact of climate forecasts on the microbial quality of a drinking water source in Norway using hydrodynamic modeling. *Water*. 11: 527.

Mäenpää, M. & Tolonen, S. (toim.). 2011. Kooste vesienhoitoalueiden vesienhoitosuunnitelmista vuoteen 2015. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Suomen ympäristö 23/2011. 118 s.

Parjanne, A., Silander, J., Tiitu, M. & Viinikka, A. 2018. Suomen tulvariskit nyt ja tulevaisuudessa. Varautuminen maankäytön, talouden ja ilmaston muutokseen. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 30/2018. 73 s.

Peltonen-Sainio, P., Sorvali, J., Müller, M., Huitu, O., Neuvonen, S., Nummelin, T., Rummukainen, A., Hynynen, J., Sievänen, R., Helle, P., Rask, M., Vehanen, T. & Kumpula, J. Sopeutumisen tila 2017. Ilmastokestävyyden tarkastelut maa- ja metsätalousministeriön hallinnonalalla. Luonnonvarakeskus. Helsinki. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 18/2017. 87 s.

Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen M. 2016. Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica* 51(1). 17–50.

Sairanen, S., Arvola, L., Rankinen, K., Karjalainen, J., Keskinen, T. & Pulkkanen, M. 2011. Valuma-alueet ja vesistöt. Julkaisussa Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J. & Forsius, M. (toim.). Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Suomen ympäristö 26/2011. 31–33.

Salonen, J. K., Marjomäki, T. J. & Taskinen, J. 2016. An alien fish threatens an endangered parasitic bivalve: the relationship between brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and freshwater Pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) in northern Europe. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst*. 26.6. 1130–1144.

Settele, J., Scholes, R., Betts, R., Bunn, S., Leadley, P., Nepstad, D., Overpeck, J. T. & Taboada, M. A. 2014. Terrestrial and inland water systems. Julkaisussa: Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, R. C., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P. R. & White, L.L. 2014. Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the fifth report of the intergovernmental panel on climate change. 271–359.

Solheim, A. L., Austnes, K., Eriksen, T. E., Seifert, I. & Holen, S. 2010. Climate change impacts on water quality and biodiversity. Background report for EEA European environment state and outlook report 2010. ETC Water Technical Report 1/2010. 68 s.

Suomalainen, M., Vehviläinen, B., Veijalainen, N., Lepistö, A. & Mäkinen, R. 2006. Effects on the hydrological cycle – inland waters. Julkaisussa: Silander, J., Vehviläinen, B., Niemi, J., Arosilta, A., Dubrovin, T., Jormola, J., Keskiarja, V., Keto, A., Lepistö, A., Mäkinen R., Ollila, M., Pajula, H., Pitkänen, H., Sammalkorpi, I., Suomalainen, M. & Veijalainen, N. Climate change adaptation for hydrology and water resources. FINADAPT Working Paper 6. Finnish Environment Institute Mi-meographs 336. Helsinki. 5–12.

SYKE. 2020. Talven fosforikuorma Itämereen poikkeuksellisen suuri Lounais-Suomessa. Suomen ympäristökeskus & Varsinais-Suomen ELY-keskus. Tiedote 22.4.2020. Saatavilla osoitteesta: [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Talven_fosforikuorma_Itamereen_poikkeuks\(56647\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Talven_fosforikuorma_Itamereen_poikkeuks(56647)). Viitattu 10.6.2020.

Tuomenvirta, H., Haavisto, R., Hildén, M., Lanki, T., Luhtala, S., Meriläinen, P., Mäkinen, K., Parjanne, A., Peltonen-Sainio, P., Pilli-Sihvola, K., Pöyry, J., Sorvali, J. & Veijalainen, N. 2018. Sää- ja ilmatoriskit Suomessa – Kansallinen arvio. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 43/2018. 101 s.

Urho, L. 2011. Kalasto-, kalakantamuutokset ja vieraslajit ilmaston muuttuessa. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Helsinki. RTKL:n työraportteja 6/2011. 111 s.

Urho, L., Koljonen, M-L., Saura, A., Savikko, A., Veneranta, L. & Janatuinen, A. 2019. Kalat. Julkaisussa: Hyvärinen, E., Juslén, A., Kempainen, E., Uddström, A. & Liukko, U-M. (toim.). 2019. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 549–555.

Valtonen, M. 2014. Conservation genetics of the Saimaa ringed seal: insights into the history of a critically endangered population. Väitöskirja. University of Eastern Finland. 61 s.

Veijalainen, N., Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen, M. & Aaltonen, J. 2012. Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. WaterAdapt-projektin loppuraportti. Suomen ympäristökeskus (SYKE). Suomen ympäristö 16/2012. 138 s.

Veijalainen, N., Lotsari, E., Alho, P., Vehviläinen, B. & Käyhkö, J. 2010. National scale assessment of climate change impacts on flooding in Finland. Journal of Hydrology. 391. 333–350.

Vienonen, S., Rintala, J., Orvonmaa, M., Santala, E. & Maunula, M. 2012. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja sopeutumistarpeet vesihuollossa. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Suomen ympäristö 24/2012. 86 s.

Väinölä, R., Könönen, K., Lakka, H-K., Uddström, A., Mannerkoski, I., Erkamo, E., Arponen, H., Keskinen, E., Lanki, M. & Laine, A. O. 2019. Äyriäiset. Julkaisussa: Hyvärinen, E., Juslén, A., Kempainen, E., Uddström, A. & Liukko, U-M. (toim.). 2019. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 344–348.

WWF Suomen raportti. 2016. Jäähyväiset? Raportti ilmastonmuutoksen vaikutuksista Suomen arktiseen eläinlajistoon. Fritze, J., Luukkonen, J., Tolvanen, P. & Vilhunen, S. (toim.). WWF Suomen raportteja nro 35. 19 s.

Ympäristöministeriö. 2011. Saimaannorpan suojelun strategia ja toimenpidesuunnitelma. Helsinki. 118 s.