



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 118/2023

Ilmastonmuutoksen ja sään ääri-ilmiöiden vaikutukset luontoon ja luonnonvaratalouteen

Synteesiraportti

Esa Huhta ja Markus Melin (toim.)

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 118/2023

Ilmastonmuutoksen ja sään ääri- ilmiöiden vaikutukset luontoon ja luonnonvaratalouteen

Synteesiraportti

Esa Huhta ja Markus Melin (toim.)

**Susanna Airaksinen, Juho Hautsalo, Miia Jauni, Meri Kallasvuo, Saira Karhu,
Antti Kause, Mervi Kunnasranta, Mika Laakkonen, Juha Laitila, Juho Matala,
Pirjo Peltonen-Sainio, Jenni Prokkola, Timo Ruokonen, Jukka Ruuhijärvi,
Eeva Terhonen, Harri Vehviläinen ja Tiina Ylioja**

Viittausohje:

Huhta, E. & Melin, M. (toim.) 2023. Ilmastonmuutoksen ja sään ääri-ilmiöiden vaikutukset luontoon ja luonnonvaratalouteen : Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 118/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 62 s.

Viittausohje yksittäiseen artikkeliin:

Melin, M., Huhta, E., Terhonen, E., Ylioja, T. & Laitila, J. 2023. Vaikutukset metsiin ja metsätalouteen. Julkaisussa: Huhta, E. & Melin, M. (toim.). Ilmastonmuutoksen ja sään ääri-ilmiöiden vaikutukset luontoon ja luonnonvaratalouteen : Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 118/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 11–17

Esa Huhta ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-5016-3444>



ISBN 978-952-380-848-5 (Painettu)

ISBN 978-952-380-849-2 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-849-2>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Esa Huhta ja Markus Melin (toim.). Susanna Airaksinen, Juho Hautsalo, Miia Jauni, Meri Kallasvuo, Saira Karhu, Antti Kause, Mervi Kunnasranta, Mika Laakkonen, Juha Laitila, Juho Matala, Pirjo Peltonen-Sainio, Jenni Prokkola, Timo Ruokonen, Jukka Ruuhijärvi, Eeva Terhonen, Harri Vehviläinen ja Tiina Ylioja

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2023

Julkaisu vuosi: 2023

Kannen kuva: Markus Melin, Luonnonvarakeskus

Tiivistelmä

Esa Huhta¹ ja Markus Melin²

¹ Luonnonvarakeskus, Ounasjoentie 6, 96200 Rovaniemi

² Luonnonvarakeskus, Yliopistokatu 6, 80100 Joensuu

Ilmastonmuutoksen vaikutukset koskevat kaikkia luonnonvarataloutemme sektoreita. Suomen ilmasto on lämmennyt merkittävästi tunnetun mittaushistorian aikana. Lämpenemisellä on merkittäviä vaikutuksia luontoon ja siitä riippuvaan talouteen. Merkittäviä tapahtuneita muutoksia ovat mm. kasvillisuusvyöhykkeiden siirtyminen pohjoisemmaksi, kasvukauden pidentyminen, vuosittaisen lämpösummakertymän kasvaminen sekä jää- ja lumipeitteisen ja routaisen ajan lyhentyminen. Lämpenemisen lisäksi ilmastonmuutos lisää sään ääri-ilmiöitä kuten kuivuus- ja sadejaksoja. Kuivuus vaikuttaa negatiivisesti mm. puiden kasvuun, lisää niiden alttiutta hyönteistuhoille ja sienitaudeille sekä kasvattaa metsäpalojen riskiä. Samalla se heikentää satotasojaa pelloilla merkittävästi ja lisää kastelupainetta mm. vihannestuotannossa.

Metsissä kuivuuden lisäksi vaikuttaa mm. roudattoman ja lumettoman ajan lisääntyminen. Puunkorjuu roudattomaan aikaan ei onnistu märillä kohteilla. Lumeton aika lisää metsäkoneiden aiheuttamia korjuuvaurioita, jotka toimivat tartunta-alustoina sienitaudeille. Roudattomassa maassa puut myös kaatuvat helpommin talven aikana. Lämpötilojen kohoaminen kasvattaa tuhohyönteiskantoja ja vie tuhoriskiä aiempaa pohjoisemmaksi. Puutavaran varastointi vaatii enemmän aktiivisuutta ja tarkkuutta, sillä puutavarapinot toimivat kesäaikaan tuhohyönteisten lisääntymisalustoina. Kuivuus kasvattaa tautipainetta myös taimitarhoilla sekä lisää tarvetta kastelulle. Maltillinen lämpeneminen ja pidentyvä kasvukausi kuitenkin lisäävät puuston kasvua ja edesauttavat jalojen lehtipuiden leviämistä pohjoisemmaksi.

Vesistöissä lisääntyvät hellejaksot yhdistettynä rehevöitymisen aiheuttamaan hapen vähyteen ovat riski luonnon kalakannoille ja kasvatettaville kaloille. Lisääntyvä sateisuus ja valunta aiheuttavat haitallisia vaikutuksia kutualueilla. Niitä voidaan vähentää kiinnittämällä huomiota valuma-alueiden kunnostamiseen, joka parantaa ravinteiden ja humuksen pidätyskykyä. Jääpeitteisyyden muutokset aiheuttavat vaikeuksia perinteiselle jäältä tapahtuvalle talvikalastukselle. Entistä tarkempi kalastuskauden aikainen säätely voi tulla tarpeeseen hellejaksojen aikana. Kalankasvatuksen teknologiset ratkaisut voivat auttaa ilmastonmuutokseen sopeutumisessa.

Peltoviljely on altis vallitseville säille, joiden haitoilta suojautuminen edellyttää monipuolisten sopeutumistoimien käyttöönottoa. Kylvöt ovat aikaistuneet parilla viikolla, mikä ei kuitenkaan ole heijastunut korjuuaikoihin. Kasvukauden pidentyminen on mahdollistanut viljelykasvivalikoiman monipuolistamisen kuten myöhäisempien ja satoisampien lajikkeiden käyttöönoton. Ennusteet kasvukauden aikaisista sademäärän muutoksista vaihtelevat lisääntyvästä vähenevään sadantaan. Äärisäiden, erityisesti kuivuuden, haittoja voidaan kuitenkin vähentää ennakoin ja pitkäjänteisyyttä edellyttävin viljelytoimin. Tällaisia toimia ovat muun muassa monipuolistuva ja alueellisesti laajeneva viljelykasvilajisto sekä maanpeite- ja välikasvien käyttö. Puutarhatuotannossa kasvien menestyminen Suomen talvessa paranee, sillä monivuotisten kasvien pakkasvaurioiden riski pienenee. Monivuotisten puutarhakasvien lajikkeiden menestymisvyöhykkeet siirtyvät pohjoisemmaksi. Samalla Suomessa menestyvien lajikkeiden määrä

lisääntyy. Tuhohyönteisten, rikkakasvien, vieraslajien ja kasvitautien määrät voivat kasvaa. Kuivuusjaksot voivat lisätä kastelun tarvetta mm. avomaan vihannestuotannossa.

Riista- ja metsälajistoon vaikuttavat mm. lumen määrään ja lumisen ajan pituus, routa, sateisuus, talvien ankaruus, jäiden sulamisajankohta sekä veden laatu. Valkoiseen suojaväriin vaihtavat lajit kärsivät lumen puutteesta, koska se tekee niistä helppoja ja näkyviä saaliseläimiä. Norpat ja hylkeet kärsivät huonoista jääolosuhteista, sillä niille olisi optimaalisinta synnyttää poikasensa jäälle. Yleisesti lajien välinen kilpailu voi lisääntyä, sillä eteläiset lajit, tulokaslajit ja vieraslajit lisääntyvät ja leviävät pohjoisemmaksi.

Tämä raportti tiivistää tutkitun tiedon pohjalta tunnettuja ilmastonmuutoksen ja sään ääri-ilmiöiden vaikutuksia luontoomme ja luonnonvaratalouteemme. Tavoite on avata ilmiöitä ja niiden vaikutuksia helposti ymmärrettävässä muodossa, samalla tarjoten runsaasti taustalla olevaa tutkimuskirjallisuutta.

Asiasanat: ilmastonmuutos, sopeutuminen, metsät, riista, vesiviljely, kalakannat, kuivuus, maatalous, puutarhatuotanto, sään ääri-ilmiöt, valintajalostus

Abstract

Esa Huhta¹ and Markus Melin²

¹ Natural Resources Institute Finland, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

² Natural Resources Institute Finland, Yliopistokatu 6, 80100 Joensuu

Over the known measurement history, Finland's climate has warmed more than the global average. This warming has had, and will continue to have, a significant impact on nature and the economies that depend on it. Major changes that have occurred include a more northerly shift of vegetation zones, longer growing seasons, an increase in annual thermal sums, and a shorter period of ice, snow and frost. In addition to warming, climate change will increase the occurrence probability of extreme weather events such as droughts and heavy rainfall. Of these, drought adversely affects tree growth, increases susceptibility to insect and fungal diseases, and increases the risk of forest fires. At the same time, it significantly reduces crop yields and increases irrigation pressure, for example in vegetable production.

In addition to drought, forests are also affected by an increase in frost-free and snow-free periods. Harvesting during frost- and snow-free periods is not possible in moist terrains. Snow-free periods increase also the risk of harvesting damages to trees caused by forest machines, and such cuts provide entrance sites for fungal diseases. Trees are also more likely to fall down during winter on frost-free soil. Rising temperatures increase pest populations and push the damage risks further north. Drought also increases disease pressure in nurseries and the need for irrigation. Yet, gradually warming temperatures and a longer growing season will also increase tree growth and aid the expansion of deciduous hardwood species to further north.

Increased heat waves in water bodies, combined with oxygen depletion due to eutrophication, pose a risk to natural fish stocks and aquaculture. Increased rainfall and run-off will adversely affect spawning areas. These effects can be partly mitigated by catchment area restoration, which improves nutrient and humus retention. Changes in ice cover pose difficulties for traditional winter ice fishing. More precise regulations during the fishing season may be necessary during heat periods. Technological solutions for aquaculture can help to adapt to climate change.

Agriculture is always vulnerable to the prevailing weather conditions and a wide range of adaptation measures will be needed to mitigate against the adverse effects. Sowing has been brought forward by a few weeks, but this has not been reflected in harvest times. The extension of the growing season has allowed crop diversification, including the introduction of later and higher-yielding varieties. Projections of changes in growing season precipitation range from increasing to decreasing. Changes in precipitation are likely to increase the risk of more severe droughts. However, the adverse effects can, to some extent, be reduced through proactive and long-term management measures. Such measures include the diversification of crop varieties, and the use of cover crops and intercropping. Horticultural production will be improved by better winter-time plant survival, especially through decreased risk of frost damage to perennial crops. Vegetation zones for perennial horticultural crops will shift further north and the number of available varieties will increase. Yet, the risks of insect pests, weeds, invasive species and plant diseases may increase. Droughts may increase the need for irrigation, for example in open field vegetable production.

Wildlife and forest animal species are affected by factors such as the amount and duration of snow cover, frost, precipitation, the severity of winters, the timing of ice melt and water quality. Species that rely on white winter camouflage will suffer from a lack of snow cover, as this exposes them to increased predation. Seals suffer from poor ice conditions as they would prefer to give birth on the ice. In general, interspecific competition may increase as southern species, invasive species and alien species populations increase and spread further north.

This report summarizes the known impacts of climate change and extreme weather events on our nature and economies that depend on it. The aim is to highlight the issues in a way that is easy to understand, while at the same time providing underlying research easily accessible and clearly referenced.

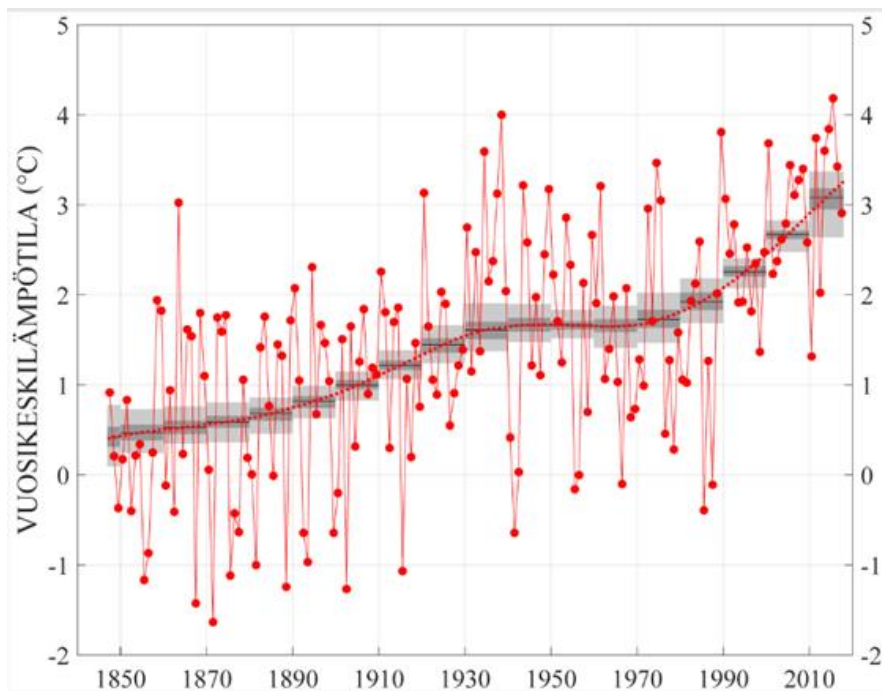
Keywords: climate change, adaptation, forests, game, aquaculture, fish stocks, drought, agriculture, horticulture, extreme weather events, selective breeding

Sisällys

1. Johdanto	8
2. Vaikutukset metsiin ja metsätalouteen	11
2.1. Metsien puulajisuhteet ja puuston kasvu.....	11
2.2. Puustotuhot	12
2.3. Vaikutuksia metsätalouteen	14
3. Vaikutukset vesistöissä ja kalataloudessa	18
3.1. Vaikutukset kalojen kasvuun ja lisääntymiseen	18
3.2. Vaikutukset luonnonkalakantoihin ja kalastukseen.....	19
3.3. Vaikutukset ruokakalan tuotantoon.....	21
4. Vaikutukset maatalouteen ja puutarhatuotantoon	25
4.1. Vaikutukset maatalouteen	25
4.2. Vaikutukset ja uhat puutarhatuotannossa.....	27
4.3. Vaikutukset kasvintuhoojien esiintymiseen.....	31
5. Vaikutukset riista- ja metsälajistoon	36
5.1. Esimerkkejä muuttuvan ilmaston vaikutusmekanismeista eri lajiryhmillä	36
5.2. Tulokas- ja vieraslajien leviäminen	39
5.3. Näkökulmia sopeutumiseen ja ihmisen rooliin.....	40
6. Varautuminen ja avainviestit.....	41
6.1. Vaikutukset pähkinänkuoressa.....	41
6.2. Avainviestit varautumisesta ja sopeutumisesta	42
Viitteet.....	44

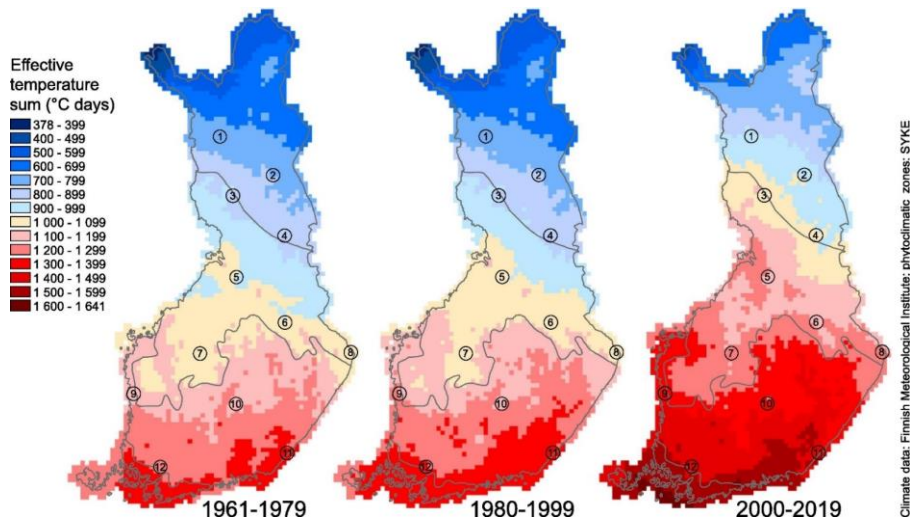
1. Johdanto

Suomen ilmasto on lämmennyt merkittävästi tunnetun mittaushistorian aikana. Muutos vuoden keskilämpötiloissa on 1800-lukuun verrattuna vähintään 2 °C, ja muutosvauhti on kasvanut vuosikymmenestä toiseen (Kuva 1). Yleisesti pohjoiset alueet kuten Suomi lämpenevät enemmän kuin maapallo keskimäärin. Arktinen alue on tuoreimpien tutkimusten mukaan lämmennyt neljä kertaa maapallon keskiarvoa nopeammin (Rantanen ym. 2022). Suomessa talvet lämpenevät keskimäärin enemmän kuin kesät ja lämpeneminen on nopeampaa pohjoisessa kuin etelässä.



Kuva 1. Suomen vuosikeskilämpötilat 1847–2017. Lähde: Ilmatieteen laitos

Tapahtuneilla muutoksilla on merkittäviä vaikutuksia luontoon ja siitä riippuvaan talouteen. Kun puhutaan näistä vaikutuksista, on syytä erottaa hitaasti ja tasaisesti etenevä lämpeneminen sään ääri-ilmiöistä. Ensimmäinen on vaikuttanut ja tulee edelleen vaikuttamaan muun muassa kasvukausien pituuteen. On ennakoitu, että kuluvan vuosisadan loppuun mennessä kasvukausi pitenee kuukaudella tai kahdella, ja ennen pitkää kasvillisuusvyöhykkeet siirtyvät kohti pohjoista. Lämpösummien osalta näin on jo käynyt verrattain nopeassa ajassa (kuva 2).



Kuva 2. Lämpösummien kehittyminen Suomessa kolmella vertailukaudella. Alkuperäinen kuva (CC BY SA) julkaisussa [Sallinen ym. 2023](#).

Ilmastomallit osoittavat, että muutokseen kuuluu myös sään ääri-ilmiöiden todennäköisyyden kasvaminen. Näitä ajallisesti vaikeammin ennustettavia äkillisiä tapahtumia ovat muun muassa kuivuusjaksot ja voimakkaat sadejaksot. Niillä on omat suorat ja epäsuorat vaikutuksensa luontoon. Kesäaikainen kuivuus on stressitekijä esimerkiksi peltokasveille ja puille, minkä lisäksi se altistaa niitä sieni- ja hyönteistaudeille heikentämällä niiden kuntoa ja vastustuskykyä.

Mikäli kesäaikainen kuivuus vaivaa esimerkiksi peltoja yhä useammin, sitä seuraavat rankkasateet eivät korjaa tilannetta, sillä niiden tuoma vesi virtaa enimmäkseen pois pitkän kuivunutta maanpintaa. Paljaaseen maahan lankeava sade taas lisää eroosiota ja ravinteiden huuhtoutumista vesiin. Esimerkiksi kasvukauden venymisen tuoma lisäys puuston kasvuun voi jäädä reaalisuomatta, koska sään ääri-ilmiöt tuovat mukanaan kuivuusjaksoja ja tuhoriskejä.

Vaikutukset vaihtelevat ekosysteemistä toiseen

Käynnissä oleva muutos koskettaa vesi- ja maaekosysteemejä, villiä luontoa sekä tuotantotalouttamme. Esimerkiksi Itämeren pohjanläheiset vesikerrokset ovat lämmenneet 0,75–2,9 °C 1960-luvulta nykypäivään, ja samalla pintaveden suolapitoisuus on vähentynyt. Tällä muutoksella on vaikutuksia meriluontoon ja sen eliöyhteisöihin sekä esimerkiksi kalastukseen. Hupevat talviset jäät ovat merkityksellisiä niin jäällä synnyttävälle norpalle kuin jääpeitteestä hyötyville talvikalastajille. Meri ja sisävedet ovat nykyään entistä lyhyemmän aikaa jäässä, ja jääpeite kattaa entistä suppeamman pinta-alan (Johansson ym. 2014).

Vuodenaikaisilla muutoksilla on myös oleellinen merkitys siihen, kuinka luonto ja lopulta ihminen muuttuvan ilmaston vaikutukset kohtaavat. Syksyllä lumipeitteen ja roudan väheneminen hankaloittaa puunkorjuuta esimerkiksi suometsistä. Se lisää myös kuolleisuutta valkoiseen suojaväriin vaihtavien eläinlajien kohdalla, jotka saalistajien silmissä ovat valkoisia majoita mustaa maata vasten (Melin ym. 2019). Yleisesti lumipeitteinen aika on lyhentynyt kaikkialla Suomessa. Arktisille lajeille lumipeitteen väheneminen voi olla jopa suurempi uhka kuin lämpötilan nousu, kun taas eteläisimmille lajeille se tarjoaa mahdollisuuksia levitä pohjoisemmaksi (Boelman ym. 2019).

Sulan maan aikaan tapahtuvat muutokset ovat jo nähtävissä ja koettavissa. Suomessa esimerkiksi lehtien puhkeaminen keväällä tapahtuu nykyään noin 12 vuorokautta aikaisemmin verrattuna 1800-luvun puoliväliin. Kasvukauden pidentyminen ja lämpösummien kasvaminen vaikuttavat useiden eri lajien levinneisyyksiin. Kasvukauden pidentyessä mahdollistuu uusien kasvilajikkeiden käyttö aiempaa pohjoisemmassa, jossa tämä ei ennen ollut kasvukauden lyhyden takia mahdollista. Metsissä aiemmin etelään tiukasti rajoittuneet jalolehtipuulajit voivat myös menestyä aiempaa pohjoisemmassa. Myös hyönteislajit voivat lisääntyä aiempaa pohjoisemmassa, ja etelässä ne voivat lisääntyä useammin kuin kerran kasvukauden aikana. Osa näistä hyönteisistä on merkittäviä puiden tuholaisia, jolloin metsien puustotuhojen riski kasvaa (Venäläinen ym. 2000). Muutokseen sisältyy siis sekä mahdollisuuksia että uhkia.

Vuorovaikutukset mutkistavat tilannetta

Vaikutusten ennustamisesta tekee hankalaa se, että vuodenaikojenkin välillä asiat kytkeytyvät toisiinsa. Puut, erityisesti kuuset, kaatuvat myrskyissä aiempaa helpommin, kun maa ei ole roudassa. Kevään tullen puiden tuhohyönteiset, kuten kirjanpainajat voivat lisääntyä tuulen kaatamissa rungoissa, mikä kasvattaa puustotuhojen riskiä myös ympäröivässä metsissä. Mikäli metsäkone joutuu ajamaan pehmeässä maastossa ilman lumen ja roudan tuomaa suojaa, kasvaa riski sille, että se aiheuttaa puihin juurivaurioita. Jokainen haava puun kuoreessa on kohta, josta tauteja aiheuttavien sienten itiöt pääsevät iskemään puuhun.

Vuorovaikutukset seuraavat toisiaan, kun puhumme ilmastonmuutoksen konkreettisista vaikutuksista luonnolle. Vaikka tämä yhtälö sisältää runsaasti tuntemattomia muuttujia, olemme kuitenkin jo saaneet runsaasti havaintoja sekä niihin perustuvaa tutkimustietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksista. Tämä raportti esittelee jo tunnettuja vaikutuksia ja pyrkii näin luomaan kuvan siitä mitä on odotettavissa, kun ilmasto meillä edelleen lämpenee.

Raportin tarkoitus on antaa helposti ymmärrettävää tietoa sekä konkreettisia esimerkkejä siitä, kuinka ilmastonmuutos vaikuttaa luontoomme ja luonnonvaratalouteemme. Raportti kattaa vesiekosysteemit ja kalatalouden, metsät ja metsätalouden sekä maatalousympäristön ja maatalouden, kunkin omassa kappaleessaan. Jokaisen kappaleen ydinsanoma on tiivistetty tietolaatikoin. Raportissa tarkastellaan sekä ilmastonmuutoksen vaikutusten riskejä että mahdollisuuksia, sekä niihin varautumista. Raportin loppuun olemme tiivistäneet ydinviestit erityisesti päättäjille ja toimijoille ennakoitavissa olevista riskeistä ja mahdollisuuksista.

Tietolaatikko: tapahtunut lämpeneminen

- Suomen keskilämpötila on noussut vähintään 2 °C asteella 1800-luvulta.
- Pohjois-Suomi on lämmennyt etelää voimakkaammin, ja talvet kesiä voimakkaammin.
- Lumisen ja routaisen ajan sekä vesistöjen jääpeitteisen ajan pituus on lyhentynyt.
- Kasvukausi on pidentynyt ja vuotuinen lämpösumma kasvanut.
- Sään ääri-ilmiöiden, kuten kesäisten kuivuusjaksojen, todennäköisyys on kasvanut.

2. Vaikutukset metsiin ja metsätalouteen

Markus Melin, Esa Huhta, Eeva Terhonen, Tiina Ylioja ja Juha Laitila

Ilmaston lämpenemisellä ja koetuilla sään ääri-ilmiöillä on ollut niin suoria kuin epäsuoria vaikutuksia puihin. Suoriin vaikutuksiin voidaan laskea puiden elintoimintoihin, kasvuun ja kehitykseen liittyvät ilmiöt. Epäsuora vaikutus on esimerkiksi puiden tuholaisien hyötyminen muuttuvasta ilmastosta, minkä seurauksena niiden aiheuttamat tuhot ovat lisääntyneet. Yhtä kattavaa vastausta "metsät ja ilmastonmuutos" -kysymykseen on mahdoton antaa, sillä ilmiö vaihtelee puulajeittain, vuodenajoittain ja maantieteellisesti. Tässä kappaleessa avataan peruseriaatteet yleistasolla ja tarjotaan tutkimusviitteet tarkempaa perehtymistä varten.

2.1. Metsien puulajisuhteet ja puuston kasvu

Puut tarvitsevat elääkseen peruselementtejä kuten auringonvaloa, hiilidioksidia, vettä ja ravinteita maaperästä. Ne vaativat myös sopivan lämpötilan kasvamiseen ja elintoimintojen ylläpitoon. Näin ollen puut ovat erityisen alttiita sille, mitä ilmastossa ja ympäristössä tapahtuu.

Lämpötila on merkittävä puiden kasvua rajoittava tekijä, jolloin maltillinen lämpötilan kohoaminen sekä kasvukauden venyminen pääosin lisäävät puuston kasvua. Suomessakin metsät ovat kasvaneet aiempaa voimakkaammin ja yksi – joskaan ei ainoa – syy tämän taustalla on ollut lämmennyt ilmasto (Henttonen ym. 2017). Vaikka lämpötila nousisi, valon määrä ja valoisuuden ajan pituus ei maassamme lisäänty, mikä lopulta asettaa rajat kohoavan lämpötilan hyödyille. Puiden kasvuvasteisiin (pituuskasvu, leveyskasvu, juuriston kasvu, yhteyttäminen) muuttuvassa ilmastossa liittyy paljon maantieteellisesti ja vuodenaikojen suhteen vaihtelevia yksityiskohtia, joita on purettu mm. Saksan ym. (2020) raportissa. Peruseriaate on, että sopivasti kohoavat lämpötilat ja sitä myötä pidentyvät kasvukaudet lisäävät puustomme kasvua.

Sään ääri-ilmiöistä erityisesti kuivuus vaikuttaa negatiivisesti puiden kasvuun ja elinvoimaan. Vallitsevien ilmastokenaarioiden valossa kuivuus- ja hellejaksoista tulee paitsi aiempaa voimakkaampia myös pitkäkestoisempia ja ne toistuvat useammin. Kuivuus heikentää vedenottoa (veden saatavuus juurten lähellä vähenee) sekä hidastaa yhteyttämistä, koska puut sulkevat lehtien/neulasten ilmarakoja vähentääkseen ylimääräisen veden haihtumista. Ilmarakoja tarvitaan yhteyttämisessä, sillä niiden kautta puut ottavat hiilidioksidia (CO₂) ilmasta. Lopulta kuivuuden stressaamien puiden elinvoima heikkenee, mikä vaikuttaa myös niiden kykyyn puolustautua tuhonaiheuttajia vastaan (Rissanen ym. 2019, Netherer ym. 2015).

Kuivuuden suhteen puulajimme ovat hieman eri asemassa, vaikka se yleisesti ottaen onkin kaikille haitallista. Pintajuurinen kuusi kokee kuivuusstressin voimakkaammin, kun taas syvälle juurensa kasvattava mänty on yleisesti ottaen paremmin sopeutunut kuivempiin ja karumpiin kasvupaikkoihin. Kuusen kasvualan onkin ennustettu pienenevän eteläisessä Suomessa muiden puulajien lisääntyessä, kun ilmasto muuttuu jatkossa kuuselle huonommaksi etenkin kuivuudelle alttiimmilla kasvupaikoilla. Toistaiseksi ihmisen toiminta on kuitenkin vaikuttanut metsien puulajisuhteisiin enemmän kuin muuttunut ilmasto. 2000-luvulta alkaen kuusen osuus on kasvanut etenkin Etelä-Suomen taimikoissa, männyn osuus on vähentynyt ja lehtipuulajien metsien osuudet ovat marginaalisia (Korhonen ym. 2021). Kuusta on siis suosittu metsien uudistamisessa muiden puulajien kustannuksella, koska sen hinta on keskimäärin parempi eivätkä taimikoissa tuhoja aiheuttavat hirvi ja valkohäntäpeura syö kuusta (Matala

ym. 2021). Jatkossa sään ääri-ilmiöt kuitenkin asettanevat rajat sille, miten paljon kuusta kannattaa kasvattaa etenkin kuivuudelle alttiilla kasvupaikoilla. Lämpenemisen odotetaan myös vaikuttavan puulajivalikoimaan monipuolistavasti, kun nykyään pääosin etelään rajoittuneet jalot lehtipuut voivat menestyä aiempaa pohjoisemmassa (Ruotsalainen ym. 2022).

2.2. Puustotuhot

2010-luvulta alkaen on havaittu ennennäkemättömän suuria metsien puustotuhvoja eri puolilla boreaalista havumetsävyöhykettä sekä Keski- ja Itä-Euroopan havumetsäalueilla (Hlásny ym. 2021). Pääsyyinä on monissa tapauksissa ollut hyönteinen, mutta taustalla on myös usein puita heikentäviä tekijöitä, kuten kuivuus tai voimakkaat myrskyt. Lisäksi sienitaudit tuovat oman lisänsä yhtälöön. Vuorovaikutukset elollisten ja elottomien tuhonaiheuttajien välillä ovatkin enemmän sääntö kuin poikkeus. Elolliset tuhot aiheuttavat stressiä ja heikentävät puita sekä altistavat ne siten sienipatogeeneille tai tuhohyönteisille. Tässä vaikutus on siis selvä: ilmastonmuutos on jo lisännyt sekä edelleen lisää puustotuhojen riskiä useiden eri mekanismien kautta.

Elolliset tuhonaiheuttajat hyötyvät

Puiden tuhohyönteiset hyötyvät lämpenevästä ilmastosta siten, että ne voivat laajentaa esiintymisalueitaan esimerkiksi aiempaa pohjoisemmaksi, kun sääolot muuttuvat niille suotuisemmaksi. Lämpeneminen vaikuttaa myös hyönteisten elinkiertoon, sillä niiden kehitys esimerkiksi toukasta aikuiseksi tapahtuu huomattavasti nopeammin sopivasti kohonneissa lämpötiloissa. Kun kasvukausi alkaa aikaisemmin keväällä, mahdollistuu myös hyönteisten aikaisempi lisääntyminen. Mikäli kasvukausi myös venyy syksyn puolella, osa hyönteisistä ehtii lisääntyä kesällä useammin kuin kerran. Tämä luonnollisesti kasvattaa hyönteisten määrää maisemassa ja lisää sitä kautta puustotuhojen riskiä. Suomessa ja laajemminkin Euroopassa esimerkin tästä tarjoaa kuusimetsiemme vakavin hyönteistuholainen, kirjanpainaja kaarnakuoriainen (Hlásny ym. 2021, Melin ym. 2022).

Sienitaudeilla tilanne on osin samanlainen, mutta dynamiikka on monimutkaisempi. Kun kasvukausi venähtää alku- ja loppupäästään, sienillä on mahdollista tuottaa itiöitä normaalia pidempään ja tämä luonnollisesti pidentää tartuntariskiä. Samoin sienten rihmastot voivat jatkaa kasvuaan kauemmin lämpimässä ilmastossa, mikä lisää tuhojen määrää yhdessä kasvukaudessa. Yllä kuvattu dynamiikka hyödyttää muun muassa Suomen taloudellisesti vakavimpia sienitaudinaiheuttajia, juurikäpiä. Männyjuurikäävän on jo todettu levinneen aikaisemmin luultua pohjoisemmaksi (Kaitera ym. 2022).

Äärioloja, etenkin äärimmäistä kuivuutta, ei voi pitää tuhonaiheuttajille itselleenkin aina positiivisena asiana. Esimerkiksi versosurmaa aiheuttava surmakka-sieni tuottaa eniten itiöitä märkinä ja viileinä ajanjaksoina. Kuivuus ja lämpötilan nousu vähentävät sen kykyä tartuttaa isäntäkasveja. Kuivuuden tiedetään kuitenkin heikentävän puita niin merkittävästi, että aiemmin harmittomat seuralaiset voivat muuttua normaalia voimakkaammiksi uhkiksi puille. Samalla jo aiemmin vakavat tuhonaiheuttajat voivat lisätä puuston kuolleisuutta entisestään (Melin & Terhonen 2023, Senf ym. 2020). Hyvä esimerkki on havuparikas-sieni, joka muuttuu oireettomasta seuralaisesta tuhonaiheuttajaksi kuivuuden takia (Blumenstein ym. 2022). Sienen aiheuttamat tuhot ilmestyivät Suomeen vasta vuonna 2021 (Terhonen 2023). Sen on huomattu hyödyttävän aikaisemmin melko harmittomaksi ajateltua okakaarnakuoriaista. Yhdessä nämä tuholaiset ovat aiheuttaneet erittäin runsaita puustokuolemia rannikon

kuivuudesta kärsiville männyille (Ylioja ym. 2022). Vaikka puut kuolevatkin havuparikas-oka-kaarnakuoriainen yhteishyökkäykseen, voimakas ja puita stressaava kuivuus on tuhon mahdollistava alkutekijä.

Myös kuusien kimppuun käyvän pienen kaarnakuoriaisen, kuusentähkirjaajan, aiheuttamia tuhoja havaittiin runsaasti kuivan kesän 2021 jälkeen (Aarnio ym. 2021). Tämä laji voi olla primäärinen tuhonaiheuttaja, mutta vuoden 2021 kuivuus oli pääsyy lisääntyneille tuohavainnoille. Pihkapuolustus on puiden tärkein tapa torjua kaarnan läpi porautuvia kaarnakuoriaisia, ja pitkien kuivuusjaksojen aikana tämä puolustus alkaa kärsiä (Netherer ym. 2015). Myös juurikäävät hyötyvät puiden lisääntyneestä kuivuusstressistä, mikä lisää niiden aiheuttaman kuolleeseen solukon määrää puissa (Terhonen ym. 2019). Ennustettu kuivuus- ja hellejaksojen lisääntyminen tulee todennäköisesti lisäämään metsien puustotuhoja vähentämällä puiden puolustuskykyä tuhonaiheuttajia vastaan.

Elottomien tuhonaiheuttajien riski kasvaa

Metsiemme kannalta ajankohtaisimmat tuhot ovat metsäpalot, lumi, tuuli ja kuivuus. Metsäpalojen riski kasvaa lämpötilojen kasvun myötä etenkin, jos se johtaa kuivuuteen. Vaikka metsäpalon syttymisen syynä on edelleen useimmiten ihmisen toiminta, on palon alkaminen ja leviäminen todennäköisempää lisääntyvien kuivuusjaksojen myötä. Lukuisissa maissa (mm. Kanada, Espanja, Australia, Venäjä) on todistettu erittäin laajoja metsäpaloja erityisesti 2020-luvulla, mutta Suomessa ei ole viitteitä metsäpalojen määrien tai voimakkuuden kasvamisesta. Suomessa säännölliset valvontalennot ja tiheä metsäautotieverkosto mahdollistavat palojen havaitsemisen ja sammuttamisen. Siitä huolimatta metsäpalojen riski tulee meilläkin kasvamaan merkittävästi, kun kuivuus- ja hellejaksot käyvät ilmastonmuutoksen seurauksena todennäköisemmiksi (Asikainen ym. 2020).

Pinta-alalla mitattuna maamme yleisin tuhonaiheuttaja on lumi, ja sen suhteen tulevaisuuden ennustaminen on vaikeampaa. Avainmuuttuja on talvien lämpeneminen, jonka ennustetaan edelleen jatkuvan. Etelä-Suomessa tämä tarkoittaa lumen määrän ja lumisen ajan pituuden vähenemistä, joilla on keskimäärin lumituhoriskiä vähentävä vaikutus. Riski ei kuitenkaan kokonaan poistu, sillä vakavia lumituhoja voi sattua myös yksittäisten ja lyhytkestoisten lumimyrskyjen aikaan, mikäli sääolot ovat otolliset lumen kertymiseen puiden latvuksiin. Pohjoisemman Suomen osalta talvien lämpeneminen voi taas tarkoittaa lisääntyvää sadantaa, mikä voi kasvattaa lumituhojen riskiä. Lumituhojen syntymiseen vaikuttaa eniten paikallinen topografia, kuten korkeus merenpinnasta, rinteet ja vaarat, joten ilmastonmuutoksen suhdetta lumituhoihin on hankalaa ennustaa.

Myrskyjen osalta ilmastonmuutoksen vaikutukset metsiin ovat osittain epäsuoria. Vaikka suurten myrskyjen ei ole ennustettu tulevan aiempaa merkittävästi yleisemmäksi, talvien lämpeneminen ja roudattoman ajan pidentyminen lisäävät puiden kaatumisriskiä. Roudattomassa maassa puun juuret eivät ole ankkuroituneet samalla tavalla syystalven myrskyjä tai lumikuoromia vastaan, joten puu kaatuu helpommin. Syystalvella kaatunut puu on taas kevään tullen hyvä lisääntymisalusta kirjanpainajille, jotka näin voivat hyötyä epäsuorasti myös lämpenevistä talvista. Tämä dynamiikka koskee puulajeistamme eniten pintajuurista kuusta, joka on myrskyissä herkin kaatumaan. Kaatuneiden kuusten rungoista hyötyvät vakavimmat hyönteis-tuholaiset, kirjanpainajat (Venäläinen ym. 2020).

Tulokas- ja vieraslajit hyötyvät lämpenemisestä

Lämpenevä ilmasto tulee myös kasvattamaan todennäköisyyttä uusien tulokas- ja vieraslajien leviämiseen ja asettumiseen. Vieraslajit leviävät etenkin kansainvälisen kaupan myötä, eivät suoraan muuttuvan ilmaston takia. Ilmaston lämpeneminen voi tehdä Suomesta aiempaa sopivamman ympäristön lajeille, jotka eivät kylmyyden vuoksi aiemmin pystyneet täällä vakiintumaan. Vieraslajikysymystä Suomen metsien kannalta on käsitelty kattavasti Koivulan ym. (2022) raportissa.

Tulokaslajien kohdalla ilmastonmuutos liittyy suoraan siihen, kuinka pohjoiseen esimerkiksi tietty hyönteinen voi levitä tai kuinka tehokkaasti se voi lisääntyä. Oppikirjaesimerkki tästä dynamiikasta on havununna. Tämä yöperhonen on Keski- ja Itä-Euroopassa vakava tuholainen, koska sen toukat aiheuttavat voimakasta neulassyöntiä. Suomessa laji on runsastunut ja levinnyt pohjoiseen etenkin 2000-luvulla. Havununnan ekologiaa määrittävät lämpötilatekijät ovat vielä osin tutkimuksen alla. On kuitenkin selvää, että sen kuolleisuutta rajoittavista talvista (äärilämpötila -29 °C) on tullut Etelä-Suomessa jo niin harvinaisia, että talvikuolleisuus on käytännössä poistunut lajia rajoittavien tekijöiden listalta. Havununna ei ole vielä maassamme tuholainen, mutta se on oiva esimerkki dynamiikasta, jolla ilmastonmuutos tulokaslajien leviämiseen vaikuttaa (Fält-Nardmann 2018, Melin ym. 2020). Baltian maissa yleinen havununnan sukulaislaji lehtinunna lienee yksi seuraavista tulokaslajeistamme, ja sillä on havununnan ohella potentiaalia äityä tuhonaiheuttajaksi (Lehti 2021).

2.3. Vaikutuksia metsätalouteen

Ilmastonmuutoksen puihin kohdistuvat vaikutukset näkyvät metsäteollisuudessa mm. raaka-aineen saatavuutena sekä uudistamiseen, puun korjuuseen ja varastointiin liittyvinä kysymyksinä. Suomessa ei toistaiseksi ole nähty massiivisia, puutavaran saatavuuteen merkittävästi vaikuttaneita metsätuhoja (Korhonen ym. 2021, Terhonen & Melin 2023), mutta niiden todennäköisyys tulee kasvamaan. Tämä koskee erityisesti Etelä-Suomessa sekä juurikäpää että kirjanpainajaa, jotka aiheuttavat tuhoja kuusimetsissä. Keski-Euroopan laaja-alaisissa kirjanpainajatuhoissa on syntynyt merkittävää haittaa metsäteollisuuden puuraaka-aineen hankinnalle (Hlásny ym. 2021). Suomessa tähänastiset tuhot ovat aiheuttaneet merkittävää haittaa lähinnä yksittäisen metsänomistajan taloudelle.

Puun korjuu ja varastointi hankaloituu

Koneellinen puunkorjuu ja operointi metsässä vaikeutuvat muuttuvassa ilmastossa. Routa-aika ja lumipeitteinen aika ovat lyhentyneet etenkin Etelä-Suomessa. Tämä vaikeuttaa puunkorjuuta kohteilta, jotka soveltuvat vain talviseen aikaan tapahtuvaan puunkorjuuseen. Näillä kohteilla maaperä on niin pehmeää ja upottavaa, että koneelliseen korjuuseen tarvitaan havutuksen ohella routaa ja suojaavaa lumipeitettä (Ala-Illomäki ym. 2011). Vaikutusten mittakaava on merkittävä, sillä puunkorjuusta noin 60 % ajoittuu talvikuukausille (Luke 2014).

Talvien leudontuminen lisää puustotuhojen riskiä, sillä ilman routaa ja lunta tapahtuvan korjuun aikaan puut altistuvat juuri- ja korjuuvaurioille, jotka puolestaan toimivat leviämisalustoina ilmateitse leviävillä sienitautien itiöille. Myös kuumien ja kuivien kesien myötä lisääntyvä metsäpaloriski liittyy koneelliseen puunkorjuuseen ja metsänuudistusalojen maanmuokkaukseen. Monet Suomen metsäpaloista ovat ihmisen aiheuttamia, ja niiden taustalla ovat muun muassa metsäkoneen telojen aiheuttamat kipinät (Lindberg & Vanha-Majamaa 2022, Sjöström ym. 2019).

Puunkorjuun lisäksi myös kuljetuslogistiikka joutuu koetukselle roudanpuutteen ja vaihtelevien sääolojen takia, koska ne pidentävät syksyn ja kevään kelirikkokautta ja liukastavat tienpinnat talvisaikaan. Valtaosa maamme puutavarasta liikkuu metsästä käyttöpaikoille alempaa tieverkkoa pitkin. Näiden metsä- ja paikallisteiden kulkukelpoisuus heikkenee merkittävästi, mikäli tietä suojaavaa ja kantavuutta parantaa routaa ei ole riittävästi (Lehtonen ym. 2019).

Logistiikan ja operoinnin lisäksi myös puutavaran tienvarsivarastointi kohtaa haasteita muuttuvassa ilmastossa. Tienvarsivarastolla kuljetusta tehtaalle odottavat puutavarapinot toimivat kesäaikaan tuhohyönteisten, kuten kirjanpainajan, lisääntymisalustana. Näiden puutavarapinojen poiskuljetusta säädellään siksi lailla (Laki metsätuhojen torjunnasta 1087/2013, §2). Lailla pyritään takaamaan se, että puutavarapinot kuljetetaan metsävarastoilta pois ennen kuin niiden kuoren alla kehittyvät tuhohyönteiset leviävät ympärysmetsiin. Muuttuvan ilmaston takia tätä lakia joudutaan tarkastelemaan ja päivittämään jatkuvasti, jotta se olisi suhteessa vallitseviin olosuhteisiin. Edellinen muutos astui voimaan 1.1.2022. Siinä aikaistettiin mm. kuusipuutavaran kuljettamisen takarajaa, koska lämpösummat olivat kohonneet siinä määrin, että kirjanpainajan tiedettiin kehittyvän ja poistuvan puutavarapinoista jo ennen kuin laki edellytti pinojen poistamista (Ylioja ym. 2021). Tämänkaltaisia tarkasteluja joudutaan vääjäämättä tekemään säännöllisin väliajoin jatkossakin.

Metsäpuiden taimi- ja siementuotantoa haastetaan

Ilmastonmuutoksen myötä myös taimitarhoilla kasvatuskaudet pitenevät, kasvatettavien puulajien määrä voi lisääntyä ja olemassa olevia kasvatusmenetelmiä voidaan joutua säätämään. Lämpenevät syksyt lisäävät torjunnan tarvetta hankalia metsätaimituotantoa vaikeuttavia sienitautteja (surmakka, harmaahome) vastaan. Kuivuus aiheuttaa kastelutarvetta, mutta mahdolliset sään ääri-ilmiöiden tuomat voimakkaat sadejaksot luovat taas optimaalisia oloja useille taudinaiheuttajille (Poteri & Lilja 2013). Lisäksi taimituotantoa hankaloittavat uudet taudit kuten yllä mainittu havuparikas (Larsson ym. 2021). Havuparikkaan aiheuttama etelänverso-surma-tauti voi ilmentyä vasta istutuksen jälkeen. Ongelmallista on taudin piilevyys. Sitä ei tunnisteta eikä siksi välttämättä ymmärretä torjua. Suurin taimituotantoa uhkaavista tekijöistä on kuitenkin tavoite turpeen korvaamisesta kasvualustana, joka ei ole muuttuvan ilmaston suora vaikutus vaan kasvihuonekaasujen päästöjen vähennystarve. Toistaiseksi ei ole tarjolla mitään kotimaista taimituotantoon soveltuvaa vaihtoehtoa kasvuturvetta korvaamaan.

Taimituotantoon tarvitaan laadukkaita siemeniä. Siemensadot määräytyvät osin ympäristöolosuhteiden mukaan (esim. Pukkala ym. 2010). Stressi, kuten kuivuus, voi herkistää puita kukkimaan, mutta liiallinen kuivuus voi puolestaan estää siementen kehityksen tai heikentää siementuotantoa pysyvämmiin (Crain & Cregg 2018). Todennäköisesti lämpenevä ilmasto vaikuttaa puiden siemensatojen määrään, laatuun ja toistuvuuteen. Muuttuvat olosuhteet on siis huomioitava siemenviljelytoiminnassa, ja ne saattavat esimerkiksi lisätä kastelujärjestelmien tarvetta. Puiden siementuotantoa vähentävät tuhoaiheuttajat voivat runsastua, jos puut kukkivat aiempaa useampana vuonna peräkkäin. Siemenviljelysten puut eivät ole myöskään suojaassa tässä kirjoituksessa aiemmin mainituilta hyönteis- tai sienitautiriskeiltä.

Varautumista tulevaan

Metsien kiertoaika on pitkä, ja siihen nähden jo tapahtunut ilmaston lämpeneminen on ollut nopeaa. Koska lämpeneminen tulee todennäköisesti jatkumaan usean vuosikymmenen ajan, varautumisessa korostuvat paitsi metsiä nyt kohtaavat ongelmat, myös uudistettavia metsiä tulevaisuudessa kohtaavat ongelmat. Varautumisessa oleellista on vanhojen tai muualla tehtyjen virheiden välttäminen sekä nykykäytäntöjen tarkastelu suhteessa siihen, mitä tulevasta muutoksesta tiedetään. Selkeimmät haasteet tulevat liittymään muun muassa metsien kasvaan puustotuhoriskeihin sekä puunkorjuuseen ja alkutuotantoon.

Tuhojen ja tautien kannalta tilanne metsissämme on tällä hetkellä hyvä verrattuna valtaosaan EU-maita. Ilmastonmuutoksen kannalta oleellisempia ovat korkean tuhoriskin alueet, erityisesti liian kuivalle tai karulle kasvupaikalle istutetut kuusimetsät. Näillä kohteilla kuusi on altis kuivuusstressille ja siitä seuraavalle tuhoriskille (mm. kirjanpainaaja). Tällaisten kohteiden luominen ei ole ilmastonmuutoksen kannalta suotavaa. Luontaisesti näillä alueilla mänty olisi optimaalisempi puulaji. Tšekissä on tehty uudistuksia metsien suosituksiin ja käyttörajoituksiin juuri kuusen tuholaisriskien takia. Ohjeilla pyritään estämään uuden, riskialttiin metsämaisen syntyminen, koska sillä ei voi olettaa tässä tuhotilanteessa olevan mahdollisuuksia kehittyä terveeksi metsäksi (Hlasny ym. 2021).

Meillä siis korostuu tulevaisuudessa aiempaakin kovemmin nyrkkisääntö ”oikea puu oikealle kasvupaikalle”. Lisäksi sekametsien viljely on perusteltua nähdä varautumistoimena, etenkin tuhoriskin näkökulmasta. Maassamme on merkittävä sekametsäpotentiaali (Lee ym. 2023), ja viimeaikaiset tutkimukset ovat tuoneet käyttöön myös hyviä työkaluja ja oppaita sekametsän kasvattamiseen (Huuskonen ym. 2021). Sekametsällä on [lukuisia hyötyjä](#). Sekametsä parantaa metsien monimuotoisuutta ja terveyttä sekä hajauttaa tuhojen ja tautien riskejä, sillä esimerkiksi kirjanpainaaja aiheuttaa tuhoja vain yhdelle puulajille. Lisäksi sekametsien on todettu olevan vähemmän houkuttelevia kohteita tietyille tuholaisille kuin yhden puulajin metsiköt. Kuusenkin selviytyminen tuhoista ja kuivuudesta on todennäköisempää sekametsässä kuin yhden puulajin istutusmetsikkönä (Hlasny ym. 2021, Nakladál & Brinkeová 2015, Neuner ym. 2015, Griess ym. 2012).

Metsien tulee vastata moniin eri tavoitteisiin, kuten raaka-aineen tuotantoon, hiilensidontaan, monimuotoisuuden turvaamiseen ja ilmastonmuutokseen sopeutumiseen (Routa & Huuskonen 2022). Metsien monimuotoisuuden parantaminen on tärkeä osa ilmastonmuutokseen sopeutumista, sillä metsäekosysteemien terveydellä ja monimuotoisuudella on selkeä suhde. Toimet, jotka parantavat ja ottavat paremmin huomioon metsäluonnon monimuotoisuuden ovat osa varautumista, sillä metsäekosysteemi, joka on yksipuolinen ja monimuotoisuudeltaan heikko, on tuhoriskiltään myös korkeampi (Thompson ym. 2009, Paul ym. 2019). Peitteistä metsänkäsittelyä tulee lisätä erityisesti suometsissä. Suometsien maaperä on turvetta, joka hajoaa hitaasti ja tuottaa kasvihuonekaasuja. Peitteisellä metsänkäsittelyllä voidaan säädellä vesitaloutta ja vähentää ojitettujen suometsien päästöjä. Kun suometsät pidetään puustoisina, voidaan huolehtia sopivasta kuivatuksesta. Puustoisuuden avulla voidaan myös välttää päästöjä lisäävää ojien kaivamista ja kunnostusojituksia, mikä puolestaan parantaa vesien laatua ja edistää hiilensidontaa (Penttilä ym. 2023, Saksa 2020).

Metsien käsittelyn osalta voidaan olettaa korjuuolosuhteiden yhä vaikeutuvan. Tulevaisuudessa on vähemmän roudan ja lumen peittämää maata, jolloin puunkorjuu ja logistiikka joutuvat toimimaan yhä haastavimmissa olosuhteissa huonomman kantavuuden mailla ja lyhyemmällä aikaikkunalla (Kokkila ym. 2013). Kesäisin helteillä vaaditaan tarkempaa toimintaa, koska metsäpaloaaran aikaan koneiden telat ovat metsäpaloariski. Tämä kaikki tulee haastamaan puunkorjuuketjujen toimintaa ja vaatii parempaa suunnittelua kuten kelirikko-kohteiden

tunnistamista, logistiikan tarkkaa ajoittamista, kulkukelpoisuuden mallintamista maastokoh-teille ja metsäautoteille sekä maaperän kantavuuden ennakkointia (Schönauer ym. 2022).

Taimitarhoilla joudutaan panostamaan tuholaiistorjunnan kehittämiseen sekä tuholaiten tun-nistamiseen, sillä aikaisempien tuhonaiheuttajien lisäksi tulokas- ja vieraslajien leviäminen on jo tuonut meille uusia haasteita (Terhonen 2023, Poimala & Terhonen 2023). Tämän lisäksi kuivuuden aiheuttama kastelutarve on lisääntyvä riski, johon varautuminen on perusteltua ja tarpeellista.

Tutkimus tulee nähdä oleellisena varautumiskeinona, mistä syystä tutkimustoiminnan resurs-sointiin tulee kiinnittää huomiota. Tutkimuksen avulla voidaan esimerkiksi mallintaa maape-rän kulkukelpoisuutta sekä tuottaa tietoa metsien hiilikompensaatiosta ja uusista tuhonai-heuttajista. Esimerkiksi tässäkin raportissa mainittu sienitaudin aiheuttaja, havuparikas, on muualla aiheuttanut vakavia tuhoja niin taimitarhoilla kuin varttuneissa metsissä. Suomessa tuhoja nähtiin varttuneissa metsissä yhden jo kuivan kesän, vuoden 2021, jälkeen. Tulevaisuu-nessa tuhoriskit kasvavat siis tavoilla, joita emme vielä osaa ennakoida.

Myös nykyisten metsien käyttöä ohjaavien ja säädösten ajantasaisuutta (mm. neuvonta, met-sänhoitosuositukset, metsälaki, kasvinsuojelukäytännöt) tulee tarkastella muuttunut toimin-taympäristö huomioiden. Esimerkiksi juurikäpää tulee todennäköisesti leviämään aiempaa pohjoisemmaksi. Tämä lisää torjunnantarvetta alueilla, joilla sitä ei vielä ole ja joille sen leviä-minen tulee estää. Samoin uudet taudit taimitarhoilla voivat vaatia uusia torjuntakeinoja, joita emme vielä tunnista. Tutkimuskentän osalta uusien riskien tunnistaminen ajoissa, eli enna-kointi, on oleellinen osa varautumistyötä. Näin voimme paremmin välttää tulevaisuudessakin esimerkiksi suurtuhoja, joita Keski- ja Itä-Euroopassa on nähty.

Tietolaatikko: ilmastonmuutos ja metsät

- Kasvukausien piteneminen ja lämpeneminen lisää metsien kasvua ja mahdollis-taa jalojen lehtipuiden leviämisen aiempaa pohjoisemmaksi.
- Puiden tuhohyönteiset ja sienitaudit ovat myös levinneet aiempaa pohjoisem-maksi ja runsastuneet etelässä. Tämä on kasvattanut puustotuhojen riskiä mer-kittävästi.
- Lämpenevät ja roudattomat talvet kasvattavat riskiä myrskytuhoille, kuivat ja kuumat kesät lisäävät metsäpalojen riskiä ja altistavat puita hyönteis- ja sienitu-hoille.
- Roudaton ja lumeton aika haittaa merkittävästi puunkorjuuta muun muassa suometsistä.
- Puutavaran varastointi kohtaa haasteita nopeammin kehittyvien tuhohyönteisten takia ja tätä sääteleviä lakipykälää joudutaan päivittämään.
- Monimuotoinen metsien käsittely edistää riskeihin varautumista.
- Kastelun tarve lisääntyy ja tautien hallinnan tarve korostuu taimitarhoilla.

3. Vaikutukset vesistöissä ja kalataloudessa

Jenni Prokkola, Susanna Airaksinen, Antti Kause, Harri Vehviläinen, Jukka Ruuhijärvi, Timo Ruokonen ja Meri Kallasvuo

Yleisesti ottaen vesistöjen keskilämpötilat ovat nousussa, mutta lämpeneminen ei ole suora seuraus ilman lämpenemistä. Vesistön lämpötilaan vaikuttavat myös vesistön koko, syvyys ja vedenlaatu (Rose ym. 2016). Itämerellä pintavesien lämpeneminen näkyy erityisesti supistuvassa jääpeitteen laajuudessa ja kestossa (Ahola ym. 2020). Joet ja matalat järvet lämpenevät tasaisemmin, mutta etenkin suurissa ja syvissä järvissä on kesäaikaisen vesien kerrostumisen takia tarjolla viileämpää vettä ainakin syvänteissä. Jääpeitteisen ajan lyhentyessä tai puuttuessa kokonaan muuttuu järvien sekoittumisdynamiikka. Perinteinen järvien kerrostumisaika lyhenee samalla kun syksyinen vesien sekoittumiskausi pitenee, ja vedet kylmenevät talviaikaan.

Voimakkaammat syys- ja talviaikaiset sateet lisäävät tulvariskiä ja lisääntyvä valunta yhdessä pidemmän sulan maan ajan kanssa lisäävät huuhtoutuvan kiintoaineen määrää, mikä heikentää mm. kalojen kutualueita. Turvepitoisilla valuma-alueilla huuhtoutuvan humuksen määrä lisääntyy, mikä aiheuttaa vesistöjen tummumista.

Yllä kuvatut muutokset vaikuttavat etenkin kalojen elinympäristöihin. Sään ääri-ilmiöt voivat vaikuttaa myös suoraan tai epäsuorasti kalayksilöihin, kalojen käyttäytymiseen ja lopulta kalakantoihin. Näitä vaikutuksia on kuvattu seuraavissa kappaleissa.

3.1. Vaikutukset kalojen kasvuun ja lisääntymiseen

Kalat ovat vaihtolämpöisiä, minkä vuoksi lämpötila on määräävä tekijä niiden kehityksen, kasvun ja elintoimintojen säätelyssä. Nousu ympäristön lämpötilassa kiihdyttää kalan aineenvaihduntaa ja tietyllä lämpötila-alueella kalan kasvupotentiaalia. Vaikutukset koskevat hengitystä ja verenkiertoa, suolatasapainoa, energia-aineenvaihduntaa, ruoansulatusta ja immunologiaa (Islam ym. 2022). Maltillinen, yli sukupolvien jatkuva veden keskilämpötilan nousu aiheuttaa tyypillisesti uuden sukupolven yksilöiden pienenemistä aiempiin sukupolviin verrattuna, koska nopeampi kasvu aikaistaa sukukypsyyden saavuttamista, mikä puolestaan hidastaa pituuskasvua (Ward ym. 2017). Lisäksi lämpeneminen voi lisätä suurten yksilöiden kuolleisuutta enemmän kuin pienten, sillä korkea lämpötila on suurempi haaste niiden hapenkuljetusjärjestelmälle (Rubalcaba ym. 2020) samalla, kun ne pitkäikäisinä ovat alttiimpia kalastuksen ja saalistuksen aiheuttamalle kuolleisuudelle.

Lämpenemisen epäsuorat vaikutukset kalakantoihin riippuvat ympäröivästä ekosysteemistä. Kasvun kiihtyminen on mahdollista ainoastaan, mikäli ravintoa on saatavilla riittävästi. Muussa tapauksessa lämpeneminen hidastaa kasvua. Nopea kasvu kesän aikana parantaa kalanpoikasten selviytymistä talvella, mutta toisaalta lisääntynyt ravinnontarve altistaa ne suuremmalle saalistuspaineelle. Myös ravinnon koko ja laatu vaikuttavat kasvuun, ja esimerkiksi eläinplankton-lajiston pientyminen heikentää sitä saalistavien kalalajien kasvua (Queiros ym. 2024). Tämä skenaario on todennäköinen myös lämpenevässä Itämeressä (Viitasalo & Bonsdorff, 2022).

Sään ääri-ilmiöt, etenkin hellejaksot, ovat riski sekä luonnon kalakannoille että kasvatettaville kaloille, etenkin vesistöissä, joissa viileämpää vettä ei ole tarjolla. Vesiviljelyssä kalat ovat pakotettuja kohtaamaan paikallisesti vaihtelevat olosuhteet, koska ne ovat tuotantoyksikkönsä sidottuna. Lämpötilan sietokyvyn ylärajalla yksilöiden hapenotto- ja hengityskyky ei riitä vastaamaan kaikkien elintoimintojen tarpeeseen, jolloin kalan elintoimintojen hormonaalinen ja hermostollinen säätely voi häiriintyä vakavin seurauksin. Nämä vaikutukset osuvat voimakkaimmin suurimpiin yksilöihin (Rubalcaba ym. 2020).

Vesien lämpötilannousun yhdistettynä muuhun ympäristöpaineeseen, kuten rehevöitymisen aiheuttamaan hapen vähytykseen, on havaittu jo nykytilanteessa aiheuttavan kalakuolemia niin luonnossa (Ruuhijärvi ym. 2020) kuin vesiviljelyssäkin. Muut ympäristöpaineet, kuten vesien tummuminen ja ravinnepäästöt, lisääntyvät ilmastonmuutoksen myötä, joten vaikutukset kertautuvat ja ovat hankalia ennustaa. Vesien tummuminen muuttaa vesien eliöyhteisöjen rakennetta ja vaikuttaa kalalajistoon heikentäen erityisesti visuaalisten saalistajien, kuten ahvenen elinoloja.

3.2. Vaikutukset luonnonkalakantoihin ja kalastukseen

Vaikutukset kalalajistoon vaihtelevat

Kalalajistomme voidaan karkeasti jakaa viileän ja lämpimän veden suosijoihin. Lajeilla on kasvulle ja muille elintoiminnoille sopivin lämpötila-alue, jota kylmemmässä vedessä ne eivät kasva pituutta ja jota lämpimämmässä niiden lisääntymiskierto, kasvu tai muut elintoiminnot alkavat häiriintyä. Karkeana jakolinjana voidaan pitää noin 20 °C lämpötilaa. Viileän veden lajien, kuten lohi- ja siikakalat, made ja hauki, elintoiminnot kärsivät etenkin sukukypsillä yksilöillä. Lämpimän veden kalat kuten ahven, kuha ja useimmat särkikalat puolestaan ovat aktiivisimmillaan ja kasvavat nopeimmin yli 20 °C lämpötiloissa. Itämeressä tavattavat merikalat, kuten silakka, kilohaili, turska ja kampelat ovat sopeutuneet viileään veteen. Kasvukaudet lämpenevät ja pitenevät ilmaston lämpenemisen myötä, mikä antaa periaatteessa lämpimän veden kaloille leviämismahdollisuuksia ja kilpailuetua (Lehtonen 1996). Sisävesillä on kuitenkin paljon leviämisesteitä, joita kaikki kalat eivät voi ohittaa, mikä voi tarkoittaa lajiston yksipuolistumista tulevaisuudessa.

Sään ääri-ilmiöt voivat myös muokata lajistoa lisääntymismenestyksen kautta, sillä lajien kutsu-aika vaihtelee. Helteisiin liittyvät kuivuusjaksot ja toisaalta talvinen kuivuus uhkaavat kutu- ja poikasalueita etenkin pienissä virtavesissä, jotka ovat tärkeitä mm. taimenen lisääntymiselle. Kausikuivien purojen osuuden on ennustettu Suomessakin nousevan. Myös suurissa joissa kuivuus voi pienentää kalojen elinympäristöä ja täten heikentää esimerkiksi lohen poikasten kasvua koskissa. Virtaaman alenemiseen liittyvä joen osittainen kuivuminen talvisin uhkaa myös lohen mätiä, joka tuhoutuu, jos se jää kuiville tai vaille veden virtausta. Leudon ja jäättömän talven keskelle sattuvat pakkaset voivat joissa aiheuttaa veden alijäähtymistä, joka näkyy hyyteen tai pohjajään eli supon muodostumisena. Myös nämä ovat vakavia uhkia lohikalajien mädille ja poikasille sekä suuremmille kaloille kasvatuslaitoksissa.

Ilmastonmuutos ja ääri-ilmiöt vaikuttavat luonnonkalakantoihin myös tekemällä ympäristöoloista ennakoimattomia sekä vuodenaikojen suhteen että eri ympäristöjen välillä, mikä vaikuttaa etenkin vaelluskaloihin (Kennedy & Crozier 2010). Vaelluksen aikaistuminen voi

heikentää yksilöiden selviytymistä merialueella, jos esimerkiksi keväinen veden lämpeneminen on joessa huomattavasti nopeampaa kuin meressä (Kennedy & Crozier 2010).

Vesien lämpeneminen lisää myös uusien vieraslajien leviämismahdollisuuksia (Rahel & Olden 2008) sekä parantaa jo Suomeen levinneiden vieraslajien elinoloja. Tämä mahdollistaa niiden leviämisen edelleen kohti pohjoista ja lisää niiden negatiivisia vaikutuksia muuhun vesiluontoon.

Kalatalous kohtaa muutoksen vaikutukset

Kalastuksen kohdelajien esiintymisalueet ja runsaussuhteet muuttuvat ilmaston lämmetessä. Esimerkiksi kuhalle suotuisat elinalueet laajenevat pohjoiseen niin sisävesillä kuin Itämerellä, ja ne kasvavat ravintoresurssien salliessa tulevaisuudessa nopeammin. Särkikalat valtaavat elintilaa vesistöjen rehevöityessä edelleen. Myös pyyntimuodot muuttuvat. Jääpeitteisyyden muutokset aiheuttavat vaikeuksia perinteiselle jäältä tapahtuvalle kaupalliselle ja vapaa-ajan talvikalastukselle. Jääpeitteinen aika on jo lyhentynyt eteläisessä Suomessa, ja olosuhteet ovat muuttuneet haastaviksi jäällä liikkujille. Toisaalta jääpeitteisen ajan lyheneminen voi myös hyödyttää kalastustoimintaa. Esimerkiksi kaupallinen troolikalastus merialueella pystyy pidentämään kalastusseasonkia jääpeitteisen ajan lyhentyessä (Setälä ym. 2017).

Pohjois-Suomen vaelluskalajoissa kesän lämpötilat ovat enenevässä määrin nousseet liian korkeiksi lohien nousulle ja pyynnin jälkeen vapautettaville kaloille. Vapaa-ajankalastajilta vaaditaan joustavuutta ja sopeutumiskykyä jo nykypäivänä ja tulevaisuudessa yhä enemmän. Toisaalta kalastuksen säätelyä hankaloittaa kalojen pieneneminen ja sukupolvien välin lyheneminen, mikä korostaa tiiviin seurannan merkitystä.

Sopeutuminen ja varautuminen

Tehokkain tapa edistää luonnon kalakantojen kykyä selviytyä ilmastohaasteista on tukea niiden luontaista lisääntymispotentiaalia sekä säädellä kalastusta kestäväälle tasolle. On kuitenkin epätodennäköistä, että pelkällä kalastussäätelyllä saavutetaan riittäviä tuloksia ilman muita samanaikaisia toimenpiteitä, kuten elinympäristökunnostuksia. Perinnöllisen monimuotoisuuden turvaaminen on oleellista lajien selviytymiselle, koska se mahdollistaa lajin sopeutumisen ympäristömuutoksiin.

Lisääntymisen ja poikasten kasvun turvaaminen on konkreettinen tapa edistää luonnonkantojen selviytymistä tulevista muutoksista. Esimerkiksi vaelluskalojen kohdalla tämä tarkoittaa etenkin erilaisten vaellusesteiden poistoa sekä valuma-alueiden ja poikasalueiden kunnostuksia (esimerkiksi ojia vähentämällä ja kosteikkoja lisäämällä). Tulevat ilmasto- ja sääolosuhteet on otettava huomioon elinympäristöjen ennallistamisessa. Toimia on suunnattava etenkin alueille, joilla onnistumismahdollisuudet ovat hyvät. Esimerkiksi lähteiset alueet ovat otollisia kohteita, koska veden lämpötilan nousu on niillä maltillisempaa ja virtaamat on taattu ympäri vuoden.

Lisääntyvään sateisuuteen liittyvällä valunnalla on haitallisia vaikutuksia. Rehevöitymisen ja ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat samansuuntaisia. Rehevöitymistä hillitsevät valuma-alueella tehtävät toimenpiteet edistävät myös ilmastonmuutoksen ja sään ääri-ilmiöiden pahentamia vaikutuksia. Valunnan vähentämisessä tulee kiinnittää erityistä huomiota valuma-alueiden kunnostamiseen, koska kunnostuksilla voidaan parantaa valuma-alueiden veden,

ravinteiden ja humuksen pidätyskykyä. Maankäytössä etenkin turvemaidella on otettava huomioon Itämeren rannikolla lisääntyvien lajien kutualueet.

Ennakoimattomat muutokset ja sään ääri-ilmiöihin liittyvät riskit voivat myös lisätä entistä tarkemman kalastuskauden aikaisen säätelyn tarvetta. Näitä muutoksia ja ääri-ilmiöitä voivat olla esimerkiksi ennakoitua pienemmät lohien kutukannat (kuten vuonna 2023) tai hellejaksot, joiden aikana vapaa-ajankalastusta tulisi välttää. Kalataloudellisessa sopeutumisessa ilmastonmuutokseen ja sään ääri-ilmiöihin tulisi ottaa huomioon myös lajien runsaussuhteiden muutokset, esimerkiksi runsaslukuiset kilohaili- ja särkikalakannat. Lisäksi on huomioitava uusien vieraslajien hyödyntäminen silloin, kun niiden määrät ovat sellaisia, että yhtäältä kannan hävittämiseen tähtäävät toimet ovat käytännössä mahdottomia toteuttaa, mutta toisaalta hyödyntäminen on sekä taloudellisesti kannattavaa että kantojen kasvua hillitsevää (esim. kyttyrälohi).

3.3. Vaikutukset ruokakalan tuotantoon

Vuonna 2022 Suomessa kasvatettiin ihmisravinnoksi 16,3 miljoonaa kiloa kalaa, josta 94 % oli kirjolohta, 5,2 % siikaa ja loput muita ruokakalalajeja (Vesiviljelytilasto 2022). Kasvatetusta ruokakalasta yli 90 % tuotettiin luonnonvesissä, ja tuotanto on siten suoraan alttiina vesiympäristössä tapahtuville muutoksille. Noin viidesosa tuotannosta tapahtuu sisämaan makean veden läpivirtaukseen perustuvilla maa- ja verkkoallaslaitoksilla, ja pääosa tulee merialueiden verkkoallaslaitoksilta. Lämpötilaltaan säädetyssä kiertovesiympäristössä on suojassa suorilta veden lämpötilaan liittyviltä vaikutuksilta vajaan 10 % tuotanto.

Suorat biologiset vaikutukset kasvatetun kalan tuotantoon

Kalan optimaalinen kasvu saavutetaan kullekin lajille ominaisella lämpötila alueella, jonka alaja yläpuolella kasvu heikkenee. Yleisesti kohonnut lämpötila ja sen seurauksena pidentyvä kasvukausi lisäävät potentiaalisesti kalan avovesikasvatuksen edellytyksiä Suomessa (Kankainen ym. 2020, Ahola ym. 2021). Toisaalta äärimmäiset, epäoptimaaliset kasvatusolosuhteet voivat yleistyä (Frölicher ym. 2018). Ruokintaa joudutaan lämpöaaltojen aikana rajoittamaan, kalojen kasvukausi kesäkaudella lyhenee. Kirjoloheen sydän reagoi nopeasti kohonneeseen lämpötilaan turvatakseen elintoiminnot. Kalat kärsivät liian korkean lämpötilan seurauksena mm. sydämen toimintahäiriöistä (Gilbert ym. 2019).

Lyhytaikaisista lämpöjaksoista kala voi toipua, mutta tilanteen jatkuessa kala kuolee rytmihäiriöiden kautta sydämen toiminnan romahtamiseen. Äärevissä oloissa myös kalan herkkyyks muille hyvinvointia altistaville tekijöille lisääntyy ja vastustuskyky heikkenee (Gamperl ym. 2021). Heikentyneen vastustuskyvyn ja lämpöä suosivien taudinaiheuttajien lisääntymisen seurauksena kuolleisuus voi nousta.

Sisämaan poikastuotannossa korkeilla lämpötiloilla voi olla dramaattiset vaikutukset, mikäli syvänteiden viileää vettä ei ole mahdollista käyttää. Tuotantoketjun resilienssi voi heiketä, mikäli sisämaassa ääriämpötilat aiheuttavat tappioita emokalastoissa, tällöin koko merikasvatuksen poikasten saanti vaarantuu. Ensimmäisen merikesän matalissa ja suojaisissa paikoissa tapahtuva poikaskasvatus voi myös osoittautua riskialttiiksi.

Epäsuorat biologiset vaikutukset

Jääpeitteisen ajan lyhentyminen ja jääpeitteisen alan supistuminen parantanees esimerkiksi vesistöjen happitilannetta talvisin, jos pahentunut rehevöitymiskehitys saadaan kuriin. Toisaalta tiettyjen merikasvatuksessa haittaa aiheuttavien eläinten, kuten harmaahaikaran, aiheuttamat vahingot voivat kalankasvatuksessa lisääntyä, kun ne levittäytyvät merijään supistuessa entistä laajemmille alueille. Lauhojen talvisäiden pidentyminen ja tuulisuus voi myös kasvattaa riskiä veden alijäähtymiselle. Alijäähtynyt vesi muodostaa jääkiteitä osuessaan kiinteään kohteeseen, kuten kalanviljelyaltaaseen. Jääkiteiden muodostuminen kalojen kiduksiin saattaa aiheuttaa nopeasti kalakuolemia.

Äärimmäiset lämpötilat voivat vaikuttaa myös kasvatetun kalan laatuun ja siten sen markkina-arvoon. Lohella on raportoitu lihan värivirheitä pitkittyneiden lämpöjaksojen seurauksena (Wade ym. 2019). Myös korkeasta lämpötilasta johtuva kalojen varhainen sukukypsyminen voi heikentää perättävän kalan elintarvikelaatua.

Teknologiset vaikutukset

Jääpeitteisen alan supistuminen voi parantaa kalantuotannon tehokkuutta avovesissä, jos laitteistoja ei tarvitse siirtää erikseen jäältä suojaan (Kankainen ym. 2020). Jääpeitteen heikkeneminen vähentää etenkin jään aiheuttamaa fyysistä kuormitusta rakenteille. Toisaalta myrskyjen lisääntyminen ja aallokot edellyttävät rakenteilta erityistä kestävyyttä. Lisäksi äärisäät vaikeuttavat merellä sijaitsevilla laitoksilla pääsyä ja niillä toimimista, mikä vaikeuttaa kalojen ruokintaa ja hoitoa.

Kiertovesikasvatuksessa kesän huippulämpötilat voivat olla ongelmallisia (Kankainen ym. 2023). Vaikka veden lämpötilaa kyetäänkin säätelemään, haasteena lämpimään aikaan on se, että vesi lämpenee järjestelmässä itsestään vielä muutaman °C asteen. Viileän veden lajeja (kts. yllä) kasvatettaessa kiertovesilaitoksissa viilennykseen käytetään jo nyt enemmän energiaa kuin lämmitykseen. Laitoksien tulovesien lämpötilojen noustessa tämä aiheuttaa sekä tuotantokustannusten nousua että investointipainetta, mikäli nykyisten järjestelmien mitoitus ei ole riittävä kiertovesikasvatukseen. Monimutkaiseen tekniikkaan perustuvat järjestelmät ovat myös alttiita sähkönjakelun häiriöille.

Sopeutuminen ja varautuminen

Kun olosuhteet muuttuvat haasteellisemmiksi, ympäristöolosuhteiden monitorointi ja tuotannon tarkempi sijainninhjaus on tarpeen. Lisääntyvät talvisateet kasvattavat Itämeren ravinnekuormaa. Sään ääri-ilmiöistä seuraavat vedenlaatumuutokset voivat olla este avovedessä tapahtuvalle vesiviljelylle, jos uusia ympäristölupia ei myönnetä. Jotta kotimaisen kalantuotannon toimintaedellytykset säilyvät, on tärkeää jatkaa kuormituksen vähentämiseen tähtääviä toimia ja tuoda esiin kuormituslähteiden kokonaisvaltaisen tarkastelun tarpeellisuutta.

Muuttuvat olosuhteet kannustavat kasvatettavien lajien monipuolistamiseen (Harvey ym. 2016, Metian ym. 2020). Suomessa voitaisiin tuoda tuotantoon uusia, paremmin lämpöä kestäviä lajeja, kuten ahven ja kuha (Koskela ym. 1998). Uusien lajien kaupallinen kasvatust on osoittautunut kuitenkin sekä teknisesti että taloudellisesti haastavaksi. Tarvitaan laajaa ymmärrystä kasvatettavista lajeista, markkinoista sekä viljelytekniikoista.

Kasvatuksen tekniset ratkaisut voivat auttaa ilmastonmuutokseen sopeutumisessa. Kiertovesikasvatuksessa kalat kasvatetaan suljetussa tuotantoympäristössä maalla, jolloin ilmastonmuutoksen vaikutuksia voidaan pitkälti välttää. Teknologia on kuitenkin kallista ja käyttökustannukset korkeita, joten kehitysaskelita tarvitaan vielä kiertovesikasvatuksen kannattavuuden, energiatehokkuuden ja kasvihuonekaasupäästöjen hallinnan parantamiseksi (Ahmed & Turchini 2021). Merikasvatuksessa erilaiset upotettavat ja puolisoljetut allasratkaisut sekä ruokintalautat saattavat tuoda lisää äärisäiden vaikutusten hallintamahdollisuuksia. Näiden ratkaisujen haasteena on Suomessa tuotantoyksikkökoko. Toistaiseksi se on hieman liian pieni, jotta taloudellisesti järkevät uuden tyyppiset allas- ja ruokintaratkaisut olisivat mahdollisia.

Kalan kunnon ja vastustuskyvyn parantamiseen tähtäävät toimet edesauttavat kalan selviytymistä korkeissa, ei-optimaalisissa lämpötiloissa. Kalan lämmönsietoa ja kestävyttä vaihtelevissa olosuhteissa voidaan mahdollisesti parantaa kasvatuskäytäntöjä muokkaamalla. Aerobista kykyä voidaan vahvistaa muun muassa kalan fyysistä aktiivisuutta sopeuttamalla (Pettinau ym. 2022). Myös ruokintatapaa ja rehun ravitsemuslaatua voidaan optimoida niin, että kalan kestävyys paranee (Li ym. 2022). Liian monotoniset kasvatusympäristöt voivat heikentää kalan kykyä vastata muuttuviin ympäristötekijöihin (Morgan ym. 2022). Lämpenemisen myötä rokotteiden ja lääkeaineiden kehittäminen uusia taudinaiheuttajia vastaan sekä lääkkeiden saatavuus, että myös tautien ennaltaehkäisyyn tähtäävän tutkimuksen jatkaminen ovat tärkeitä.

Vesiviljelyn sopeuttaminen ilmastonmuutokseen eläinjalostuksella

Valintajalostus sopeuttaa kaloja muuttuviin ympäristöoloihin kuten luonnonvalinta, mutta nopeammassa tahdissa. Kalojen valintaohjelmien yleistymisen yhä useammalle lajille olisi yksi tapa sopeuttaa globaalia vesiviljelyä ilmastonmuutokseen (Sae-Lim ym. 2017). Kalojen kasvussa on perinnöllistä vaihtelua, joka mahdollistaa kalojen sopeutumisen nouseviin vedenlämpötiloihin (Janhunen ym. 2016, Sae-Lim ym. 2016). Parhaiten menestyneiden kalojen valinta emokaloiksi sopeuttaa kalakantaa vähitellen vallitsevaan korkeampaan lämpötilaan. Keskilämpötilan nousunvaikutus kasvuun ei luultavasti olekaan vaikein valintajalostuksella ratkaistava ilmastonmuutoksen vaikutus.

Ääriämpötilat esiintyvät epäsäännöllisesti ja epäennustettavasti. Korkeissa lämpötiloissa kalojen ruokahalu heikkenee ja hapestasta voi tulla pulaa. Näihin kalojen ominaisuuksiin vaikuttaminen vaatisi spesifisesti uusien ominaisuuksien mittaamista, ja tätä ei tällä hetkellä valintaohjelmissa tehdä (Sae-Lim ym. 2013). Yksi mitattava kalojen ominaisuus on lämpötila, jossa kala menettää tasapainonsa (CT_{Max} tai IT_{Max}), ja tässä ominaisuudessa on havaittu perinnöllistä vaihtelua mm. lohella, joten lämpötoleranssin muuttaminen valintajalostuksella on mahdollista (Anttila ym. 2013, Gonen ym. 2024).

Suorien lämpötilavaikutuksien lisäksi ilmastonmuutoksella on epäsuoria vaikutuksia vesiviljelyyn varsinkin tautien kautta. Yksi näistä on 20 vuoden aikana yleistynyt *Flavobacterium columnare* bakteeri, joka aiheuttaa kolumnaaritautia lämpimän veden aikaan varsinkin kirjolohella. Lämpimät kesät ovat myötävaikuttaneet tähän, koska bakteeri viihtyy parhaiten veden lämpötilan ylittäessä 15 °C (mieluummin 20–25 °C, Karvonen ym. 2010). Vastaava lämpötilaprofiili on myös *Yersinia ruckeri*lla, jolle optimilämpötila on 22–25 °C. *Yersinia* on havaittu Suomen sisävesillä viime vuosina.

Pikkupoikassyndroomaa ja kylmänvedentautia kirjolohella aiheuttava *Flavobacterium psychrophilum* sekä vesihometta aiheuttava *Saprolegnia*-leväsieni viihtyvät viileimmissä vesisissä ja aiheuttavat huomattavia tappioita kalankasvatuksessa Pohjoismaissa. Vesihometta esiintyy varsinkin siialla sekä taimenella, järvilohella ja nieriällä. Pidentyneiden syksyjen ja kevään on ehdotettu olevan osasyys vesihomeen yleistymiseen. Pidentyneet syksyt pidentävät aikaikkunaa, jossa veden lämpötila on otollinen vesihometartunnoille (Janhunen ym. 2019). Näin ilmastonmuutos voi osaltaan lisätä taudin esiintymistä. Myös *Flavobacterium psychrophilum* aiheuttamat taudit ovat tyypillisesti pahimmillaan 10 °C tietämillä. Marandi ym. (2022) on arvellut taudin hyötyvän vesihomeen tavoin ilmaston muutoksesta.

Valintajalostuksella ja varsinkin genomisella valinnalla voidaan parantaa kalojen vastustuskykyä tauteja vastaan. Genomisessa valinnassa emokalojen kyky periyttää vastustuskykyä arvioidaan tuhansien DNA-merkkien avulla, ja sen on todettu olevan ylivertainen keino perintöseen sukupuuhun perustuvaan jalostukseen verrattuna. Tämä on maailmanlaajuisesti yleisesti käytössä oleva tapa varsinkin sellaisia tauteja vastaan, joihin ei ole toimivaa rokotusta tai lääkitystä. Toisaalta olisi tärkeää saada vähennettyä antibioottien käyttöä eläintuotannossa.

Vesiviljelyn ilmastovaikutuksia voidaan myös vähentää valintajalostuksella. Rehun tuotanto vaatii paljon energiaa, ja se on kalan kasvatuksen isoin ilmastomuutosta aiheuttavien päästöjen lähde, mitä voidaan hillitä mm. valintajalostuksen keinoin valitsemalla nopeaa kasvua tai hillitsemällä rasvoittumista (Kause ym. 2016, 2022, Knap & Kause 2018). Suomalaisen kirjolohen rehunkäyttökykyä on onnistuttu perinnöllisesti parantamaan jopa 18 % viimeisen parinkymmenen vuoden aikana (Kause ym. 2022). Lisäksi tuotantoon käytettyjen resurssien suhdetta tuotettuun kalamäärään voidaan parantaa eloonjääntiä ja filesaantoa parantamalla (Kause ym. 2007, 2022), joka osaltaan vähentää ilmastopäästöjä tuotettua kalakiloa kohti.

Tietolaatikko: ilmastonmuutos, kalat ja vesiviljely

- Vesistöjen keskilämpötilat ovat ilmastonmuutoksen seurauksena nousseet, mutta tähän vaikuttavat myös vesistön syvyys ja veden laatu.
- Hellejaksot voivat kuivattaa puroja ja kalojen kutualueita. Vesien lämpeneminen on haitallista mm. lohikaloille.
- Jääpeitteinen aika on lyhentynyt, mikä on vaikeuttanut jään päältä tapahtuvaa talvikalastusta, mutta voi hyödyttää merialueen troolikalastusta.
- Kaloille aiheuttavat ongelmia myös vaellusesteet, vesien tummuminen sekä vesiin päätyvä ravinnekuorma. Rehevöitymisen hillitseminen hyödyttää myös ilmastonmuutokseen sopeutumista.
- Vesiviljelyn ongelmana ovat erityisesti hellejaksot, joiden seurauksena kalojen hyvinvointi heikkenee ja kuolleisuus voi kasvaa merkittävästi.

4. Vaikutukset maatalouteen ja puutarhatuotantoon

Saila Karhu, Pirjo Peltonen-Sainio, Miia Jauni ja Juho Hautsalo

Pelto- ja puutarhatuotannossa ilmastonmuutos vaikuttaa monisyisesti sekä isäntäkasvien että kasvintuhoojien biologiaan ja leviämiseen. Ilmastonmuutos tuo Suomen maataloudelle haasteiden ohella myös mahdollisuuksia, mikä on globaalisti varsin poikkeuksellinen tilanne. Kun lumipeite keväisin katoaa aiemmin, auringon säteily lämmittää maata keväällä enemmän ja kasvukauden alku aikaistuu. Samoin kasvukausi jatkuu syksyllä pidemmälle. Pidentyvä kasvukausi parantaa erityisesti monien lämpöä suosivien yksivuotisten kasvien kuten sokerimais-sin tuotantomahdollisuuksia. Myös kohoavat hiilidioksidipitoisuudet ovat tuotannolle eduksi, mikäli muut kasvutekijät ovat riittävän hyvällä tasolla.

Ilmaston lämpenemisen myötä kasvintuotantoon tulee mahdollisuuksien lisäksi uusia kasvin-suojelullisia haasteita mm. hyönteisten useamman sukupolven ja onnistuneen talvehtimisen, syyskosteutta suosivien taudinaiheuttajien sekä rikkakasvien paremman menestymisen takia. Näitä kasvinterveyteen liittyviä näkökulmia käsitellään kappaleessa 4.3.

Etenkin peltoviljely on altis vallitseville säille, ja niiden haitoilta suojautuminen edellyttää monipuolisten sopeutumistoimien käyttöönottoa. Varautuminen asteittain muuttuvaan ilmaan olisi merkittävästi helpompaa ilman säänvaihtelua ja ääri-ilmiöitä.

4.1. Vaikutukset maatalouteen

Ilmastonmuutokseen sopeutuminen on käynnissä suomalaisilla maataloilla. Kylvöt ovat aikais-tuneet parilla viikolla, mikä ei kuitenkaan ole heijastunut korjuuaikoihin (Peltonen-Sainio & Jauhiainen 2014). Kasvukauden pidennyttyä viljelijät ovat monipuolistaneet viljelykasvivalikoimaa. Aiemmin eritoten maan eteläosiin painottuneet lajit, kuten kevät- ja syysvehnä, herne, härkäpapu, rypsi ja rapsi, on otettu yhä laajemmin käyttöön. Niiden viljely on lipunut länsiran-taa myötäillen kohti pohjoisempia tuotantoalueita (Peltonen-Sainio & Jauhiainen 2020). Tä-män myötä perinteisesti varsin yksipuoliset viljelykierrot ovat monimuotoistuneet (Peltonen-Sainio & Jauhiainen 2019). Pidentynyt kasvukausi on mahdollistanut myös myöhäisempien ja satoisampien lajikkeiden käyttöönoton (Peltonen-Sainio & Jauhiainen 2020).

Käynnissä oleva sopeutuminen jatkuu ilmaston edelleen lämmitessä. Lisääntyvä säänvaihtelu sekä yleistyvät ja ankaroituvat ääri-ilmiöt tulevat olemaan keskeisin haaste sopeutumisen onnistumiselle. Suomessa viljelijät ovat kautta aikojen tottuneet sopeutumaan säänvaihtelun tuomiin haasteisiin ja epävarmuuteen. Tilastojen valossa lämpimät kasvukaudet ovat kannus-taneet viljelemään myöhäisempiä lajikkeita ja lajeja kuten vehnää. Viileän kasvukauden jäl-keen viljelijät ovat vähentäneet riskejä palaamalla aikaisempiin lajeihin, kuten ohraan (Pelto-nen-Sainio ym. 2013). Todennettu sopeutumiskyky ja muutosvalmius ovat etu varauduttaessa tulevaan, mutta kuinka voidaan varmistaa, että sopeutuminen onnistuu äärevöityvien kas-vuolojen aiheuttamien haasteiden voimistuessa?

Helteet ja kuivuus yhä toistuvampia kasvustojen kurittajia

Helteiksi äityvät lämpötilat sekä niiden voimistama kuivuus ovat merkittäviä sato- ja laatutap-pioiden aiheuttajia. Ne tuntuvat olleen viime vuosina Suomessakin enemmän sääntö kuin poikkeus, joskin ankaraus on vaihdellut alueittain. Niin Euroopassa kuin muuallakin

maailmassa on koettu tällä vuosituhanella useita mittavia, helleaaltojen aiheuttamia katoja (Devot ym. 2023). Näin äärimmäisiin tilanteisiin on sopeutumistoimintaan lähes mahdoton puuttua.

Suomessa alkukasvukauden kuivuus on ilmiö, joka jää toistuvuutensa vuoksi usein tunnistamatta. Kuivuudelle herkimmillä alueilla, kuten Varsinais-Suomessa se nakertaa 30 vuoden keskiarvona liki viidenneksen viljasadosta (Peltonen-Sainio ym. 2021a). Kärsvät kasvustot altistuvat herkemmin taudeille ja tuholaisille samalla, kun heikentynyt sato-odotus nakertaa torjuntavalmiutta. Suomi on vesistörikas maa; kolmannes pelloistamme on vesistön välittömässä läheisyydessä ja puolet korkeintaan sadan metrin päässä (Peltonen-Sainio ym. 2015). Tämä tarjoaa globaalisti poikkeuksellisen mahdollisuuden hyödyntää kastelua toistuvien ja tulevaisuudessa todennäköisesti voimistuvien kuivuushaittojen torjuntaan.

Suomessa sadannan jakauma on nurinniskainen suhteessa kasvustojen tarpeeseen. Kuivuutta esiintyy todennäköisimmin alkukasvukaudella sadonrakentumisen kannalta kriittisimpänä ajankohtana (Peltonen-Sainio ym. 2016). Sateet yleistyvät ja runsastuvat, kun siemensatona korjattavien kasvustojen vedentarve vähenee. Puintien aikaan sateista on lähinnä haittaa. Ilmastonmuutoksen on ennakoitu vahvistavan sadannan epäsuhdetta. Syys- ja talvisadannan on ennakoitu kasvavan merkittävästi rinnan lämpenemisen kanssa, jolloin maanrakenne on uhatuna ja huuhtoumariskit voivat kasvaa (Peltonen-Sainio ym. 2018).

Ennusteet kasvukauden aikaisista sademäärän muutoksista ovat maltillisempia. Ne vaihtelevat lisääntyvästä vähenevään sadantaan. Vaikka kasvukauden sademäärät kasvaisivat, on ennustettu keskimääräinen muutos vähäinen, kun sen suhteuttaa lämpötilan nousun sekä satoisampien lajien ja lajikkeiden runsaampien biomassojen voimistamaan haihduntaan. Lisäksi ennakoitu sateiden kuuroluonteisuus vastaa yhä heikommin kasvin jatkuvan vedensaannin tarpeeseen. Ennustetut muutokset sadannassa siis todennäköisesti lisäävät riskiä, että kasvustot kärsivät yhä ankarammasta kuivuudesta.

Ennakoivaa ja pitkäjänteistä sopeutumista

Laajan kyselyn perusteella viljelijät eivät koe kastelua kiinnostavaksi (Peltonen-Sainio ym. 2021b). 1960- ja 1970-lukujen sadetusinnostuksen jälkeen kalusto on vanhentunut ja uutta on hankittu lähinnä peruna- ja vihannestuotantoon. Kastelulla saavutettava hyöty on yksiselitteinen, kun halutaan hallita kuivuutta. Merkittävin este käyttöönotolle on investointikustannus suhteessa käyttöönototarpeen ja takaisinmaksurajan epävarmuuteen. Vuodet vaihtelevat sääoloiltaan ja ilmastonmuutoksen sadantaennusteisiin liittyy suurta epävarmuutta lämpötilaan verrattuna. Tämä vaikeuttaa satotappioiden ennakoimista. Epävarmuutta tuo myös markkinoiden, tuottajahintojen ja tulevien tukien arvaamattomuus. Laskelmiemme mukaan sadetuksen käyttöönotto olisi kannattavaa isoilla tiloilla, joilla satotasot ovat keskimääräistä suurempia (Peltonen-Sainio ym. 2021a). Kastelu on toimenpide kuivuuden hallintaan. Se lieventää myös merkittävästi helteiden haittoja, sillä lämpötilan nousu kiihdyttää esimerkiksi viljojen sadonrakentumista ja pienentää tähkän jyvämäärää.

Äärisäiden haittoja voidaan vähentää monin ennakoivin, usein pitkäjänteisyyttä edellyttävin viljelytoimin. Keskiössä ovat monihyötyiset toimenpiteet, jotka parantavat maan rakennetta ja kasvukuntoa sekä niiden myötä vesitaloutta. Monipuoliset viljelykierrot sekä syyskylvöisten lajien ja maanpeite- ja välikasvien käyttö parantavat yksipuolisen viljelyn aiheuttamia haittoja maan kasvukunnolle. Samalla ne suojaavat yleistyvien syys- ja talvisateiden aiheuttamilta

maan liettymis- ja rakenneongelmilta. Koska eri viljelykasvit eroavat herkkyydessään säähaittoihin, monimuotoinen maankäyttö mukaan lukien seosviljely lisää ilmastokestävyyttä samalla kun se tuottaa kasvinuojelu-, biodiversiteetti- ja ravinnekiertohyötyjä. Käynnissä olevat pelonkäyttömuutokset, kuten monipuolistuva ja alueellisesti laajeneva viljelykasvilajisto, sekä uudistavan viljelyn menetelmät, kuten maanpeite- ja välikasvien käyttö, ovat avaintoimia, joilla voidaan ennakoivasti vähentää säänvaihtelun aiheuttamia haittoja.

4.2. Vaikutukset ja uhat puutarhatuotannossa

Monia puutarhakasveja viljellään Suomessa niiden biologisten menestymisvyöhykkeiden pohjoisrajoilla. Kun talvien keskilämpötilat nousevat, kasvien menestyminen Suomen talvessa keskimäärin paranee, sillä monivuotisten kasvien pakkasvaurioiden riski pienenee. Monivuotisten puutarhakasvien lajikkeiden menestymisvyöhykkeet siirtyvät siten pohjoisemmaksi. Samalla Suomessa menestyvien lajikkeiden määrä lisääntyy (Kaukoranta ym. 2010). Kaupalliseen puutarhatuotantoon voidaan ottaa Suomessa jopa uusia lajeja. Tällöin muun muassa hedelmä- ja vihannestuotanto monipuolistuu, ja satotasot voivat kohota uusien lajikkeiden avulla. Myös viheralalla käytettävän lajikkeiston voi ennustaa monipuolistuvan.

Monivuotisten kasvien valmistautuminen talveen voi viivästyä

Monivuotiset lajit talveentuvat syksyllä kestävästi kylmää talveä. Kylmäkaraistuminen käynnistyy kasvukauden loppupuolella. Käynnistyminen määräytyy lajikohtaisesti lyhenevän päivänpituuden ja lämpötilan madaltumisen mukaan. Kun syksyinen kylmä kausi ennen pakkasjaksoja pitenee, kasveilla on pidetty kasvukauden aikana enemmän aikaa karaistumiseen. Tämä voi lisätä niiden pakkaskestävyyttä (Rochette ym. 2004). Ilmastaselvitysten mukaan Suomessa sateisuus kuitenkin lisääntyy (Irannezhad ym. 2014). Tämä voi johtaa syksyllä hyvin märkiin kasvuolosuhteisiin, mikä puolestaan haittaa kasvien karaistumisen kehittymistä (Bélanger ym. 2002). Jos kylmää kautta edeltää leudompi sääjakso, kylmäkaraistuminen voi häiriintyä eikä parasta pakkaskestoa saavuteta (Wu ym. 2019).

Syksyiseen lehtien kellastumiseen ja niiden irtoamissolukon kehittymisen säätelyyn vaikuttavia tekijöitä ovat matala lämpötila sekä lyhenevä päivänpituus. Lämmin sääkausi syksyllä voi vaikuttaa niin, että kasvien lehtien variseminen viivästyä erityisesti puutarhatuotannossa käytetyissä lajeissa, sillä näiden lajien alkuperä on usein boreaalista aluetta eteläisempi. Toisaalta myös kesän kuivuusjaksot voivat viivästyttää lehtien irtoamista syksyllä. Tämä ilmiö on tulkittu sopeumaksi siihen, että kasvit pystyvät lisäämään hiilihydraattivarjojaan mahdollisimman pitkään syyskaudella (Naschitz ym. 2014). Lehtivihreän jääminen varisemattomiin lehtiin syksyllä voi kuitenkin johtaa kasvien madaltuneeseen typpitasoon seuraavan kasvukauden alkaessa (Han ym. 2008).

Talvenkestävyyteen muutoksia

Talvella lumipeite on hyvä lämmöneriste kasvien juuristoille ja matalille kasvustoille. Kun lumipeite on vähäinen, sen eristävä vaikutus on heikko. Lumipeitteen madaltumisen myötä maan ja maanpintaa lähellä olevien ilmakerrosten lämpötila on talvella matalampi kuin syvän lumen alla. Suojuksien lisääntyminen myös vähentää lumen eristäviä ominaisuuksia, jolloin maan pintakerrosten lämpötila samoin laskee (Rixen ym. 2022). Lumipeitteen puuttuminen tai sen häviäminen talven lämpöjaksojen aikana altistaa monet tärkeät puutarhatalouden tuotantokasvit, esimerkiksi puutarhamansikan, pakkasen aiheuttamille tuhoille. Versonosien lisäksi

myös juuristo voi vaurioitua maan lämpötilan laskun takia, sillä juuriston pakkaskestävyys on huomattavasti heikompi kuin monivuotisten kasvien verso-osien. Matala maan lämpötila voi johtaa myös kasvien puutteelliseen vedensaantiin juuriston fysiologisten muutosten takia (Beikircher ym. 2016).

Nollan molemmin puolin vaihtelevat talvilämpötilat sekä suojajaksojen vesisateet voivat synnyttää maan pinnalle jääkerroksen. Tällaisen kerroksen alla happipitoisuus laskee ja monien juurille haitallisten yhdisteiden pitoisuus lisääntyy. Maan vuorottainen jäätyminen ja sulaminen myös rikkoo juuristoa (Bélanger ym. 2002). Nämä tekijät voivat johtaa kasvien kuolemiseen ja isojen viljelyalojen tuhoutumiseen.

Monivuotisten puutarhakasvien pakkaskestävyys on suurinta alkutalvella, minkä jälkeen karaistuminen alkaa purkautua. Lämpimät sääjaksot kevättalvella edistävät karaistumisen purkautumista. Eri lajeissa ja lajikkeissa kylmänkeston vähenemisen herkkyys ja nopeus vaihtelevat. Lämpimät kaudet ja niitä seuraavat pakkasjaksot erityisesti kevättalvella tai keväällä aiheuttavat lisääntyvää versojen vaurioitumista. Samoin ne voivat aiheuttaa edellisenä kasvukautena kehittymisensä aloittaneiden kukka-aiheiden vahingoittumisen. Pahimmassa tapauksessa kasvien silmut eivät puhkea tai kukinta jää heikoksi. Esimerkiksi vadelman karaistuminen voi purkautua lämpimissä oloissa jo muutamassa päivässä (Palonen ym. 2021). Kylmänkeston alkupeistä tasoa ei usein enää saavuteta uudelleen kylmissäkään oloissa (Wu ym. 2020).

Keväthallat ja pölytyksen epäonnistuminen kasvavia riskejä

Monivuotiset kasvit lähtevät entistä aikaisemmin kasvuun, kun kevään lämpötilat nousevat ja kukka-aiheet kehittyvät mahdollisesti jo syksyllä pitkälle. Tällöin myös silmujen puhkeaminen ja kukinta aikaistuvat. Kasvun aikaistuminen altistaa erityisesti aikaisin kukkivia puutarhalajeja suurelle hallavaurioiden riskille, sillä vaikka lämpötilat ilmastomuutoksen myötä nousevat, aikainen kasvukausi lisää niiden vaihtelun suuruutta. Suomessa erityisen alttiita lajeja kevään hallavaurioille ovat muun muassa omena ja muut hedelmäpuut sekä herukat.

Euroopassa on jo osoitettu puutarhatuotannon kärsineen keväthallojen aiheuttamista tuhoista huomattavia menetyksiä, kun puuvartiset tuotantolajit ovat nousseiden kevätlämpötilojen vaikutuksesta lähteneet entistä varhemmin kasvuun (Lamichhane 2021). Esimerkiksi keväällä 2017 Euroopassa arvioitiin hallatuhojen aiheuttaneen puutarha- ja viinituotannolle yli kolmen miljardin euron menetykset (Faust & Herbold 2018).

Pölyttäjien selviytyminen ilmastomuutoksessa on erityisen tärkeää puutarhatuotannolle. Kylmä- ja kuumuusjaksot sekä sateiset talvet tuhoavat hyönteispölyttäjiä (Forrest 2017). Lisäksi kasvien varhainen kukinta voi aiheuttaa sen, että pölyttäjien esiintyminen on kukinta-aikana vielä vähäistä. Ilmastomuutos ja entistä varhemmin alkava kukinta on suuri haaste onnistuneelle pölytykselle avomaan kasvintuotantoaloilla, erityisesti keväällä kukkivilla monivuotisilla kasveilla kuten hedelmäpuilla ja marjalajeilla (Settele ym. 2016).

Kesän kuivuus ja helle haittana avomaatuotannossa

Keväällä vähäinen lumipeite voi yhdessä vähäsateisuuden kanssa aiheuttaa peltojen ja istutusalueiden kuivuuden. Kastelujärjestelmien käyttö puutarhatuotannossa onkin lähes välttämättömyys. Kevään ja alkukesän kuivuus johtaa heikkoon taimettumiseen sekä kasvun heikkenemiseen. Syynä on veden puutteen lisäksi se, etteivät kasvit pysty kuivuudessa

hyödyntämään annettua lannoitusta. Kuivuus vähentää kasvien kasvua ja hedelmien kokoa ja näin pienentää kauppakelpoisen sadon määrää (Suojala ym. 1998).

Kohtalaisella kuivuudella voi joissain tapauksissa olla positiivisia vaikutuksia kasvien kiinteyteen ja kemiallisiin ominaisuuksiin kuten sokeripitoisuuteen (Ripoll ym. 2014). Jotkin vihanneslajit, kuten ruokasipuli, myös hyötyvät kasvulämpötilan noususta (Wurr ym. 1998). Suuri osa vihanniskasveista kuitenkin suosii viileää tai vain kohtuullisen lämmintä kasvuympäristöä. Kesän lämpötilan nousu ja helteiden aiheuttama kuumuus ovatkin haitallisia useiden tärkeiden viljelylajien satoisuudelle. Esimerkiksi kaaleille optimaalinen kasvulämpötila on noin 20 °C (Hara & Sonoda 1982).

Yleisesti hellesäiden aiheuttama kuumuus huonontaa vihannesten laatua. Kesän lämpötilan noustessa lisääntyvä haihdunta voi aiheuttaa häiriöitä kasvien aineenvaihduntaan sekä veden ja ravinteiden kulkeutumiseen, esimerkiksi salaatin lehdenreunapolte (Frantz ym. 2004). Useat lajit, kuten salaattit, pinaatti ja retiisi, voivat siirtyä liian kuumassa kasvaessaan kasvullisesta vaiheesta muodostamaan kukintoja, mikä pilaa kasvien laadun. Lajikkeiden väliset erot kukintaherkkyudessa voivat tosin olla suuria. Koska myös kuivuus lisää kukintaherkkyyttä, on viljelynaikainen kastelu entistä tärkeämpää lämpötilojen noustessa.

Lyhentävä päivän pituus ja alentuvat lämpötilat säätelevät useiden monivuotisten puutarhakasvien, kuten koristepensaiden, hedelmäpuiden ja marjakasvien kukkien muodostumista loppukesällä. Tähän kauteen osuva hellejakso voi häiritä kukka-aiheiden muodostumista ja aiheuttaa kukkiin epänormaalisuutta. Tämä johtaa seuraavana vuonna heikkoon kukintaan tai epämuotoisiin hedelmiin (Yoshida & Nishimoto 2020).

Rankkasateet ja lämmin syksy muuttavat tuotantotapoja

Rankkasateiden esiintymisen arvioidaan Suomessa lisääntyvän ilmastomuutoksen myötä (Gregow ym. 2021). Tämä vaatii maan hyvän rakenteen jatkuvaa ylläpitoa, jotta maa ei liety. Liettyminen vähentää juuriston kuntoa ja toimintaa sekä lisää alttiutta juuristotaudeille (Sano & Ji 2013). Lisääntyvät rankkasateet ovat uhka myös marjojen laadulle, ja ne aiheuttavat suuria satotappioita. Rankkasateiden riskin lisääntyessä tuotanto siirtyneekin enenevästi muovikalvolla katettuihin kasvutunneleihin.

Syksyllä jatkuva lämmin kasvukausi pitää maan pitkään lämpimänä, jolloin juurivihannekset, kuten porkkana, jatkavat kasvua ja satotaso nousee (Rosenfeld ym. 2002). Suomessa loka-kuun alkuun asti viivästyvä nosto myös parantaa porkkanan varastokestävyyttä (Suojala 1999). Jos varastoitavat juurekset joudutaan kuitenkin nostamaan yhä lämpimästä maasta, niiden kylmävarastointi nostaa tuotannon kustannuksia (Bisbis ym. 2018). Tämän takia nostoa voidaan joutua entisestään myöhentämään syyslämpötilojen noustessa.

Kuumuus uhkana kasvihuonetuotannossa

Kasvihuonetuotannossa suositetaan yleisesti Suomen ulkoilmaa korkeampaa kasvatuslämpötilaa, mikä lisää kasvua erityisesti silloin, kun myös vesi-, ravinne- ja valo-olot voidaan säätää optimitasolle ja ilmaa rikastaa hiilidioksidilla. Ilmaston lämpenemisen myötä kasvihuoneiden lämmitystarve vähenee. Lisääntyvä pilvisuus syys- ja talvikaudella voi kuitenkin vähentää tätä positiivista vaikutusta.

Kasvihuoneissa voi olla hellekesien aikaan liian kuuma, jos niitä ei varusteta riittävillä ilmastointijärjestelmillä. Liika kuumuus aiheuttaa tuotantoon monia ongelmia. Kuumalla kaudella kasvien ilmaraot sulkeutuvat, jolloin yhteyttäminen vähenee, ja erityisesti yhdistettynä rajoitettuun vedensaantiin tuotannon tehokkuus vähenee (Bisbis ym. 2018). Myöskään ilman hiilidioksidipitoisuutta ei voida pitää riittävällä tasolla, mikäli kasvihuonetta täytyy tuulettaa lämpötilan säätelyn vuoksi (Särkkä ym. 2008). Liian kuumassa vihannesten siementen itäminen voi estyä termodormanssin takia (Gray 1975). Esimerkiksi tärkeän tuotantokasvimme, tomaatin kukkien muodostumiseen, hedelmöitymiseen tai hedelmien kehittymiseen liika lämpö voi vaikuttaa hyvin haitallisesti (Yakir ym. 1984).

Puutarhatuotannon varautuminen lämpötilan ja vesitalouden muutoksiin

Hedelmä- ja marjatuotannossa kevähallan tuhoja pyritään torjumaan muun muassa sadettamalla, mikä kuluttaa vesivaroja ja vaatii siihen sopivat sadetuskalustot. Viljelyalat tulee vastaisuudessa sijoittaa entistä tarkemmin mahdollisimman vähähallaisille kasvupaikoille ja suosia lajikkeita, joiden kukinta-aika on mahdollisimman myöhäinen. Monivuotisten viljelmien perustaminen uudelleen on kuitenkin kallista, joten tämä rakenteellinen muutos tapahtunee hitaasti.

Matalakasvuisia lajeja voidaan talvella suojata hallansuojaharsojen avulla, ja niiden käyttö lisääntyy. Kestävät lajikkeet ovat kuitenkin avainasemassa monivuotisten lajien viljelyn onnistumisessa. Niissä riittävä ja pitkään keväällä kestävä pakkaskestävyys, vahva juuristo ja myöhäinen kukinta-aika ovat tärkeitä ominaisuuksia. Kun jalostetaan ulkomaalaisia lajikkeita, niiden ilmastollisen stressin kestävyyttä Suomen olosuhteita varten ei testata. Puutarhakasveille ei myöskään ole säännönmukaisia lajikekokeita. Kotimainen lajikejalostus ja riittävä lajikkeiden testaus ennen laajamittaista viljelyä ovat tärkeitä, kun minimoidaan viljelyn satoriskejää. Ilmastomuutoksen aiheuttamat säämuutokset lisäävät näiden tarvetta. Riskien varalta vakuuttaminen tullee lisääntymään puutarhatuotannossa. Myös kasvien menestymisen riskianalyysojen tarve lisääntyy.

Hedelmä- ja marjatuotanto on riippuvainen kukkien hyvästä pölytyttämisestä. Kun kukinta-ajat aikaistuvat, luontaisten pölyttäjäien avulla tapahtuva pölytyttäminen voi vaatia pölyttäjäpopulaatioiden evolutiivista soputumista muuttuviin kukinta-aikoihin. Tämä on pitkäkestoinen prosessi, ja käyttöön onkin otettava kaupallisia pölyttäjäpalveluratkaisuja.

Kevään, alkukesän ja pitkien hellekausien kuivuus lisäävät kastelun tarvetta avomaan vihannes- ja marjatuotannossa. Kastelujärjestelmän rakentaminen ja käyttö lisäävät tuotannon kustannuksia. Lisäksi puhdasta kasteluvettä on oltava riittävästi saatavilla kuivina sääjaksoina. Suuret kastelumäärät voivat kuitenkin lisätä joillakin maalajeilla muun muassa typen huuhtoutumista (Suojala-Ahlfors ym. 2021), mikä on syytä ottaa huomioon viljelmien ylläpidossa. Rankkasateiden vaikutuksesta viljelymaat voivat liettyä niiden kunnosta ja maan laadusta riippuen.

Heikkorakenteisimmilla aloilla voidaan joutua siirtymään viljelyyn kohopenkeissä, joissa maan huokosrakenne pysyy parempana. Kohopenkeissä myös vesitalous pysyy kohopenkeissä parempana, kun käytetään katteita. Lisäksi muovilla katettujen kasvutunnelien käyttö viljelyympäristönä tulee lisääntymään, sillä niissä vesitaloutta voidaan säädellä paremmin ja ne suojaavat muun muassa rankkasateilta. Tällainen kehittyneempi avomaaviljely lisää

tuotantopanoksia, mutta sadontuoton lisääntyminen tasaa sekä tuotannon kustannus- että ympäristövaikutuksia (Rantanen ym. painossa).

Koska kasvihuonetuotannon kannattavuus vaatii tuotannon tehokuuden tarkan optimoinnin, kasvihuonetuotannossa korostuu tarve lämpötilan säätöön. Tätä varten tarvitaan uusia ratkaisuja ja huomattavia investointeja riittävän jäähdytyskapasiteetin rakentamiseen.

4.3. Vaikutukset kasvintuhoojien esiintymiseen

Pelto- ja puutarhatuotannossa ilmastonmuutos vaikuttaa monisyisesti sekä isäntäkasvien että kasvintuhoojien biologiaan ja leviämiseen. Ilmastonmuutoksen myötä yleistyvillä sään ääri-ilmiöillä on myös suoria vaikutuksia kasvintuhoojien esiintyvyyteen. Yksittäisiä myrskyjä tai kuivuusjaksoja suurempi merkitys on kuitenkin kohoavilla keskilämpötiloilla ja sademäärillä. Kaikista merkittävin yksittäinen muutos tulee olemaan talvien leudontuminen ja asteittainen katoaminen. Alla käydään kasvintuhoojaryhmä kerrallaan keskeisimpiä muutoksia, joita ääri-ilmiöt ja muuttuva ilmasto aiheuttavat kasvintuhoojissa sekä annetaan esimerkkejä yksittäisistä ongelmista.

Tuhohyönteisten riski kasvaa

Ilmastonmuutos ja sään ääri-ilmiöt voivat muuttaa tuhohyönteisten runsautta ja esiintymisajankohtaa. Muutokset viljelykasvin fenologiassa ja tuhohyönteisten esiintymisajankohdassa vaikuttavat tuhojen määrään ja voimakkuuteen. Vaikutusten ennustaminen on kuitenkin haasteellista, sillä tuhohyönteisille on tyypillistä suuri vuosittainen vaihtelu. Erityisesti lämpötila vaikuttaa hyönteisten kehittymiseen, populaatiodynamiikkaan, lisääntymiseen ja esiintymiseen (Schneider ym. 2022).

Suomen nykyilmastossa kylmät talvet rajoittavat monien tuholaisten, kuten täplämahlakärpän, vakiintumista ja runsastumista. Täplämahlakärpänen on marjojen tuholainen, joka havaittiin Suomessa ensi kertaa vuonna 2019. Toistaiseksi ilmasto rajoittaa lajin asettumista Suomeen (Nissinen ym. 2023). Ilmastonmuutoksen myötä tuhohyönteisten esiintymisalueet voivat laajentua, talvehtimismenestys parantua, sukupolvien lukumäärä ja riski hyönteisvälitteille kasvitaudeille kasvaa sekä hyönteismigraatiot yleistyä (Skendžić ym. 2021).

Migraatioista olemme saaneet jo tuntumaa esimerkiksi vuosina 2016 ja 2018. Alkukasvukaudesta 2016 suotuisat sääolot edesauttoivat kaalikoin migraatioita ja lajin yksilöitä vaelsi massoittain idästä leviten liki kaikkialle Suomeen. Vuonna 2018 Etelä- ja Keski-Euroopan helteet ja kuivuus johtivat siihen, että gammayökköset vaelsivat pohjoiseen poikkeuksellisen runsaana joukkona. Vaellus osui heinäkuulle, jolloin vallitseva helteinen sää oli ihanteellinen gammayökkösten toukkien kehitykselle ja merkittävien tuhojen toteutumiselle. Gammayökköset aiheuttivat tuhoja etenkin härkäpavulla, mutta myös öljykasveilla, herneellä ja sokerijuurikkaalla. Tuhot painottuivat Etelä- ja Kaakkois-Suomeen.

Merkittävimmät sään ääri-ilmiöihin liittyvät tuhohyönteisriskit ovat kevätiljoilla tuomikirva ja sen levittämä kääpiökasvuviroosi (BYDV), syysviljoilla kahukärpänen sekä öljykasveilla kirpat ja kaalikoi (Tiilikkala ym. 2009; Peltonen-Sainio ym. 2016). Ilmaston lämpeneminen voi lisätä tuomikirvan migraatioita. Tuomikirvat saapuvat kaukokulkeutena etelästä ja kaakosta useimmiten lämpimien saderintamien edellä. Kriittisin vaihe tuhojen kannalta on kevätiljojen

orastumisesta pensomisvaiheeseen. Keski-Euroopassa 8 °C lämpötila on nykyisin kynnyksarvo syksyn ja kevään tuomikirvamigraatioille (Jarošová ym. 2019).

Myös kirppainvaasiot ja kaalikoin aikaiset, alkukesäiset migraatiot hyötyvät lämpötilojen noususta ja voivat lisätä satotappioiden riskiä (Peltonen-Sainio ym. 2016). Säällä on merkittävä rooli kaalikoin muninnan ja toukkien kehityksen kannalta. Vioitusta aiheuttaa etenkin täällä kehittyvä kakkossukupolvi. Kaalikoille on kehittynyt resistenssi useita torjunta-aineryhmiä vastaan (Banazeer ym. 2022), mikä lisää lajin haitallisuutta. Kirppatuhoja edesauttaa etenkin poikkeuksellisen lämmin ja kuiva sää, jolloin öljykasvien taimet kehittyvät hitaasti ja ovat alttiina kirpoille. Syysviljoilla kahukärpäs vioitusten riski kasvaa erityisesti lämpiminä syksyinä, jolloin kahukärpäsiä voi olla liikkeellä pitkään.

Rikkakasveissa voittajia ja häviäjiä

Sään ääri-ilmiöt vaikuttavat peltojen rikkakasvilajiston koostumukseen ja lajien levinneisyyteen. Osa rikkakasvilajeista, kuten viherrevonhätä, hyötyvät ilmaston lämpenemisestä, ja ne voivat laajentaa esiintymisaluettaan Euroopassa kohti pohjoista. Osalla lajeista, kuten rikkasinapilla, sopivan ilmaston alue voi pienentyä (Hyvönen ym. 2012). Menestyminen uudella alueella edellyttää rikkakasville sopivan viljelykasvin viljelyä (Hyvönen & Ramula 2014).

Ilmastonmuutos tuo tullessaan uusia viljelykasveja ja -tapoja. Maissin laajamittainen viljely sekä syysviljojen yleistymisen aiheuttavat merkittävän muutoksen suomalaisen rikkakasvilajistoon ja voivat olla väylä myös uusille lajeille. Syyskylvöisten viljelykasvien lisääntymisen seurauksena ns. syyskysivuotiset rikkakasvilajit, kuten pelto-orvokki, peltosaunio, linnunkaali ja peltomatarana sekä siemenlevintäiset heinät, kuten kylänurmikka ja rikkapuntarpää yleistyvät (Tiilikkala ym. 2009). Näiden lajien menestymistä edesauttavat myös ilmastonmuutoksen myötä leudontuvat talvet sekä märemmät syksyt (Peltonen-Sainio 2009, Tiilikkala ym. 2009). Viimeisimmän rikkakasviseurannan mukaan kylänurmikka on jo selvästi yleistynyt kevätiljapelloilla (Salonen ym. 2023). Rikkapuntarpää puuttuu meiltä vielä lähes kokonaan, mutta se on jo Etelä-Ruotsia myöten yksi hankalimmista rikkakasvilajeista Euroopassa (Menegat ym. 2018). Pitkistä, leudoista syksyistä sekä kevään aikaistumisesta ja kuivuudesta hyöttyy etenkin juolavehna. Se ei kuitenkaan menesty yhtä hyvin syysvilja- kuin kevätiljapelloissa.

Suomen nykyilmastossa monet eteläisemmät rikkakasvilajit eivät lyhyen kasvukauden aikana ehdi tuottaa lisääntymiskykyistä siementä (Hyvönen & Ramula 2014). Ilmaston lämmitessä ja kasvukauden pidentyessä tämä voi kuitenkin muuttua, ja monet uudet lajit voivat vakiintua osaksi rikkakasvilajistoamme. Jo nykyisin uusina peltojen rikkakasvilajeina on havaittu rikkakananhirssejä (*Echinochloa crus-galli* -ryhmä), kehtokoisoa sekä pantaheiniä (Hyvönen 2020). Näistä etenkin kuumista kesistä ja aukkoisista viljakasvustoista hyötyvät rikkakananhirsit ovat jo osoittautuneet hankalasti hävitettäväksi riesaksi erityisesti Ahvenenmaalla ja Etelä-Suomessa (Poikolainen & Lehti 2021).

Sään ääri-ilmiöt, kuten voimakkaat sateet tai hellejaksojen aiheuttama kuivuus, voivat muuttaa viljelykasvien kasvurytmiä tai heikentää kasvustoja, jolloin kilpailuasetelma muuttuu ja rikkakasvit pääsevät paremmin valtaamaan alaa. Kuivina kesinä pärjäävät etenkin syväjuurisat rikkakasvit, kuten ohdakkeet ja valvatit. Myös jauhosavikka taimettuu hyvin kuivissa oloissa, ja se voikin kasvattaa osuuttaan lajistossa. Poikkeukselliset olot luovat häirittyjä ekosysteemejä ja jättävät viljelykasvustot harvoiksi ja aukkoisiksi, mikä antaa monesti pioneerilajeina toimiville rikkakasveille tilaa asettua (Clements & DiTommaso 2022). Sään ääri-ilmiöt vaikuttavat

myös rikkakasvien torjuntaan. Tulvat ja kuivuus voivat rajoittaa mekaanisten rikkakasvitorjuntamenetelmien, kuten haraamisen käyttöä. Pitkittyneet sadejaksot tai kuivuuden aiheuttamat muutokset rikkakasvien taimettumisessa voivat puolestaan haitata kemiallisen torjunnan käytettävyyttä, ajoittamista ja tehoa. (Finch ym. 2021) Lisähaasteensa rikkakasvien torjuntaan tuo rikkakasvillisuuden muuttuminen kohti hankalammin torjuttavia lajeja (Tiilikkala ym. 2009).

Taudinaiheuttajista enemmän päänvaivaa

Kasvitauteja aiheuttavat mikrobit voidaan jakaa bakteereihin, viruksiin, aitoihin sieniin ja munasieniin. Ilmastonmuutos vaikuttaa näihin mikrobeihin, niitä levittäviin vektoreihin ja isäntäkasveihin. Kasvitauteja aiheuttavien mikrobien ja niitä levittävien vektorihyönteisten lisääntyminen on riippuvaista suotuisista olosuhteista. Ilmastonmuutos lisää lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja sademääriä kasvukaudella (Jylhä ym. 2010). Näiden muutosten myötä esimerkiksi sienet ja bakteerit selviytyvät paremmin ja lisääntyvät voimakkaammin. Voimakkaan isännissä ja epifyytisesti eli kasvien ulkopinnoilla tapahtuvan lisääntymisen seurauksena ne leviävät tehokkaammin ja aiheuttavat vakavampia oireita (Velásquez ym. 2018). Esimerkiksi *Candidatus Liberibacter solanacearum* taudinaiheuttajan pitoisuuden on osoitettu kasvavan saastuneissa porkkanoissa lämpiminä kuukausina, mikä kasvattaa sen leviämisen ja aiheuttamien tuhojen riskiä (Nissinen ym. 2021).

Monet bakteerit ja sieni-itiöt (esim. viljojen punahome tai mansikan punamätä) leviävät sadepisaroiden välityksellä (Hörberg 2002), jolloin ilmastonmuutoksen kasvattamat sademäärät edesauttavat infektioiden leviämistä. Vihannesten varastotauteja aiheuttavat *Fusarium*-lajit ovat yleistyneet porkkanalla (Hannukkala ym. 2020) ja sipulilla (Haapalainen ym. 2016). Kasvava sateisuus ja pilvisuus voivat vaikuttaa negatiivisesti kasvien puolustusmekanismeihin (Douma ym. 2019). Toisaalta ääri-ilmiöille tyypillistä on kasvustoille aiheutuvat erilaiset stressit kuten kuumuus tai heikentynyt veden tai ravinteiden saanti, jotka voivat samanaikaisesti heikentää kasvien puolustusta ja altistaa kasvitaudeille (Suzuki ym. 2014). Myrskyjen voimakkaasti lakoon painama kasvusto on otollinen ympäristö kasvitautilien kehittymiselle, koska se kuivuu heikommin (Nakajima ym. 2008).

Merkittävin rajoittava tekijä useimmille kasvintuhoojille Suomessa on ollut talvi, josta selviäminen edellyttää tuholaisien talvehtimistä maassa, kasvijätteessä tai väli-isännissä. Tämä altistaa taudinaiheuttajan sekä kilpailulle muiden mikrobien kanssa, sekä ankarille stresseille kuten jäätymiselle. Pitkällä aikavälillä myös talvien lämpeneminen edesauttaa sienitautien, bakteerien, virusten sekä bakteerien vektorihyönteisten talvehtimistä (Velásquez ym. 2018).

Syysmuotoisten viljojen viljely lisääntyy, ja ne tulevat myös toimimaan eräänlaisena siltana talven yli. Kasvitaudit kuten härmä ja erilaiset ruosteet tulevat olemaan suurempi ongelma viljoilla kuin nyt, koska toistaiseksi ne joutuvat joka vuosi leviämään uudestaan etelämpää Euroopasta, jossa ne talvehtivat kasvustoissa ja saapuvat usein vasta kasvukauden lopulla Suomeen (Hakala ym. 2011). Toisaalta sään ääri-ilmiöt kuten poikkeuksellisen lämpimät jaksot talvella saattavat sulattaa lumipeitettä ja altistaa syysviljoja jäätymisstressille. Tämä voi osaltaan myös herkistää lumihometartunnoille ja johtaa vakaviin talvituhoihin (Ponomareva ym. 2021).

Suomessa suurin hometoksiinirisikin aiheuttaja elintarviketuotannossa ovat *Fusarium*-sukuiset homesienet, joista tunnetuimpia ovat viljojen punahomeet. Punahometoksiinit ovat aiheuttaneet myrkytyksiä jo ennen toista maailmansotaa (Rainio 1932), mutta ongelma on kasvanut 2000-luvulla. Varsinkin kaurasta, joka on merkittävin vientiviljamme, mitataan toistuvasti korkeita toksiinipitoisuuksia. EU:n DON-toksiinille asettamat raja-arvot ovat ylittyneet useina

vuosina merkittävässä osassa elintarvikekauraeristä. Hometoksiineja aiheuttava *Fusarium*-sienilajikirjo on muuttunut kuluneella vuosikymmenellä. Merkittävin toksinintuottajalaji on vaihtunut Pohjois-Euroopassa *Fusarium culmorumista* tätä aggressiivisemmäksi *F. graminearumiksi* (Hietaniemi ym. 2016, Parikka ym. 2012). Ilmiön taustalla on kevennetyn muokkauksen yleistyminen ja kasvilajien muutokset (maissinviljely levittää *F. graminearumia*), mutta myös ilmastonmuutos (Parikka ym. 2012). Ilmastonmuutoksen myötä kohonneet lämpötilat ja kasvanut sadanta kukinnan aikaan suosivat *F. graminearumin* aiheuttamia punahometartuntoja, sillä taudinaiheuttajan itiöt tarttuvat herkimmin kukkivaan viljaan (Tekle ym. 2012). Sieni kasvaa tehokkaammin kohonneessa lämpötilassa (Kaukoranta ym. 2019). Lisäksi kohoava hiilidioksidipitoisuus kasvattaa sekä *F. graminearum* sienien aggressiivisuutta, että vehnän alttiutta sienelle (Vary ym. 2015).

Ääri-ilmiöistä alkukasvukauden helteet ja kuivuudet heikentävät viljakasvustoja, jolloin kasvien puolustuskyky ei ole optimaalisimmillaan kukinnan aikaan. Jos kukinnan aikaan sattuu runsaasti sateita, ne voivat saada viljan jälkiversomaan voimakkaasti. Jälkiversonta puolestaan pidentää huomattavasti kukinta-aikaa ja tuleentumisaikaa sekä altistaa voimakkaasti punahometartunnoille ja hometoksiinien kehittymiselle (Kaukoranta ym. 2019, Hjelkrem ym. 2017). Loppukasvukaudesta myrskyt ja voimakkaat syysateet saavat viljan lakoamaan, mikä edistää homeiden muodostumista (Nakajima ym. 2008). Toisaalta syksyisin yleistyvä sadanta ylläpitää kosteutta kasvustossa, mikä sekin kasvattaa toksiiniriskiä (Hjelkrem ym. 2017).

Viljojen *Fusarium*-lajit ovat vain yksi esimerkki hometoksiineja aiheuttavista kasvintuhoojista ja ilmastonmuutoksen myötä on hyvin todennäköistä, että myös muut hometoksiinit kuten aflatoksiinit yleistyvät Pohjois-Euroopassa. Lisäksi *Fusarium*-suvun homelajit aiheuttavat ongelmia jo nyt monilla muillakin kasvilajeilla, kuten sipulin ja porkkanan varastotauteina.

Vieraslajien asettuminen uusille alueille helpottuu

Ilmastonmuutos voi edesauttaa monien vieraslajien vakiintumista ja leviämistä pohjoisille alueille (Bellard ym. 2018). Suomessa haitallisista vieraslajeista espanjansiruetana, joka aiheuttaa tuhoja pihossa ja puutarhoissa, on jo levinnyt tehokkaasti. Tulevaisuudessa espanjansiruetanalle suotuisia olosuhteita löytyy yhä pohjoisempaa (Zemanova ym. 2018). Laji hyötyy erityisesti pitkistä kosteista syksyistä ja leudoista talvista. Leudoista talvista hyötyy myös valkohäntäpeura, joka aiheuttaa maatalousvahinkoja Uudellamaalla, Varsinais-Suomessa ja Hämeessä (Matala ym. 2021). Talvien lauhtuminen, lumipeitteen ohentuminen ja lumipeitteisen ajan lyhentymisen voivat edesauttaa lajin leviämistä kohti pohjoista sekä lisätä haittoja maa- ja puutarhataloudelle (Matala ym. 2021). Ilmastonmuutos voi mahdollistaa sellaisten satunnaisten vieraslajien asettumista Suomeen, joiden vakiintumista nykyiset ilmasto-olosuhteen rajoittavat. Näihin lajeihin lukeutuvat muun muassa täplämahlakärpänen ja linnunsiementen seassa saapuva marunatuoksukki.

Vaarallisimmat vieraslajit leviävät ja lisääntyvät tehokkaasti sekä sietävät monenlaisia ympäristöolosuhteita. Nämä ominaisuudet lisäävät vieraslajien menestymistä myös muuttuvissa olosuhteissa (Finch ym. 2021). Sään ääri-ilmiöistä esimerkiksi voimakkaat myrskytuulet voivat tuoda tullessaan hyönteisiä, taudinaiheuttajia tai vieraslajien leviäimiä, ja tulvien mukana voivat levitä kasvien siemeniä (Diez ym. 2012). Sään ääri-ilmiöiden vaikutukset vieraslajeihin ovat kuitenkin riippuvaisia lajista, ekosysteemistä ja ääri-ilmiön tyypistä (Diez ym. 2012).

Sään ääri-ilmiöiden yleistyessä viljelykasvilajistomme muuttuu. Uusiin viljelykasveihin ja kerräjäkasveina käytettävien kasvien siemenseoksiin voi liittyä myös vieraslajiriskejä. Toisinaan uudet viljely- ja puutarhakasvit osoittavat voimakasta leviämispotentiaalia ja karkaavat viljelyksestä. Esimerkiksi rehuvoohenherne on valloittanut etenkin Helsingissä ja Salon seudulla

pientareita ja joutomaita. Siemenseosten ja viljelykasvien kylvösiementen epäpuhtaudet ovat leviämistä välttämättömyyksiä lukuisille vieraslajikasveille. Vierasta rikkakasvilajia, rikkakananhirssiä, on havaittu Ruokaviraston siementarkastuksissa muun muassa maisema- ja niittykasviseoksissa sekä epäpuhtautena ulkomaisissa nurmikasvien siemenissä (Markkanen 2023).

Päätelmiä kasvintuhoojista

Ilmastonmuutoksen myötä pitenevä kasvukausi voi innostaa kokeilemaan uusia viljelykasveja tai tuomaan taimiaineistoa ulkomailta, mikä kasvattaa uusien kasvintuhoojien leviämiskäynnä. Monille tärkeille puutarhakasveille vaarallinen tulipolte voi levittää tuontitaimista (Ruokavirasto 2023). Ääri-ilmiöiden luomaa kasvintuhoojariskiä voidaan hillitä rajoittamalla kasvimateriaalin liikkuvuutta ja ylläpitämällä mahdollisimman laajaa torjuntakeinovalikoimaa. Torjuntakeinovalikoiman tulee sisältää uusien biologisten ja kemiallisten aineiden ja mekaanistenkin menetelmien kehittämistä sekä mahdollisimman laajalti vanhoja toimivia menetelmiä. Näiden lisäksi on ylläpidettävä ja kehitettävä kykyä diagnosoida olemassa olevia ja tulevia kasvintuhoojia.

Yksi keskeinen sopeutumistoimi muuttuvaan ilmastoon sopeuttamisessa tulee olla taudinkestävyyden parantaminen kotimaisessa lajikeaineistossa sellaisten tautien osalta, jotka eivät aikaisemmin olleet ongelma. Viljelyn monipuolistaminen niin laajasti kuin menetelmienkin tasolla vähentää yksittäisestä kasvintuhoojasta tai ääri-ilmiöstä koituvaa riskiä huomattavasti. Kun naapuripellolla kasvaa rypsin sijasta viljaa tai perunaa, rapsikuoriainen tai perunarutto eivät aiheuta niin valtavaa tuhoa kuin jos molemmilla pelloilla olisi samalle tuholaiselle otollista isäntäkasvia. Saman lohkon tuholaispainetta voidaan myös alentaa siirtymällä seuraavana vuonna toisen kasvilajin viljelyyn.

Tietolaatikko: ilmastonmuutos, maatalous ja puutarhatalous

- Kasvukausien venyminen ja lämpeneminen mahdollistaa uusien lajikkeiden käytön. Aiemmin etelään rajoittuneita lajeja on alettu viljellä pohjoisemmassa (mm. kevät- ja syysvehnä, herne, härkäpapu, rypsi ja rapsi). Tämä on auttanut monipuolistamaan viljelykiertoja.
- Puutarha-alalla monivuotisten puutarhakasvien lajikkeiden menestymisvyöhykkeet siirtyvät pohjoisemmaksi ja Suomessa menestyvien lajikkeiden määrä lisääntyy. Kaupalliseen puutarhatuotantoon voidaan ottaa Suomessa jopa uusia lajeja, jolloin muun muassa hedelmä- ja vihannestuotanto monipuolistuu ja satotasot voivat kohota.
- Uusia lajikkeita on kuitenkin seurannut uudet tuhonaiheuttajat. Tämä on tuonut uusia haasteita tuholaisorjuntaan ja taudinkestävyyteen. Uudet tuhonaiheuttajat leviävät mm. lämpötilojen nousun sekä leudontuvien talvien ansiosta.
- Sään ääri-ilmiöt, erityisesti alkukasvukauden kuivuus ja kuivuusjaksot, ovat erittäin haitallisia maataloudelle. Ne lisäävät kastelutarvetta avomaan vihannes- ja marjatuotannossa.
- Varautumistoimiin pelloilla kuuluvat mm. monipuoliset viljelykierrat sekä syyskylvöisten lajien ja maanpeite- ja välikasvien käyttö. Ne parantavat myös yksipuolisen viljelyn aiheuttamia haittoja maan kasvukunnolle.

5. Vaikutukset riista- ja metsälajistoon

Markus Melin, Esa Huhta, Mervi Kunnasranta ja Juho Matala

Riista- ja metsälajistoon vaikuttavat ilmastonmuutoksen mekanismit liittyvät muun muassa lumen määrään ja lumisen ajan pituuteen, routaan, sateisuuteen, talvien ankaruuteen, jäiden sulamisajankohtaan ja jään laatuun. Lisäksi ilmastonmuutoksella on epäsuoria vaikutuksia esimerkiksi ravintokasveihin kuumana ja kuivana kesänä sekä tekijöihin, jotka vaikuttavat eläinten mahdollisuuksiin suojautua, pesiä, liikkua tai löytää ravintoa. Tässä osiossa tarkastelemme ilmastonmuutoksen vaikutuksia yleisesti tunnettuihin lajeihin. Tavoitteena on avata ilmastonmuutoksen vaikutuksen mekanismeja, joten tarkastelussa ei ole mukana kaikkia Suomen riista- ja metsälajeja. Aluksi esitellään eri sääilmiöiden ja jo muuttuneen ilmaston vaikutuksia kotoperäiseen lajistoon. Lisäksi luodaan katsaus ajankohtaisiin tulokas- ja vieraslajeihin, joiden levittäytymistä ilmastonmuutos edesauttaa.

5.1. Esimerkkejä muuttuvan ilmaston vaikutusmekanismeista eri lajiryhmillä

Lumen puute sotkee valkoisen suojavärin

Pohjoiset lajit ovat sopeutuneet vuodenaikojen välisiin vaihteluihin erinomaisesti, jolloin tämän vaihtelun muuttumisella on niille merkittäviä vaikutuksia. Lumisen ajan lyheneminen on näistä hyvä esimerkki. Lumettomien syksyjen ja keväiden aikaan esimerkiksi riekko ja metsäjänis menettävät suojavärinsä tuoman edun ja loistavatkin sen sijaan valkeana mustaa maata vasten. Sama koskee myös muita valkoiseen suojaväriin vaihtavia nisäkäslajejamme kuten kärppää ja lumikkoa. Ilmiön on havaittu aiheuttavan merkittävää lisäkuolleisuutta esimerkiksi riekolle (esim. Melin ym. 2020), koska suojautuminen ja piiloutuminen pedoilta vaikeutuu.

Lumettomuuden lisäksi metsäjänis kärsii myös siitä, että leudot talvet edesauttavat rusakon, leviämistä. Rusakko on tulokaslaji, joka on runsastunut 2000-luvulla eteläisessä Suomessa. Vastaavasti metsäjäniskannat ovat laskeneet. Lajit risteytyvät keskenään ja tuottavat lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä. Tilanteen on havaittu hyödyttävän enemmän rusakkoa, koska risteymät ovat geneettisesti kauempana puhtaista metsäjäniksistä (Levänen 2019).

Kanalinnut eivät kestä sateisia talvia

Lumi eristää pakkaselta ja suojaa pedoilta. Kanalinnut viettävät talvella merkittäviä aikoja lumikiepeissä, mikä suojaa niitä etenkin yöaikaan. Kanalinnut kärsivät merkittävästi, mikäli sää talvella vaihtelee suojan ja pakkasen välillä. Sään vaihtelu voi aiheuttaa lumipeitteeseen jääpinnan, joka estää kieppiin menon. Mahdollisesti lisääntyvä talvinen sadanta lisää jääpinnan syntymistä. Vetenä tuleva sadanta myös altistaa kanalinnut kylmyydelle, koska niiden höyhenpeite ei ole vedenpitävä. Talven lisäksi viileä sää yhdistettynä sateisuuteen on kanalinnuille haitallinen yhdistelmä myös poikueaikaan, koska pienten poikasten lämmönsäätelykyky ei ole kehittynyttä (Lindén 1981, Ludwig ym. 2006, Miettinen 2009.)

Heikkenevät jääolosuhteet haittaavat hylkeitä

Lämpenevien talvien kenties suurimpia kärsijöitä ovat hylkeet, joiden elämä on monessa suhteessa riippuvainen jääolosuhteista ja lumen määrästä. Harmaahylje eli halli synnyttää avojälle ja norppa jään päällä olevaan lumipesään. Jään puuttuessa harmaahylkeet, voivat synnyttää myös maalle, mutta tällöin kuutin selviäminen on heikompaa kuin jälle syntyneen. Norppien kuuttien ei arvioida juurikaan selviävän maalla, lähinnä petojen takia. Lumipesä tarjoaa noin 5 kilooselle kuutille suojan niin kylmyyttä kuin petoja vastaan. Tämä näkyy konkreettisesti Saimaalla, jossa uhanalaisen saimaannorpan pesintää on turvattu ihmisten tekemillä apukinoksilla ja keinopesillä huonojen jää- ja lumiolosuhteiden takia (Kunnasranta ym. 2022).

Myös itämerennorpan pesintää uhkaavat jäättömät ja lumettomat talvet. Vain Perämerellä arvioidaan ilmastoennusteiden valossa olevan jatkossa jäätä heikkoinakin vuosina. Lämpenevä ilmasto tulee vaikuttamaan negatiivisesti hylkeisiimme, etenkin, kun kevättalvet ovat lämmenneet maassamme muita vuodenaikoja voimakkaammin (Kunnasranta ym. 2021).

Metsälinnut leviävät pohjoisemmaksi lämpenemisen myötä

Ilmastonmuutos aiheuttaa metsälinnustossa yleisiä laajoja muutoksia. Eteläiset lajit yleistyvät ja pohjoiset väistyvät pohjoisemmiksi. Tutkimusten mukaan suomalaisten lintulajien populaatioiden tiheyden painopiste siirtyi keskimäärin 45 kilometriä pohjoiseen vuosina 1970–2010 (1,26 km/vuodessa). Pohjoisten lajien tiheys siirtyi enemmän (73 km) kuin eteläisten (27 km). Peräti 23 lajilla, kuten teerillä, suokukolla, viherpeipolla ja keltävästäräkällä, tiheyden painopiste siirtyi yli sata kilometriä pohjoiseen. Vain kahdella lajilla (hiirihaukka ja korppi) tiheyden painopiste siirtyi yli sata kilometriä etelään (Virkkala ja Lehikoinen 2014). Pohjoisista lajeistamme esimerkiksi kiiruna elää pelkästään tunturialueiden alpiinisilla kankailla. Mikäli metsäraja jatkaa nousuaan ja alpiiniset kankaat metsittyvät, tämä vaikuttaa lajiin erittäin negatiivisesti.

Hirvi ei kestä lämpöstressiä

Hirvi on pohjoisen kylmiin oloihin hyvin sopeutunut eläin, joka vuodenaikasta riippumatta voi olla altis lämpöstressille (Renecker & Hudson 1986). Leudot talvet ja kuumat kesät aiheuttavat sille fysiologisia haasteita. Kesäaikaan tämän on meillä todettu näkyvän hirven käytöksessä. Se etsii tiheistä ja korkeista metsiköistä itselleen lämpösuojia eikä liiku juuri ollenkaan. Tämä vaikuttaa hirven ravinnonhakuun, jonka se joutuu tekemään yöaikaan (Melin ym. 2014). Myös lämpimämpiin olosuhteisiin paremmin sopeutuneiden muiden hirvieläinten runsastuminen voi lisätä hirven kannalta haitallisesti ravintokilpailua. Hirvellä onkin jo havaittu ongelmia levinneisyysalueen eteläosissa. Ongelmana ovat muun muassa suurempi loismäärä, taudit ja vasatuoton heikkeneminen, mikä kertoo elinympäristön muuttumisesta hirvellen haitallisemmaksi.

Hirvieläinten liikkuminen ja leviäminen helpottuu

Pienten hirvieläimiemme voidaan osittain katsoa hyötyvän lämpenevistä talvista, etenkin mikäli tämä tarkoittaa pienempiä lumikerroksia ja lyhyempää lumisen ajan pituutta. Tällöin ravinnon saatavuus helpottuu, ja matalammassa hangessa liikkuminen kuluttaa huomattavasti vähemmän energiaa. Pienet hirvieläimet, etenkin valkohäntäpeura ja metsäkauris, voivat näin laajentaa elinalueitaan myös sinne, missä lumi niitä aiemmin rajoitti. Tältä osin ilmastonmuutoksen odotetaan helpottavan näiden lajien elämää Suomessa. Vaikutukset näkyvät etenkin

talven yli selviytymisessä ja levittäytymisessä uusille alueille. Myös talven yli ulottuvalla riistaruokinnalla on merkittävä vaikutus lajien selviytymiseen (Kauhala & Isomursu 2020, Matala ym. 2021).

Hirvi on yksi parhaiten syvässä lumessa liikkumiseen sopeutuneista pohjoisista lajeista. Senkin tiedetään vähentävän liikkumistaan merkittävästi lumen syvyyden kasvaessa. (Melin ym. 2023.) Lumen määrä vaikuttaa myös hirvien kesä- ja talvielinpiirien välillä tekemiin vaelluksiin, jotka alkavat yleisesti lumen kertymisen ja sulamisen mukaan). Lämpimät talvet muuttavat vaelluskäyttäytymistä tai poistavat sen tarpeen jopa kokonaan (Fieberg ym. 2008).

Vesilinnut reagoivat jäiden lähtöön ja veden laatuun

Yleisesti ottaen ilmastonmuutoksen vaikutuksista vesilintuihin tiedetään varsin vähän. Ilmaston muutoksen seurauksena kevät lämpenevät. Jäänlähdon aikaistuminen on yksi näkyvimmistä lämpenemisen seurauksista pohjoisella pallonpuoliskolla (Lopez ym. 2019). Jäänlähdon ja veden lämpenemisen aikaistuminen vaikuttavat oleellisesti vesiekosysteemeissä tapahtuviin fysiokemiallisiin ja biologisiin ilmiöihin, kuten vesirungon täyskierron ajoittumiseen ja perustuotannon käynnistymiseen (Woolway ym. 2020). Nämä muutokset heijastuvat ravintoketjun kautta myös vesilintuihin.

Jäidenlähtö vaikuttaa vesilintuihin myös suoraan. Kevätsulat ja avovesialueet määräävät ruokailualueiden esiintymisen ja laajuuden sekä ravinnon saatavuuden. Erityisesti aikaisin pesivät lajit mukautuvat hyvin jäänlähdon aikaistumiseen. Ne saapuvat pesimäjärville yhä aikaisemmin ja niiden pesintä alkaa yhä aikaisemmin, mutta pesintäaikataulussa tapahtuneet muutokset eivät heijastu negatiivisesti lisääntymistulokseen. Näyttää siis siltä, että aikaisin saapuvat ja pesivät lajit kuten telkkä ja sinisorsa pystyvät reagoimaan keväiden aikaistumiseen siten, että lisääntymistulos ei kärsi (Arzel ym. 2014, Pöysä 2019).

Jäiden lähtemisen ja muuttavien lintujen suhdetta on tutkittu mm. Parikkalan pitkäaikaisissa vesilintututkimuksissa. Näissä mukana olleista lajeista sinisorsa, telkkä ja tavi edustavat aikaisin pesiviä lajeja, haapana, tukkasotka ja mustakurkku-uikku myöhään pesiviä lajeja (Pöysä 2019). Kaikkien näiden lajien saapuminen tutkimusjärville on aikaistunut, eli vesilinnut näyttävät mukautuvan keväiden lämpenemiseen ja jäänlähdon aikaistumiseen. Pesinnän aloitusajankohta ei välttämättä joustaa samalla tavoin.

Myöhään pesivällä mustakurkku-uikulla jäänlähdon aikaistuminen näyttäisi heikentävän lisääntymismenestystä. Muilla lajeilla vastaavaa ei havaittu. Avoimilla paikoilla sijaitsevat mustakurkku-uikun pesät tulevat mahdollisesti helpommin ryöstetyksi erityisesti aikaisina keväinä. Saapumisen viivästyminen suhteessa jäänlähtöön sen sijaan ei vaikuttanut lisääntymismenestykseen millään tutkituista kuudesta lajista (Pöysä 2019).

Ilmaston lämpeneminen todennäköisesti voimistaa rehevöitymisen haitallisia vaikutuksia vesiekosysteemeissä (Moss ym. 2011). Rehevöitymisen ohella vesien tummuminen on laaja veden laatua heikentävä ilmiö, jota esiintyy kaiken tyyppisillä vesillä läpi pohjoisen pallonpuoliskon (Kritzberg ym. 2020, Blanchet ym. 2022). Vesien tummumisen on havaittu vaikuttavan vesiselkärangattomien määrään ja näin ollen vesilintujen ravintovaroihin (Arzel ym. 2020). Ilmastonmuutos lisää sadantaa ja valumavesien määrää, joten sen oletetaan voimistavan myös vesien tummumisprosessia (de Wit ym. 2016).

Monien Suomen sisävesillä pesivien vesilintujen kannat ovat taantuneet 1990-luvulta alkaen (Piha ym. 2023). Taantumisen syiksi on esitetty rehevöitymisestä aiheutuneita muutoksia vesiekosysteemeissä kuten vesien umpeenkasvua, vesilintujen ravintovaroihin vaikuttavaa veden laadun heikkenemistä ja särkikalojen runsastumisesta aiheutunutta ravintokilpailun voimistumista (Lehikoinen ym. 2019). Rehevöityminen ja umpeenkasvu uhkaavat monia vesilintuja. Vaikutuksia voidaan torjua kosteikkojen kunnostuksella sekä huomioimalla vesiensuojelu maa- ja metsätaloudessa.

5.2. Tulokas- ja vieraslajien leviäminen

Villisika

Villisika on tulokaslaji, joka on levinnyt Suomeen kaakkoisrajan yli Venäjältä. Osa villisikakan-
nastamme on alkuperältään myös tarhakarkulaisia. Suomessa oli tammikuun 2023 alussa keskimäärin 2 556 villisikaa. Villisikoja on eniten itäisen Uudenmaan ja Kaakkois-Suomen alueilla, mutta yksittäisiä eläimiä on tavattu aina Torniossa saakka. Villisikakannan kasvutrendi on viime aikoina kääntynyt laskuun aktiivisen metsästyksen ansiosta. Lämpenevä ilmasto auttaa villisikaa selviytymään talven yli, joten on oletettavissa, että laji jatkaa tulevaisuudessa runsastumistaan. Lisäksi villisika hyötyy riistaruoкинnoista. Esimerkiksi Virossa ja Puolassa ruokinnalla on todettu olevan jopa niin suuri talvikuoilleisuutta vähentävä vaikutus, että se kumoaa kylmän talven negatiiviset vaikutukset (Oja ym. 2014, Jezierski 1977).

Kultasakaali

Kultasakaali on hyvin nopeasti leviävä ja helposti uuteen ympäristöön sopeutuva tulokaslaji. Sakaali on alun perin Euraasialainen laji, joka on kotoisin Kaukasuksen seuduilta. Laji on levinnyt laajalti ympäri Eurooppaa ja kanta kasvaa koko ajan. Jos ilmasto lämpenee ja talvet leudontuvat, se saattaa tulla toimeen Suomessakin. Suomessa kultasakaali luokitellaan tulokaslajiksi. Ensimmäinen kultasakaali havaittiin maassamme 2018. Vuosina 2018–2022 on tehty yhteensä kuusi varmistettua havaintoa eri puolilta Suomea. Laji kuuluu ilmastonmuutoksen voittajiin, sillä lumi ja talvi estävät sen leviämistä merkittävästi ja Suomi kuuluu sen levinneisyyden pohjoisrajoihin (Kojola ym. 2023).

Supikoira

Supikoira on maassamme haitallinen vieraslaji. Se on alun perin kotoisin Kaakkois-Aasiasta ja Suomeen supikoira tuotiin tarhoihin turkiseläimeksi. Nykyinen luonnonkanta on tarhakarkulaisten lisäksi saanut alkunsa Suomeen itärajan yli entisen Neuvostoliiton alueelta levittäytyneistä istutetuista yksilöistä. Tällä hetkellä supikoira on yleinen koko maassa aivan pohjoisinta Lappia lukuun ottamatta. Jälkeläisten lukumäärä vaihtelee edeltäneen talven ankaruuden ja ravinnon määrän suhteen. Supikoira nukkuu useimmiten talviunta, mutta leutoina talvina se voi myös jättää talviunen jopa kokonaan väliin. On perusteltua olettaa, että ilmaston lämpeneminen saattaa tulevaisuudessa edistää lajin leviämistä edelleen entistä pohjoisemmaksi sekä edelleen tehostaa sen lisääntymistä ja runsastumista etelässä (Helle & Kauhala 1991).

Valkohäntäpeura

Valkohäntäpeura on vieraslaji, joka on siirretty Pohjois-Amerikasta Suomeen 1930-luvulla. Sen kannan alkuvaiheen levittäytymisessä on näkynyt hakeutuminen kohti vähälumisempia

rannikkoalueita. Runsastumiseen viime vuosikymmeninä ovat vaikuttaneet suotuisasti myös leudot talvet (Matala 2020). Valkohäntäpeura todennäköisesti edelleen levittäytyy uusille alueille ja runsastuu, kun talvet leudontuvat, paksulumipeitteiset alueen pienentyvät ja lumipeitteinen aika lyhentyy.

5.3. Näkökulmia sopeutumiseen ja ihmisen rooliin

Ihminen ei voi auttaa riistalajeja sopeutumaan ilmastossa tapahtuviin muutoksiin, koska nämä prosessit tapahtuvat evoluution ja luonnonvalinnan seurauksena. Sen sijaan ihmisellä on merkittävä rooli siinä, ettei tilannetta pahenneta niiden lajien osalta, jotka kärsivät muutoksesta eniten.

Esimerkiksi valkean suoja-asunsa lumettomuuden takia menettävä riekko kärsii ilmaston lämpenemisestä merkittävästi, mutta historiallisesti lajin häviäminen suurista osista Suomea tapahtui soiden ojitusten takia (Melin ym. 2020). Kun soita on ennallistettu, riekon on havaittu palanneen soille ja pesineen niillä onnistuneesti (Osmala 2012). Näin ihmisen luontoa ennallistavat toimet auttavat lajeja, jotka jo nyt kärsivät ilmastomuutoksen ongelmista. Riekko on ollut rauhoitettuna eteläisessä Suomessa jo vuosikymmeniä, mikä on ollut perusteltua.

Saimaannorppakanta on alhainen ihmistoiminnan seurauksena. Saimaannorpan pesintä on viime vuosina turvattu keinopesiä rakentamalla, sillä lumiolosuhteet ovat estäneet lajille ominaisten lumipesien rakentamisen. Pitkässä juoksussa saimaannorppakannasta toivotaan niin vahvaa, että se kestää muuttuvan ja vaihtelevan ilmaston vaikutukset.

Vesilintuihin vaikuttavat jäiden lähtemisajan vaihtelun lisäksi merkittävästi vesien laatu ja pedot. Ojitusten aiheuttama ravinnekuorma on vesien laadun kannalta merkittävä tekijä. Kosteikot ja niiden ennallistaminen ovat avainasemassa poikueiden elinympäristöjen palauttamisessa. Lisäksi etenkin vieraspientöjen kuten supikoiran ja minkin pyynti auttaa merkittävästi vesilinnustoa (Nordström 2003, Banks ym. 2007, Salo 2009).

Talven leudontumisesta hyötyvät tällä hetkellä tietyt lajit kuten valkohäntäkauris ja villisika, jotka hyötyvät myös talviaikaan tapahtuvasta ruokinnasta. Mittavasta riistaruokinnasta tai sen vaikutuksista ei ole kattavia kotimaisia tutkimuksia, mutta on selvää, että se edesauttaa näiden lajien selviämistä talven yli. Ruokintojen vaikutuksista muihin lajeihin tai niiden talvikuolleisuutta vähentävistä kerrannaisvaikutuksista ei ole toistaiseksi kattavia tutkimuksia.

Ihminen joutuu väistämättä katsomaan omaa toimintaansa suhteessa haittoihin, joita muuttuva ilmasto riistalajeille aiheuttaa. Näihin toimiin kuuluvat niin elinympäristöjen kunnostukset, haitallisten vieraslajien poistaminen, riistaruokinnan käytännöt kuin metsästysrajoitusten käyttöönotto silloin, kun se on taantuvien lajien kohdalla perusteltua.

6. Varautuminen ja avainviestit

6.1. Vaikutukset pähkinäkuoressa

Suomen ilmasto on lämmennyt maapallon keskiarvoa nopeammin

- Talvi on lämmennyt vuodenajoista eniten ja Pohjois-Suomi alueistamme eniten.
- Lämpeneminen aiheuttaa kasvillisuusvyöhykkeiden siirtymistä pohjoisemmaksi, kasvukauden pidentymistä, lämpösummakertymän kasvamista sekä jää- ja lumipeitteisen ja routaisen ajan lyhentymistä.
- Ilmastonmuutos kasvattaa myös sään ääri-ilmiöiden kuten kuivuuden ja tulvien riskiä.

Vaikutukset koskevat jokaista luonnonvarasektoria

- **Metsissä** hyönteisten ja sienitautien aiheuttama puustotuhojen riski on kohonnut ja tulee kohoamaan. Myös tulokas- ja vieraslajien aiheuttamat riskit kasvavat.
- Kuivat ja helteiset kesät kasvattavat metsäpalojen sekä seuraustuhojen riskiä. Lämpimät talvet, jolloin maassa ei ole routaa, lisäävät myrskytuhojen riskiä, koska puut kaatuvat helpommin.
- Lämpimät talvet haastavat puunkorjuuta etenkin turvemailla, kun roudaton maa ei kannata metsäkoneita.
- Lämpeneminen ja pidentyvä kasvukausi lisäävät puuston kasvua sekä puulajikirjoa, kun aiemmin etelään rajoittuneet jalot lehtipuulajit voivat menestyä pohjoisemmassa.
- **Vesistöissä** lämpötilojen nouseminen on haitallista erityisesti lohikaloille. Vesiviljelylle pitkät hellejaksot ovat erittäin haitallisia, koska ne voivat lisätä kalojen kuolleisuutta.
- Jääpeitteisen ajan lyhentymisen vaikeuttaa jään päältä tapahtuvaa talvikalastusta, mutta voi auttaa merien troolikalastusta.
- Hellejaksot voivat kuivattaa pienten purojen kutualueita. Myös lisääntyvä talvinen saateisuus ja valunta aiheuttavat kutualueille haittaa.
- Kalatautien, kuten vesihomeen, riski kasvaa, kun niille otollinen tartunta-aikaikkuna venyy vesien lämpenemisen myötä.
- **Maa- ja puutarhataloudessa** erityisesti kuivuus heikentää satotasoja pelloilla, lisää kastelupainetta vihannestuotannossa ja kasvattaa yleisesti satotuhojen riskiä.
- Tuhohyönteisten ja kasvitautien aiheuttamat ongelmat kasvavat.
- Kasvien menestyminen Suomen talvessa paranee ja lajikkeiden määrä lisääntyy.
- Eteläiset lajit, tulokaslajit ja vieraslajit lisääntyvät ja leviävät pohjoisemmaksi.
- **Riistalajeistamme** lumesta riippuvaiset lajit kärsivät lumettomaan aikaan, jolloin ne ovat valkoisia lumetonta maata vasten (ei suojaväriä).
- Jääajan lyhentymisen on erittäin haitallista hylkeillemme, jotka synnyttävät jäälle.
- Tulokas- ja vieraslajit kuten kultasakaali, villisika ja valkohäntäpeura voivat laajentaa elinaluettaan, kun lumipeitteinen aika lyhenee.
- Kylmään sopeutuvat lajit, kuten hirvi, kärsivät lämpöstressistä.

6.2. Avainviestit varautumisesta ja sopeutumisesta

Metsätalous

Metsätalouden on varauduttava ja hyväksyttävä puustotuhojen riskien kasvaminen. Tämä koskee erityisesti kuusta uhkaavaa kirjanpainajaa sekä kuivilla kasvupaikoilla mäntyä ahdistavia okakaarnakuoriais-hyönteistä ja havuparikas-sientä. Myös juurikääpien riski tulee kasvamaan, ja niiden torjuntaan tulee jatkossakin panostaa. Varautuminen kasvavia tuhoriskejä vastaan pitää sisällään mm. metsien terveyden, monimuotoisuuden ja kasvukunnon ylläpitoa, mikä tarkoittaa esimerkiksi puiden kasvattamista korostetummin vain niille optimaalisimmilla kasvupaikoilla sekä sekametsinä siellä, missä kasvupaikka siihen taipuu. Peitteistä metsänkasvatusta on syytä suosia sopivilla kohteilla, erityisesti rehevissä suometsissä, paremman vesienhallinnan ja hiilensidonnan takia. Samalla on tutkittava uudistamis- ja tuhoriskejä peitteisessä metsänkasvatuksessa. Kuusen kasvattaminen kuivilla ja männyille paremmin sopivilla kasvupaikoilla ei muuttuvassa ilmastossa ole suotavaa.

Puunkorjuun ja logistiikan tulee sopeutua roudan ja lumen puutteeseen, eli yhä kapeampaan aikaikkunaan, jolloin puunkorjuu onnistuu heikosti kantavilla mailla. Tämä tarkoittaa logistiikan tarkkaa suunnittelua, vaikeakulkuisten kohteiden ja heikosti kantavien maiden tarkempaa tunnistamista sekä kulkukelpoisuuden mallintamista. Puutavaran varastointia ja sitä sääteleviä lakipykäläiä tulee tarkastella säännöllisesti kasvavan hyönteistuhoriskin takia. Taimitarhat joutuvat panostamaan aiempaa enemmän mahdollisten uusien tuholaisten tunnistamiseen ja torjuntaan sekä kuivuuden lisääntyessä myös kastelujärjestelmiin. Yleisesti metsäneuvonnassa sekä metsien käyttöä koskevissa laeissa ja suosituksissa tulee ottaa huomioon muuttuvan ilmaston vaikutukset ja etenkin tuhoriskit.

Metsien monimuotoisuuden parantaminen on tärkeä osa ilmastomuutokseen sopeutumista, sillä monimuotoinen metsien käsittely edistää riskeihin varautumista. Metsäekosysteemi, joka on yksipuolinen ja monimuotoisuudeltaan vähäinen, on tuhoriskiltään korkeampi. Monimuotoisuuden vaaliminen edistää myös metsien hiilensidontaa ja estää lajikatoa.

Kalatalous

Kasvatavat lämpötilat haittaavat erityisesti lohikaloja. Haittoja ja riskejä luonnonkaloille voidaan vähentää kalojen elinympäristöjä kunnostamalla ja ylläpitämällä, vaellusesteitä poistamalla sekä kiinnittämällä huomiota valuma-alueiden kunnostamiseen, joka parantaa ravinteiden ja humuksen pidätyskykyä. Entistä tarkempi kalastuskauden aikainen säätely voi tulla tarpeeseen hellejaksojen aikana.

Talvikalastuksen olosuhteet tulevat muuttumaan jääpeitteisen ajan yhä huvetessa. Tämä heikentää jäältä tapahtuvaa kalastusta erityisesti sisävesillä. Esimerkiksi merialueiden troolikalastusta heikkenevä jäättilanne voi hyödyntää.

Kalankasvatuksen teknologiset ratkaisut voivat auttaa ilmastomuutokseen sopeutumisessa (esim. kiertovesikasvatus), mutta siitä huolimatta hellejaksot tulevat haastamaan luonnonaltaissa ja uomissa tapahtuvaa vesiviljelyä merkittävästi. Suomessa voitaisiin tuoda tuotantoon uusia, paremmin lämpöä kestäviä lajeja, kuten ahven ja kuha. Toistaiseksi niiden kaupallinen kasvatusta on osoittautunut sekä teknisesti että taloudellisesti haastavaksi. Kun olosuhteet muuttuvat haasteellisemmiksi, ympäristöolosuhteiden monitorointi ja vesiviljelytuotannon

tarkempi sijainninhjaus on tarpeen. Sään ääri-ilmiöistä seuraavat vedenlaatumuutokset voivat olla este avovedessä tapahtuvalle vesiviljelylle, jos uusia ympäristölupia ei myönnetä. Jotta kotimaisen kalantuotannon toimintaedellytykset säilyvät, on tärkeää jatkaa kuormituksen vähentämiseen tähtäviä toimia ja tuoda esiin kuormituslähteiden kokonaisvaltaisen tarkastelun tarpeellisuutta. Valintajalostuksella voidaan sopeuttaa kaloja muuttuviin ympäristöoloihin luonnonvalinnan kaltaisesti, mutta nopeammassa tahdissa.

Maatalous ja puutarhanhoito

Kylvöt ovat aikaistuneet parilla viikolla, ja kasvukauden pidennyttyä viljelijät ovat monipuolistanee viljelykasvivalikoimaa. Pidentynyt kasvukausi on mahdollistanut myös myöhäisempien ja satoisampien lajikkeiden käyttöönoton. Kastelua tarvitaan toistuvien ja tulevaisuudessa todennäköisesti voimistuvien kuivuushaittojen torjuntaan. Juuresten nostoa voidaan joutua entisestään myöhentämään syyslämpötilojen noustessa. Taudinkestävyyttä tulee parantaa kotimaisessa lajikeaineistossa. Yksittäisten kasvintuhoojien ja sään ääri-ilmiöiden aiheuttamia riskejä voidaan vähentää merkittävästi monipuolistamalla viljelyä sekä lajien että menetelmien tasolla.

Riistatalous

Riistalajien osalta varautumisessa ja sopeutumisessa korostuu ihmisen toiminta. Ihmisellä on merkittävä rooli siinä, ettei tilannetta pahenneta niiden lajien osalta, jotka kärsivät muutoksesta eniten. Avainasemassa ovat elinympäristöjen kuten soiden ja kosteikkojen ennallistaminen ja kunnostaminen.

Soiden ennallistaminen auttaa mm. ilmastonmuutoksesta kärsivää riekkoa, kun taas kosteikkojen ennallistamisesta hyötyvät lukuisat vesilinnut. Apukinosten kolaaminen jäälle auttaa huonosta lumitilanteesta kärsivää uhanalaista saimaannorppaa. Metsästysrajoituksia tulee edelleen pitää keinona vähentää ilmastonmuutoksesta kärsiviin lajeihin kohdistuvaa metsästyspainetta. Esimerkiksi riekko on perustellusti ollut rauhoitettuna eteläisessä Suomessa jo vuosikymmeniä. Rajoitusten ohella vieraspienpetojen aktiivisella poistopyynnillä voidaan merkittävästi vähentää niiden aiheuttamaa haittaa esim. vesilinnuille.

Riistaruoikinta hyödyttää tällä hetkellä lajeja, joita talvi muuten rajoittaisi. Lisäksi ruokinnoilla tavataan lukuisia muitakin lajeja. Ruokinnan vaikutuksesta kohdelajeihin sekä kerrannaisvaikutuksista muuhun luontoon ei ole kattavia tutkimuksia, mutta talvien yhä leudontuessa ruokinnan perusteista ja vaikutuksista tulisi saada tutkimustietoa.

Tietotarpeista

Tutkimus on keino selvittää ja ennakoida tulevia riskejä ja vastata niihin. Ilmastonmuutoksen vaikutukset luonnossamme ovat verrattain nopeita, mistä syystä tutkimustiedon käytäntöön vientiin tarvitaan tutkijoiden, käytännötoimijoiden ja päättäjien aktiivista tiedonvaihtoa. Tiedonvaihtoa tulee edistää, sillä ilmastonmuutoksen vaikutukset luonnossamme ovat verrattain nopeita. Tämä kaikki korostaa paitsi avoimen tutkimuksen, niin myös tutkimukseen pohjautuvan päätöksenteon tärkeyttä. Ilmastonmuutoksen ja sään ääri-ilmiöiden vaikutuksia ei voida torjua, jos meillä ei ole uusinta tietoa tai jos tätä tietoa ei saada käytäntöön.

Viitteet

Johdanto

- Aalto, J. & Venäläinen, A. (toim.) 2021. Climate change and forest management affect forest fire risk in Fennoscandia. Finnish Meteorological Institute Reports :3, Helsinki 156 p.
- Boelman, N.T., Liston, G.E., Gurarie, E., Meddens, A.J.H., Mahoney, P.J., Kirchner, P.B., Bohrer, G., Brinkman, T.J., Cosgrove, C.L., Eitel, J.U.H., Hebblewhite, M., Kimball, J.S., LaPoint, S., Nolin, A.W., Højlund Pedersen, S., Prugh, L.R., Reinking, A.K. & Vierling, L.A. 2019. Integrating snow science and wildlife ecology in Arctic-boreal North America. *Environmental Research Letters* 14(1). <https://doi:10.1088/1748-9326/aaec1>
- Johansson, M.M., Pellikka, H., Kahma, K.K. & Ruosteenoja, K. 2014. Global sea level rise scenarios adapted to the Finnish coast. *Journal of Marine Systems*, 129: 35–46. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2012.08.007>
- Linkosalo, T., Häkkinen, R., Terhivuo, J., Tuomenvirta, H. & Hari, P. 2009. The time series of flowering and leaf bud burst of boreal trees (1846–2005) support the direct temperature observations of climatic warming. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 149(3–4): 453–461. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.09.006>
- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, T., 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti.
- Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H.M., Gregow, H., Tuomenvirta, H., Lahtinen, M. & Laaksinen, A. 2015. Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 29: 1521–1529. <https://doi.org/10.1007/s00477-014-0992-2>
- Rantanen, M., Karpechko, A.Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T. & Laaksonen, A. 2022. The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Communications Earth & Environment* 3: 168 <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>
- Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Kämäräinen, M. & Pirinen, P. 2016. Terminen kasvukausi lämpenevässä ilmastossa. *Terra* 128: 13–15.
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen, M. 2016. Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica*, 51: 17–50. https://www.geophysica.fi/pdf/geophysica_2016_51_1-2_017_ruosteenoja.pdf
- Sallinen, A., Akanegbu, J., Marttila, H. & Tahvanainen, T. 2023. Recent and future hydrological trends of aapa mires across the boreal climate gradient. *Journal of Hydrology* 617, part B. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216942201592X>
- Terhonen, E. & Melin, M. (toim.) 2023. Metsätuhot vuonna 2022. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 48/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 98 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-694-8>

Venäläinen, A. ym. 2020. Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: A literature review. *Global Change Biology* 26: 4178–4196.
[DOI: 10.1111/gcb.15183](https://doi.org/10.1111/gcb.15183)

Vaikutukset metsiin ja metsätalouteen

Aarnio, L., Ylioja, T., Melin, M., Siitonen, J., Kokkonen, J. & Pätäri, J. 2023. Kuusentähtikirjaaja kuivatti kuusen latvoja. Julkaisussa: Terhonen, E. & Melin, M. (toim.) 2023. Metsätuhot vuonna 2022. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 48/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 78–84. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-694-8>

Ala-Illomäki, J., Högnäs, T., Lamminen, S. & Siren, M. 2011. Equipping a conventional wheeled forwarder for peatland operations, *International Journal of Forest Engineering* 22: 7–13.

Asikainen, A., Viiri, H., Neuvonen, S., Nevalainen, S., Lintunen, J., Laturi, J., Uusivuori, J., Venäläinen, A., Lehtonen, I. & Ruosteenoja, K. 2019. Ilmastonmuutos ja metsätuhot – analyysi ilmaston lämpenemisen seurauksista Suomen osalta. Suomen ilmastopaneelin raportti 1/2019

Blumenstein, K., Bußkamp, J., Langer, G. & Terhonen, E. 2022. Diplodia tip blight pathogen's virulence empowered through host switch. *Frontiers in Fungal Biology* 3: 939007.
<https://doi.org/10.3389/ffunb.2022.939007>

Fält-Nardmann, J. 2018. Lepidopteran forest defoliators. In a changing climate: performance in different life-history stages, and range expansion. Väitöskirja. Turun yliopiston julkaisu – Annales Universitatis Turkuensis. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-29-7389-7>

Griess, V.C., Acevedo, R., Härtl, F., Staupendahl, K. & Knoke, T. 2012. Does mixing tree species enhance stand resistance against natural hazards? A case study for spruce. *Forest Ecology and Management* 267: 284–296. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.11.035>

Henttonen, H.M., Nöjd, P. & Mäkinen, H. 2017. Environment-induced growth changes in the Finnish forests during 1971–2010 – An analysis based on National Forest Inventory. *Forest Ecology and Management* 386: 22–36.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.11.044>

Hlásny, T., Zimová, S., Merganičová, K., Štěpánek, P., Modlinger, R. & Turčáni, M. 2021. Devastating outbreak of bark beetles in the Czech Republic: drivers, impacts, and management implications. *Forest Ecology and Management* 490.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119075>

Huuskonen, S, Lahtinen, T, Miina J, Uotila K, Bianchi S, Niemistö P. 2023. Growth Dynamics of Young Mixed Norway Spruce and Birch Stands in Finland. *Forests*. 14(1):56.
<https://doi.org/10.3390/f14010056>

Kaitera, J., Kokko, A. & Piri, T. 2022. Ylikiimingissä tehtiin tähän mennessä pohjoisin tyvitervas-tautihavainto. Julkaisussa: Terhonen, E. & Melin, M. (toim.) 2023. Metsätuhot vuonna 2022. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 48/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 78–84. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-694-8>

- Koivula, M., Koivula, H., Melin, M., Nuorteva, H., Vihervuori, L., Ylioja, T., Viiri, H. & Velmala, S. 2022. Kotimaisia valtapuulajeja uhkaavat vieraslajihyönteiset – pronssijalosoukko, siperianmäntykehrääjä ja taigamonikirjaaja. Metsätieteen aikakauskirja 2022-10729. <https://doi.org/10.14214/ma.10729>
- Kokkila, M. 2013. Ilmastonmuutoksen vaikutus puunkorjuun talvikauden korjuuoloihin hienojakoisella kivennäismaalla. Metsätieteen aikakauskirja 1/2013: 5–18. <https://doi.org/10.14214/ma.6028>
- Korhonen, K.T., Ahola, A., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Hotanen, J.-P., Ihalainen, A., Melin, M., Pitkänen, J., Rätty, M., Sirviö, M. & Strandström M. 2021. Forests of Finland 2014–2018 and their development 1921–2018. *Silva Fennica* 55(5): 10662. <https://doi.org/10.14214/sf.10662>
- Larsson, R., Menkis, A. & Olson, Å. 2021. *Diplodia sapinea* in Swedish forest nurseries. *Plant Protection Science* 57: 66–69. <https://doi.org/10.17221/68/2020-PPS>
- Lee, D., Holmström, E., Hynynen, J., Nilsson, U., Korhonen, K.T. & Westerlund, B. 2023. Current state of mixed forests available for wood supply in Finland and Sweden, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 38:(7–8): 442–452. <https://doi.org/10.1080/02827581.2023.2259797>
- Lehti, P. 2021. Lehtinunna (*Lymantria dispar*) ja havununnan (*Lymantria monacha*) esiintymisen Etelä-Suomessa. Itä-Suomen yliopisto. Pro gradu -tutkielma, 35 s. <http://urn.fi/urn:nbn:fi:uef-20210863>
- Lehto, T. & Zwiasek, J.J. 2011. Ectomycorrhizas and water relations of trees: a review. *Mycorrhiza* 21: 71–90. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0348-9>
- Lehtonen, I., Venäläinen, A., Kämäräinen, M., Asikainen, A., Laitila, J., Anttila, P., & Peltola, H. 2019. Projected decrease in wintertime bearing capacity on different forest and soil types in Finland under a warming climate, *Hydrology and Earth System Sciences* 23: 1611–1631. <https://doi.org/10.5194/hess-23-1611-2019>
- Lindberg, H. & Vanha-Majamaa, I. 2022. Metsäpalot Fennoskandiassa – taustaa ja vuoden 2021 tilanne Suomessa. Julkaisussa: Melin, M. & Terhonen, E. (toim.) 2022. Metsätuhot vuonna 2021. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 38/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 73–77. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-423-4>
- Luke 2014. Finnish Forest Research Institute: Finnish Statistical Yearbook of Forestry, Tampereprint, Tampere, 428 pp. [Finnish Forest Research Institute is now part of Luke]
- Matala, J., Nikula, A., Pellikka, J., Aikio, S., Forsman, J., Henttonen, H., Holmala, K., Huitu, O., Jauni, M., Kojola, I., Melin, M., Paasivaara, A. & Pusenius, J. 2021. Hirvieläinten vaikutuksia yhteiskuntaan, elinkeinoihin ja ekosysteemiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 38/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 142 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-217-9>
- Nakládal, O. & Brinkeová, H. 2015. Review of historical outbreaks of the nun moth with respect to host tree species. *Journal of Forest Science* 61(1): 18–26. <http://dx.doi.org/10.17221/94/2014-JFS>

- Netherer, S., Matthews, B., Katzensteiner, K., Blackwell, E., Henschke, P., Hietz, P., Pennerstorfer, J., Rosner, S., Kikuta, S., Schume, H. & Schopf, A. 2015. Do water-limiting conditions predispose Norway spruce to bark beetle attack? *New Phytologist* 205(3): 1128–1141. <https://doi.org/10.1111/nph.13166>
- Neuner, S., Albrecht, A., Cullmann, D., Engels, F., Griess, V.C., Hahn, W.A., Hanewinkel, M., Härtl, F., Kölling, C., Staupendahl, K. & Knoke, T. 2015. Survival of Norway spruce remains higher in mixed stands under a dryer and warmer climate. *Global Change Biology* 21: 935–946. <https://doi.org/10.1111/gcb.12751>
- Paul, C., Brandl, S., Friedrich, S., Falk, W., Härtl, F. & Knoke, T. 2019. Climate change and mixed forests: how do altered survival probabilities impact economically desirable species proportions of Norway spruce and European beech? *Annals of Forest Science* 76: 14. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0793-8>
- Penttilä, T. Laiho, R. & Mäkipää, R. 2023. Suometsien ilmastoviisas metsänhoito. Tietokortti. Luonnonvarakeskus. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20231108143548>
- Poimala, A. & Terhonen, E. 2023. Katsaus taimitarhatauteihin – ja tuholaisiin. Julkaisussa: Terhonen, E. & Melin, M. (toim.) 2023. Metsätuhot vuonna 2022. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 48/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 44–45.
- Poteri, M. & Lilja, A. 2013. Paakkutaimien tautien integroitu torjunta metsätaimiarhoilla. Metsäntutkimuslaitoksen erillisjulkaisut 914. 36 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2427-6>
- Rissanen, K. Hölttä, T., Bäck, J., Rigling, A., Wermelinger, B. & Gessler, A. 2021. Drought effects on carbon allocation to resin defences, and on resin dynamics in old-grown Scots pine. *Environmental and Experimental Botany* 185. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104410>
- Routa, J. & Huuskonen, S. (toim.) 2022. Jatkuvaiteinen metsänkasvatus: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 132 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-427-2>
- Ruotsalainen, S., Himanen, K., Viherä-Aarnio, A., Aarnio, L., Haapanen, M., Luoranen, J., Matala, J., Riikonen, J., Uotila, K. & Ylioja, T. 2022. Puulajivalikoiman monipuolistaminen metsänviljelyssä : Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 24/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 135 s.. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-394-7>
- Saksa, T. (toim.) 2020. Ilmastonmuutos ja metsänhoito: Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista metsänhoitoon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 98/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 48 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-115-8>
- Schönauer, M., Prinz, R., Väätäinen K., Astrup, R., Pszenny D., éeman H., Jaeger D. 2022. Spatio-temporal prediction of soil moisture using soil maps, topographic indices and SMAP retrievals. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 108, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102730>
- Seidl, R. Thom. D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M.J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T.A. & Reyer, C.P.O. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change* 7: 395–402 <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>

- Senf, C., Buras, A., Zang, C.S., Rammig, A. & Seidl, R. 2020. Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nature Communications* 11: 6200. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19924-1>
- Sjöström, J., Plathner, F.V. & Granström, A. 2019. Wildfire ignition from forestry machines in boreal Sweden. *International Journal of Wildland Fire* 28: 666–677.
- Terhonen E. 2023. First report of *Diplodia* tip blight on Scots pine in Finland. *Silva Fennica* 56: 22008. <https://doi.org/10.14214/sf.22008>
- Terhonen, E. & Melin, M. (toim.) 2023. Metsätuhot vuonna 2022. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 48/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 98 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-694-8>
- Terhonen, E. Langer, G.J., Bußkamp, J., Răscuțoi, D.R. & Blumenstein, K. 2019. Low Water Availability Increases Necrosis in *Picea abies* after Artificial Inoculation with Fungal Root Rot Pathogens *Heterobasidion parviporum* and *Heterobasidion annosum*. *Forests* 10(1): 55. <https://doi.org/10.3390/f10010055>
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S. & Mosseler, A. 2009. Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 43. 67 p.. <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-43-en.pdf>
- Venäläinen, A. Lehtonen, I., Laapas, M., Ruosteenoja, K., Tikkanen, O.-P., Viiri, H., Ikonen, V.-P. & Peltola, H. 2020. Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: A literature review. *Global Change Biology* 26: 4178–4196. DOI: [10.1111/gcb.15183](https://doi.org/10.1111/gcb.15183)
- Ylioja, T., Ahtikoski, A., Anttila, P., Haikarainen, S., Honkaniemi, J., Laitila, J., Melin, M., Piri, T. & Väätäinen, K. 2021. Metsätuholain arvioinnin jatkoselvitys : Kuorellisen puutavaran poiskuljetus ja männiköiden kantokäsittely turvemaidilla. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 23/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 77 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-183-7>
- Ylioja, T. 2022. Okakaarnakuoriaiset olivat osasyllisiä mäntyjen kuolemiseen. Julkaisussa: Melin, M. & Terhonen, E (toim.) 2022. Metsätuhot vuonna 2021. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 38/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 62–64. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-694-8>

Vaikutukset vesistöissä ja kalataloudessa

- Ahmed, N. & Turchini, G.M. 2021. Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation. *Journal of Cleaner production* 297: 126604.
- Ahola, M. et.al. 2021. Climate change in the Baltic Sea: 2021 fact sheet. HELCOM.
- Anttila K, Dhillon RS, Boulding EG, Farrell AP, Glebe BD, Elliott JAK, Wolters WR & Schulte PM 2013. Variation in temperature tolerance among families of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) is associated with hypoxia tolerance, ventricle size and myoglobin level. *Journal of Experimental Biology* 216: 1183–1190. <https://doi.org/10.1242/jeb.080556>.

- Bricknell, I.R., Birkel, S.D., Brawley, S.H., van Kirk, T., Hamlin, H.J., Capistrant-Fossa, K., Huguenard, K., van Walsum, G.P., Liu, Z.L., Zhu, L.H., Grebe, G., Taccardi, E., Miller, M., Preziosi, B.M., Duffy, K., Byron, C.J., Quigley, C.T.C., Bowden, T.J., Brady, D., Beal, B.F., Sappati, P.K., Johnson, T.R. & Moeykens, S. 2021. Resilience of cold water aquaculture: a review of likely scenarios as climate changes in the Gulf of Maine. *Reviews in Aquaculture* 13(1): 460–503. <https://doi.org/10.1111/raq.12483>
- Calboli, F., Koskinen, H., Nousiainen, A., Fraslin, C., Houston, R.D. & Kause, A. 2022. Conserved QTL and chromosomal inversions affect resistance to columnaris disease in two rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) populations. *G3: Genes, Genomes, Genetics* 12(8): jkac137. <https://doi.org/10.1093/g3journal/jkac137>
- Calboli, F.C.F., Iso-Touru, T., Bitz, O., Fischer, D., Nousiainen, A., Koskinen, H., Tapio, M., Tapio, I. & Kause, A. 2023. Genomic selection for survival under naturally occurring *Saprolegnia* oomycete infection in farmed European whitefish *Coregonus lavaretus*. *Journal of Animal Science*, in press. skad333, <https://doi.org/10.1093/jas/skad333>
- Fraslin, C., Dechamp, N., Bernard, M., Krieg, F., Hervet, C., Guyomard, R., Esquerré, D., Barbieri, J., Kuchly, C., Duchaud, E., Boudinot, P., Rochat, T., Bernardet, J.-F. & Quillet, E. 2018. Quantitative trait loci for resistance to *Flavobacterium psychrophilum* in rainbow trout: effect of the mode of infection and evidence of epistatic interactions. *Genetics Selection Evolution* 50: 60. <https://doi.org/10.1186/s12711-018-0431-9>
- Fraslin, C., Koskinen, H., Nousiainen, A., Houston, R.D. & Kause, A. 2022. Genome-wide association and genomic prediction of resistance to *Flavobacterium columnare* in a farmed rainbow trout population. *Aquaculture* 557: 738332. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738332>
- Frölicher, T.L., Fischer, E.M. & Gruber, N. 2018. Marine heatwaves under global warming. *Nature* 560: 360–364. [doi: 10.1038/s41586-018-0383-9](https://doi.org/10.1038/s41586-018-0383-9)
- Gamperl, A.K., Zrini, Z.A. & Sandrelli, R.M. 2021. Atlantic salmon (*Salmo salar*) cage-site distribution, behavior, and physiology during a Newfoundland heat wave. *Frontiers in Physiology* 12: 719594.
- Gilbert, M.J.H., Rani, V., McKenzie, S.M. & Farrell, A.P. 2019. Autonomic cardiac regulation facilitates acute heat tolerance in rainbow trout: in situ and in vivo support. *Journal of Experimental Biology* 2: 222(Pt 9) 194365. [doi: 10.1242/jeb.194365](https://doi.org/10.1242/jeb.194365). [PMID: 31015284](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31015284/).
- Gonen, S., Tillmann, J.B. & Amber, F.G. 2024. The genomic architecture of high temperature tolerance in a year class of Atlantic Salmon. *Aquaculture* 578: 15. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740020>
- Harvey, B., Soto, D., Carolsfeld, J., Beveridge, M. & Bartley, D.M. 2016. Planning for aquaculture diversification: the importance of climate change and other drivers. In *FAO Technical Workshop*. pp. 23–25.
- Ignatz, E.H., Sandrelli, R.M., Vadboncoeur, É, Zanuzzo, F.S., Perry, G.M.L., Rise, M.L., Gamperl, A.K. 2023. The Atlantic salmon's (*Salmo salar*) incremental thermal maximum is a more relevant and sensitive indicator of family-based differences in upper temperature tolerance than its critical thermal maximum. *Aquaculture* 574: 739628. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739628>.

- Islam, M., Jakiul, D., Kunzmann, A. & Slater M.J. 2022. Responses of aquaculture fish to climate change-induced extreme temperatures: A review. *Journal of the World Aquaculture Society* 53(2): 314–366.
- Janhunen, M., Koskela, J., Ninh, N.H., Vehviläinen, H., Koskinen, H., Nousiainen, A. & Thỏ, N.P. 2016. Thermal sensitivity of growth indicates heritable variation in 1-year-old rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Genetics Selection Evolution* 48(1): 94. <https://doi.org/10.1186/s12711-016-0272-3>.
- Janhunen M, Koski P. & Makkonen J. 2019. Vesihomeselvitys suomalaisilla kalanviljelylaitoksilla. Raportti.
- Kankainen, M., Pulkkinen, J., Setälä, J., Niukko, J., Saarni, K., Vehviläinen, H., Lindberg-Lumme, P. 2023. Kalankasvatuksen olosuhdekatsaus 2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 40 s. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2023040334580>
- Kankainen, M., Vielma, J., Koskela, J., Niukko, J. & Niskanen, L. 2020. Olosuhteiden vaikutus kirjolohen kasvatuksen tehokkuuteen Suomen merialueilla. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 28/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 34 s
- Kause, A., Paananen, T., Ritola, O. & Koskinen, H. 2007. Direct and indirect selection of visceral lipid weight, fillet weight and fillet percent in a rainbow trout breeding programme. *Journal of Animal Science* 85: 3218–3227. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0332>
- Kause, A., Kiessling, A., Martin, S.A.M., Houlihan, D. & Ruohonen, K. 2016. Genetic improvement of feed conversion ratio via indirect selection against lipid deposition in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *British Journal of Nutrition* 116: 1656–1665. <https://doi.org/10.1017/S0007114516003603>
- Kause, A., Nousiainen, A. & Koskinen, H. 2022. Improvement in feed efficiency and reduction in nutrient loading from rainbow trout farms: The role of selective breeding. *Journal of Animal Science* 100: 1–11. <https://doi.org/10.1093/jas/skac214>
- Karvonen, A., Rintamäki, P., Jokela, J. & Valtonen, E.T. 2010. Increasing water temperature and disease risks in aquatic systems: climate change increases the risk of some, but not all, diseases. *International Journal of Parasitology* 40: 1483–1488. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2010.04.015>
- Kennedy, R.J. & Crozier, W.W. 2010. Evidence of changing migratory patterns of wild Atlantic salmon *Salmo salar* smolts in the River Bush, Northern Ireland, and possible associations with climate change. *Journal of Fish Biology* 76: 1786–1805. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02617.x>
- Knap, P.W. & Kause, A. 2018. Phenotyping for genetic improvement of feed efficiency in fish: Lessons from pig breeding. *Frontiers in Genetics* 9: 184. <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00184>
- Koskela, J., Setälä, J. & Honkanen, A. 1998. Viljelyn monipuolistaminen uusien lajien avulla. Lajien taloudelliset ja tekniset mahdollisuudet ruokaviljelyyn. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.

- Lehtonen H. 1996. Potential effects of global warming on northern European freshwater fish and fisheries. *Fisheries Management Ecology* 1996: 59–71.
- Li, L., Liu, Z., Quan, J., Lu, J., Zhao, G. & Sun, J. 2022. Metabonomics analysis reveals the protective effect of nano selenium against heat stress of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Proteomics* 259: 104545.
- Marandi, A., Fakhri Demeshghieh, A., Almasi, P., Bashiri, M. & Soltani, M. 2022. Review Article: An overview of climate change and prevalence of bacterial diseases in salmonid aquaculture. *Sustainable Aquaculture. Health Management Journal* 8 (2) :1–19.
- Metian, M., Troell, M., Christensen, V., Steenbeek, J. & Pouil, S. 2020. Mapping diversity of species in global aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 12(2): 1090–1100.
- Morgan, R., Andreassen, A.H., Åsheim, E.R., Finnøen, M.H., Dresler, G., Brembu, T., Loh, A., Miest, J.J. & Jutfelt, F. 2022. Reduced physiological plasticity in a fish adapted to stable temperatures. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 119(22): e2201919119.
- Pettinau, L., Seppänen, E., Sikanen, A. & Anttila, K. 2022. Aerobic Exercise Training With Optimal Intensity Increases Cardiac Thermal Tolerance in Juvenile Rainbow Trout. *Frontiers in Marine Science* 9: 912720. [doi: 10.3389/fmars.2022.912720](https://doi.org/10.3389/fmars.2022.912720)
- Queiros, Q., McKenzie, D.J., Dutto, G., Killen, S., Saraux, C. & Schull, Q. 2024. Fish shrinking, energy balance and climate change, *Science of The Total Environment* 906: 167310, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167310>.
- Rahel, F.J. & Olden, J.D. 2008. Assessing the Effects of Climate Change on Aquatic Invasive Species. *Conservation Biology* 22: 521–533. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.-2008.00950.x>
- Rose, K.C., Winslow, L.A., Read, J.S. & Hansen, G.J.A. 2016. Climate-induced warming of lakes can be either amplified or suppressed by trends in water clarity. *Limnology and Oceanography Letters* 1: 44–53. <https://doi.org/10.1002/lol2.10027>
- Rubalcaba, J.G., Verberk, W.C.E.P., Hendriks, A.J., Saris, B. & Woods, H.A. 2020. Oxygen Limitation May Affect the Temperature and Size Dependence of Metabolism in Aquatic Ectotherms. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(50): 31963–68. [doi: 10.1073/pnas.2003292117](https://doi.org/10.1073/pnas.2003292117)
- Ruuhijärvi, J., Malinen, T., Kuoppamäki, K., Ala-Opas, P. & Vinni, M. 2020. Responses of food web to hypolimnetic aeration in Lake Vesijärvi. *Hydrobiologia* 847(21): 4503–4523
- Sae-Lim, P., Gjerde, B., Nielsen, H.M., Mulder, H. & Kause, A. 2016. A review of genotype-by-environment interaction and microenvironmental sensitivity in aquaculture species. *Reviews in Aquaculture* 8: 369–393. [doi: 10.1111/raq.12098](https://doi.org/10.1111/raq.12098)
- Sae-Lim, P., Kause, A., Mulder, H.A. & Olesen, I. 2017. Climate change and selective breeding in aquaculture. *Journal of Animal Science* 95: 1801–1812. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1066>

- Setälä, J., Harjunpää, H., Jaukkuri, M., Lehtonen, E., Mellanoura, J., Niukko, J., Keskinen, T., Salmi, P. & Saarni, K. 2017. Kalastuksen olosuhdekatsaus 2017. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <https://merijakalatalous.fi/wp-content/uploads/Ammattikalastuksen-olosuhdekatsaus-2017.pdf>
- Silva. R.M.O., Evenhuis, J.P., Vallejo, R.L., Tsuruta S, Wiens GD, Martin KE, Parsons JE, Palti Y, Lourenco DAL, Leeds TD. 2019. Variance and covariance estimates for resistance to bacterial cold water disease and columnaris disease in two rainbow trout breeding populations. *Journal of Animal Science* 97(3): 1124–1132. <https://doi.org/10.1093/jas/sky478>
- Suomen virallinen tilasto (SVT) 2022. Vesiviljely 2022 . Tilastokeskus.Helsinki <https://test.verkko.stat.fi/tilasto/vvilj>
- Viitasalo, M. & Bonsdorff, E. 2022. Global climate change and the Baltic Sea ecosystem: direct and indirect effects on species, communities and ecosystem functioning. *Earth System Dynamics* 13(2): 711–747. <https://doi.org/10.5194/esd-13-711-2022>
- Wade, N.M., Clark, T.D., Maynard, B.T., Atherton, S., Wilkinson, R.J., Smullen, R.P. & Taylor, R.S. 2019. Effects of an unprecedented summer heatwave on the growth performance, flesh colour and plasma biochemistry of marine cage-farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Thermal Biology* 80: 64–74.
- Ward, H.G.M., Post, J.R., Lester, N.P., Askey, P.J. & Godin, T. 2017. Empirical evidence of plasticity in life-history characteristics across climatic and fish density gradients, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 74(4): 464–474. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2016-0023>.

Vaikutukset maatalouteen ja puutarhatuotantoon

- Banazeer, A., Afzal, M.B.S., Hassan, S. Ijaz, M., Shad, S.A. & Serrão, J.E. 2022. Status of insecticide resistance in *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Plutellidae) from 1997 to 2019: cross-resistance, genetics, biological costs, underlying mechanisms, and implications for management. *Phytoparasitica* 50: 465–485. <https://doi.org/10.1007/s12600-021-00959-z>
- Beikircher, B., Mittmann, C. & Mayr, S. 2016. Prolonged soil frost affects hydraulics and phenology of apple trees. *Frontiers in Plant Science* 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00867>
- Bélanger, G., Rochette, P., Castonguay, Y., Bootsma, A., Mongrain, D. & Ryan, D.A.J. 2002. Climate change and winter survival of perennial forage crops in Eastern Canada. *Agronomy Journal* 94: 1120–1130. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.1120>
- Bellard, C., Jeschke, J.M., Leroy, B. & Mace, G.M. 2018. Insights from modeling studies on how climate change affects invasive alien species geography. *Ecology and Evolution* 8(11): 5688–5700. <https://doi.org/10.1002/ece3.4098>
- Bisbis, M.B., Gruda, N. & Blanke, M. 2018. Potential impacts of climate change on vegetable production and product quality – A review. *Journal of Cleaner Production* 170: 1602–1620. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.224>.

- Clements, D.R. & Di Tommaso, A. 2022. Climate Change and the Persistence of Weeds. In Upadhyaya, M.K., Clements, D.R. & Shrestha, A. (eds.). Persistence Strategies of Weeds <https://doi.org/10.1002/9781119525622.ch12>
- Devot, A., Royer, L., Arvis B., Deryng, D., Caron Giauffret, E., Giraud, L., Ayrat, V. & Rouillard, J. 2023. Research for AGRI Committee – The impact of extreme climate events on agriculture production in the EU, European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels. <https://bit.ly/3yDzsLB>
- Diez, J.M., D'Antonio, C.M., Dukes, J.S., Grosholz, E.D., Olden, J.O., Sorte, C.J.B., Blumenthal, D.M., Bradley, B.A., Early, R., Ibáñez, I., Jones, S.J., Lawler, J.J. & Miller, L.P. 2012. Will extreme climatic events facilitate biological invasions? *Frontiers in Ecology and the Environment* 10: 249–257. <https://doi.org/10.1890/110137>
- Doherty, T.S. & Macdonald, K.J. 2023. Non-native species resist extreme events. *Nature Ecology & Evolution* 7: 1959–1960. <https://doi.org/10.1038/s41559-023-02218-2>
- Douma, J.C., de Vries, J., Poelman, E.H., Dicke, M., Anten, N.P. & Evers, J.B. 2019. Ecological significance of light quality in optimizing plant defence. *Plant, Cell & Environment* 42(3): 1065–1077.
- Faust, E. & Herbold, J. 2018. Spring frost losses and climate change — Not a contradiction in terms. *Munich Re Topics Geo*. Viitattu 1.11.2023. <https://www.munichre.com/en/insights/natural-disaster-and-climate-change/spring-frost-losses-climate-change-2018.item-63b78dc6572d54d4c380b34189b6c273.html>
- Finch, D.M., Butler, J.L., Runyon, J.B., Fettig, C.J., Kilkenny, F.F., Jose, S., Frankel, S.J., Cushman, S.A., Cobb, R.C., Dukes, J.S., Hicke, J.A. & Amelon, S.K. 2021. Effects of Climate Change on Invasive Species. In: Poland, T.M., Patel-Weynand, T., Finch, D.M., Miniati, C.F., Hayes, D.C. & Lopez, V.M. (eds) *Invasive Species in Forests and Rangelands of the United States*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45367-1_4
- Forrest, J.R.K. 2017. Insect pollinators and climate change. In: Johnson, S.N. & Jones, T.H. (eds.). *Global Climate Change and Terrestrial Invertebrates*. <https://doi.org/10.1002/9781119070894.ch5>
- Frantz, J.M., Ritchie, G., Cometti, N.N., Robinson, J. & Bugbee, B. 2004. Exploring the Limits of Crop Productivity: Beyond the Limits of Tipburn in Lettuce. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129(3): 331–338. <https://doi.org/10.21273/JASHS.129.3.0331>
- Gray, D. 1975. Effects of temperature on the germination and emergence of lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties. *Journal of Horticultural Science* 50(4): 349–361. DOI: [10.1080/00221589.1975.11514644](https://doi.org/10.1080/00221589.1975.11514644)
- Gregow, H. ym. 2021. Ilmastomuutokseen sopeutumisen ohjaukset, kustannukset ja alueelliset ulottuvuudet. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2021. <https://doi.org/10.31885/9789527457047>

- Haapalainen, M., Latvala, S., Kuivainen, E., Qiu, Y., Segerstedt, M. & Hannukkala, A.O. 2016. *Fusarium oxysporum*, *F. proliferatum* and *F. redolens* associated with basal rot of onion in Finland. *Plant pathology* 65(8): 1310–1320.
- Hakala, K., Hannukkala, A., Huusela-Veistola, E., Jalli, M. & Peltonen-Sainio, P. 2011. Pests and diseases in a changing climate a major challenge for Finnish crop production. *Agricultural and Food Science* 20(1): 3–14.
- Han, Z., Zeng, X. & Wang, F. 1989. Effects of autumn foliar application of 15n-urea on nitrogen storage and reuse in apple. *Journal of Plant Nutrition* 126(6): 675–685.
<https://doi.org/10.1080/01904168909363983>
- Hannukkala, A., Jaakkola, S., Latvala, S., Kivijärvi, P., Suojala-Ahlfors, T., Inkeroinen, H., Kallela, M. & Tuononen, M. 2020. Porkkanan varastotautien aiheuttajat Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 32 s.
- Hara, T. & Sonoda, Y. 1982. Cabbage-head development as affected by nitrogen and temperature. *Soil Science and Plant Nutrition* 28(1) 109–117.
[DOI: 10.1080/00380768.1982.10432376](https://doi.org/10.1080/00380768.1982.10432376)
- Hietaniemi, V., Rämö, S., Yli-Mattila, T., Jestoi, M., Peltonen, S., Kartio, M., Sieviläinen, E., Koivisto, T. & Parikka, P. 2016. Updated survey of *Fusarium* species and toxins in Finnish cereal grains. *Food Additives & Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment* 33(5): 831–848.
- Hjelkrem, A.-G., Torp, T., Brodal, G., Aamont, H.U., Strand, E., Nordskog, B., Dill-Macky, R., Edwards, S.G. Hofgaard, I.S. 2017. DON content in oat grains in Norway related to weather conditions at different growth stages. *European Journal of Plant Pathology*, 148(3): 577594.
- Hyvönen, T. 2020. Uudet rikkakasvit tulevat. *Puutarha & Kauppa* 3: 10–11.
- Hyvönen, T. & Ramula S. 2014. Crop–weed competition rather than temperature limits the population establishment of two annual C4 weeds at the edge of their northern range. *Weed Research* 54: 245–255. <https://doi.org/10.1111/wre.12075>
- Hyvönen, T., Luoto, M. & Uotila, P. 2012. Assessment of weed establishment risk in a changing European climate. *Agricultural and Food Science* 21(4): 348–360.
<https://doi.org/10.23986/afsci.6321>
- Hörberg, M. 2002. Patterns of splash dispersed conidia of *Fusarium poae* and *Fusarium culmorum*. *European Journal of Plant Pathology* 108: 73–80.
- Irannezhad, M., Marttila, H. & Kløve, B. 2014. Long-term variations and trends in precipitation in Finland. *International Journal of Climatology* 34: 3139–3153.
<https://doi.org/10.1002/joc.3902>
- Jarošová, J., Želazný, W.R. & Kundu, J.K. 2019. Patterns and Predictions of Barley yellow dwarf virus Vector Migrations in Central Europe. *Plant Disease* 103(8): 2057–2064.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-11-18-1999-RE>

- Jylhä, K., Tuomenvirta, H., Ruosteenoja, K., Niemi-Hugaerts, H., Keisu, K. & Karhu, J. A. 2010. Observed and projected future shifts of climatic zones in Europe and their use to visualize climate change information. *Weather, Climate, and Society* 2(2): 148–167.
- Kaukoranta, T., Hietaniemi, V., Rämö, S., Koivisto, T. & Parikka, P. 2019. Contrasting responses of T-2, HT-2 and DON mycotoxins and *Fusarium* species in oat to climate, weather, tillage and cereal intensity. *European Journal of Plant Pathology* 155: 93–110.
<https://doi.org/10.1007/s10658-019-01752-9>.
- Kaukoranta, T., Tahvonen, R. & Ylämäki, A. 2010. Climatic potential and risks for apple growing by 2040. *Agricultural and Food Science* 19 (2): 144–159.
<https://doi.org/10.2137/145960610791542352>
- Lamichhane, J.R. 2021. Rising risks of late-spring frosts in a changing climate. *Nature Climate Change* 11: 554–555. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01090-x>
- Markkanen, S. 2023. Blogi: Rikkakananhirssi – vaikea ylittää haitallisuudessa. Ruokavirasto.
<https://www.ruokavirasto.fi/tietoa-meista/ajankohtaista/ruokaviraston-blogi/blogi-tekstit/rikkakananhirssi--vaikea-ylittaa-haitallisuudessa/>
- Matala, J., Nikula, A., Pellikka, J., Aikio, S., Forsman, J., Henttonen, H., Holmala, K., Huitu, O., Jauni, M., Kojola, I., Melin, M., Paasivaara, A. & Pusenius, J. 2021. Hirvieläinten vaikutuksia yhteiskuntaan, elinkeinoihin ja ekosysteemiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 38/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 142 s
- Menegat, A., Milberg, P., Nilsson, A.T.S., Andersson, L. & Vico, G. 2018. Soil water potential and temperature sum during reproductive growth control seed dormancy in *Alopecurus myosuroides* Huds. *Ecology Evolution* 8: 7186–7194.
<https://doi.org/10.1002/ece3.4249>
- Nakajima, T., Yoshida, M. & Tomimura, K. 2008. Effect of lodging on the level of mycotoxins in wheat, barley, and rice infected with the *Fusarium graminearum* species complex. *Journal of General Plant Pathology* 74(4): 289–295.
- Naschitz, S., Naor, A., Wolf, S. & Goldsmidt, E.F. 2014. The effects of temperature and drought on autumnal senescence and leaf shed in apple under warm, east mediterranean climate. *Trees* 28: 879–890. <https://doi.org/10.1007/s00468-014-1001-6>
- Nissinen, A.I., Haapalainen, M., Jauhiainen, L., Lindman, M. & Pirhonen, M. 2014. Different symptoms in carrots caused by male and female carrot psyllid feeding and infection by *Candidatus Liberibacter solanacearum*. *Plant Pathology* 63(4): 812–820.
- Nissinen, A., Latvala, S., Lindqvist, I., Parikka, P., Kumpula, R., Rikala, K. & Blande, J. 2023. First observations of *Drosophila suzukii* (Matsumura) (*Diptera: Drosophilidae*) suggest that it is a transient species in Finland. *Agricultural and Food Science* 32(3): 104–111.
<https://doi.org/10.23986/afsci.130404>
- Orbán, I., Sztár, K., Kalapos, T. & Körel-Dulay, G. 2021. The role of disturbance in invasive plant establishment in a changing climate: insights from a drought experiment. *Biol Invasions* 23: 1877–1890. <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02478-8>

- Palonen, P., Lettojärvi, I., Luoranen, J., Ruhanen, H., Rantanen, M., Haikonen, T. & Finni, S. 2021. Deacclimation and reacclimation of apple (*Malus × domestica* Borkh.), blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) and raspberry (*Rubus idaeus* L.) shoots and buds under controlled conditions. *Scientia Horticulturae* 289: 110430. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110430>
- Parikka, P., Hakala, K. & Tiilikkala, K. 2012 Expected shifts in *Fusarium* species' composition on cereal grain in Northern Europe due to climatic change. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 29(10): 1543–1555. <https://doi.org/10.1080/19440049.2012.680613>
- Pasquali, M., Beyer, M., Logrieco, A., Audenaert, K., Balmas, V., Basler, R., & Vogelgsang, S. 2016. A European database of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* trichothecene genotypes. *Frontiers in microbiology* 7.
- Peltonen-Sainio, P. & Jauhiainen, L. 2014. Lessons from the past in weather variability: sowing to ripening dynamics and yield penalties for northern agriculture in 1970–2012. *Regional Environmental Change* 14: 1505–1516. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0594-z>
- Peltonen-Sainio, P. & Jauhiainen, L. 2020. Large zonal and temporal shifts in crops and cultivars coincide with warmer growing seasons in Finland. *Regional Environmental Change* 20: 89. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01682-x>
- Peltonen-Sainio, P. & Jauhiainen, L. 2019. Unexploited potential to diversify monotonous crop sequencing at high latitudes. *Agricultural Systems* 174: 73–82 <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.04.011>
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Niemi, J.K., Hakala, K. & Sipiläinen, T. 2013. Do farmers rapidly adapt to past growing conditions by sowing different proportions of early and late maturing cereals and cultivars? *Agricultural and Food Science* 22: 331–341. <https://doi.org/10.23986/afsci.8153>
- Peltonen-Sainio, P., Laurila, H., Jauhiainen, L. & Alakukku, L. 2015. Proximity of waterways to Finnish farmlands and associated characteristics of regional land use. *Agricultural and Food Science* 24: 24–38. <https://doi.org/10.23986/afsci.46504>
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Palosuo, T., Hakala, K. & Ruosteenoja, K. 2016. Rainfed crop production challenges under European high latitude conditions. *Regional Environmental Change* 16: 1521–1533, <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0875-1>
- Peltonen-Sainio, P., Palosuo, T., Ruosteenoja, K., Jauhiainen, L., Ojanen, H. 2018. Warming autumns at high latitudes of Europe: an opportunity to lose or gain in cereal production? *Regional Environmental Change* 18: 1453–1465, <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1275-5>
- Peltonen-Sainio, P., Juvonen, J., Korhonen, N., Parkkila, P., Sorvali, J. & Gregow, H. 2021a. Climate change, precipitation shifts and early summer drought: Irrigation tipping point for Finnish farmers? *Climate Risk Management* 33: 100334, <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100334>

- Peltonen-Sainio, P., Sorvali, J. & Kaseva, J. 2021. Farmers' views towards fluctuating and changing precipitation patterns in Finland. *Agricultural Water Management* 255:107011. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107011>
- Peltonen-Sainio, P. 2009. Ilmastomuutokseen sopeutuminen maa- ja elintarviketaloudessa (ILMASOPU), loppuraportti. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 21 s. <https://docplayer.fi/4487204-Ilmastomuutokseen-sopeutuminen-maa-ja-elintarviketaloudessa-iltasopu-pirjo-peltonen-sainio-iltasopu-tutkimusryhma.html>
- Peltonen-Sainio, P., Venäläinen, A., Mäkelä, H.M., Pirinen, P., Laapas, M., Jauhiainen, L., Kaseva, J., Ojanen, H., Korhonen, P., Huusela-Veistola, E., Jalli, M., Hakala, K., Kaukoranta, T. & Virkajärvi, P. 2016. Harmfulness of weather events and the adaptive capacity of farmers at high latitudes of Europe. *Climate Research* 67: 221–240.
- Poikolainen, L. & Lehti, J. 2021. Rikkakananhirssi yllätti ympäri Suomen. *Kasvinsuojelulehti* 3/2021: 11–13.
- Ponomareva, M.L., Gorshkov, V.Y., Ponomarev, S.N., Korzun, V. & Miedaner, T. 2020. Snow mold of winter cereals: a complex disease and a challenge for resistance breeding. *Theoretical Applied Genetics* 134: 419–433. <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03725-7>
- Rainio, A.J. 1932. Punahome *Fusarium roseum* link *Gibberella saubinetii* (Mont.) Sacc, ja sen aiheuttamat myrkytykset kaurassa, Valtion maatalouskoetöiminnan julkaisuja 50.
- Rantanen, M., Joensuu, K., Räsänen, K., Silvenius, F., Usva, K., Rikala, K. & Karhu, S. Environmental impacts (LCA) of red raspberry production. A comparative case study of open field and tunnel production in Finland. *Acta Horticulturae*, painossa.
- Rigby, J.R. & Porporato, A. 2008. Spring frost risk in a changing climate, *Geophysical Research Letters* 35: L12703. [doi:10.1029/2008GL033955](https://doi.org/10.1029/2008GL033955)
- Ripoll, J., Urban, L., Staudt, M., Lopez-Lauri, F., Bidel, L.P.R. & Bertin, N. 2014. Water shortage and quality of fleshy fruits—making the most of the unavoidable, *Journal of Experimental Botany* 65(15): 4097–4117. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru197>
- Rixen, C. et. al. 2022. Winters are changing: snow effects on Arctic and alpine tundra ecosystems. *Arctic Science* 8(3): 572–608. <https://doi.org/10.1139/as-2020-0058>
- Rochette, P., Bélanger, G., Castonguay, Y., Bootsma, A. & Mongrain, D. 2004. Climate change and winter damage to fruit trees in eastern Canada. *Canadian Journal of Plant Science*. 84(4): 1113–1125. <https://doi.org/10.4141/P03-177>
- Rosenfeld, H.J., Dalen K.S. & Haffner, K. 2002. The growth and development of carrot roots. *Gartenbauwissenschaft* 67(1): 11–16. <https://www.researchgate.net/publication/281496045> The growth and development of carrot roots.
- Rosenzweig, C., Iglesias, A., Yang, X.B., Epstein, P.R. & Chivian, E. Climate change and extreme weather events - Implications for food production, plant diseases, and pests 2001. NASA Publications. 24. <https://digitalcommons.unl.edu/nasapub/24>

- Ruokavirasto 2023. <https://www.ruokavirasto.fi/kasvit/kasvitaudit-ja-tuholaiset/kasvin-tuhoojahaku/karanteenituhoojat/tulipolte/>
- Salonen, J., Jalli, H., Muotila, A., Niemi, M., Ojanen, H., Ruuttunen, P., & Hyvönen, T. 2023. Fifth survey on weed flora in spring cereals in Finland. *Agricultural and Food Science* 32(2): 51–68. <https://doi.org/10.23986/afsci.130009>
- Sanogo, S. & Ji, P. 2013. Water management in relation to control of *Phytophthora capsici* in vegetable crops. *Agricultural Water Management* 129: 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.07.018>
- Schneider, L., Rebetez, M. & Rasmann, S. 2022. The effect of climate change on invasive crop pests across biomes, *Current Opinion in Insect Science* 50: 100895. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2022.100895>.
- Settele, J., Bishop, J. & Potts, S. 2016. Climate change impacts on pollination. *Nature Plants* 2: 16092. <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.92>
- Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I.P., Lešić, V. & Lemić, D. 2021. The Impact of Climate Change on Agricultural Insect Pests. *Insects* 12(5): 440. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>
- Suojala, T. 1999. Effect of harvest time on the storage performance of carrot, *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74(4): 484–492, <https://doi.org/10.1080/14620316.1999.11511141>
- Suojala, T., Salo, T. & Pessala, R. 1998. Effects of fertilisation and irrigation practices on yield, maturity and storability of onions. *Agricultural and Food Science* 7(4): 477–489. <https://doi.org/10.23986/afsci.5610>
- Suojala-Ahlfors, T., Hurme, T., Jaakkola, S., Kirkkala, T., Koivisto, A., Laine, P., Pihala, J., Salo, T., Uusitalo, R., Ventelä, A.-M. & Ylivainio, K. 2021. Vihannestuotannon kestävä ravinte-huolto. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 42/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 71 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-225-4>
- Suzuki, N., Rivero, R.M., Shulaev, V., Blumwald, E. & Mittler, R. 2014. Abiotic and biotic stress combinations. *New Phytologist* 203(1): 32–43.
- Särkkä, L., Luomala, E.-M., Hovi-Pekkanen, T., Kaukoranta, T., Tahvonen, R., Huttunen, J. & Alinikula, M. 2008. Kasvihuoneen jäähdytyksellä parempaan ilmastoon ja satoon. *Maa- ja elintarviketalous* 122. 102 s. <http://www.mtt.fi/met/pdf/met122.pdf>
- Tekle, S., Dill-Macky, R., Skinnies, H., Tronsmo, A. & Bjørnstad, Å. 2012. Infection process of *Fusarium graminearum* in oats (*Avena sativa* L.). *European Journal of Plant Pathology*, 132(3): 431–442.
- Tiilikkala, K., Hannukkala, A., Salonen, J., Huusela-Veistola, E., Laitinen, P., Ojanen, H. & Ooperi, S. 2009. Lisääntyvät kasvisuojeluriskit ja niiden hallinta ilmaston muuttuessa. *Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote* 26, 7 s.

- Vary, Z., Mullins, E., McElwain, J.C., & Doohan, F.M. 2015. The severity of wheat diseases increases when plants and pathogens are acclimatized to elevated carbon dioxide. *Global change biology* 21(7): 2661–2669.
- Velásquez, A.C., Castroverde, C.D.M. & He, S.Y. 2018. Plant–pathogen warfare under changing climate conditions. *Current biology* 28(10): R619–R634.
- Wu, D., Kukkonen, S., Luoranen, J., Pulkkinen, P., Heinonen, J., Pappinen, A. & Repo, T. 2019. Influence of late autumn preconditioning temperature on frost hardiness of apple, blueberry and blackcurrant saplings. *Scientia Horticulturae* 258: 108755. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108755>
- Wu, D., Palonen P., Lettojärvi I., Finni S., Haikonen T., Luoranen J. & Repo T. 2020. Rehardening capacity in the shoots and buds of three European pear (*Pyrus communis* [L.] cultivars following a warm spell in midwinter. *Scientia Horticulturae* 273: 109638. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109638>
- Wurr, D., Hand, D., Edmondson, R., Fellows, J., Hannah, M. & Cribb, D. 1998. Climate change: A response surface study of the effects of CO₂ and temperature on the growth of beetroot, carrots and onions. *The Journal of Agricultural Science* 131(2): 125–133. [doi:10.1017/S0021859698005681](https://doi.org/10.1017/S0021859698005681)
- Yakir, D., Sadovskii, A., Rabinowitch, H.D. & Rudich, J. 1984. Effect of high temperature on quality of processing-tomatoes of various genotypes ripened on the vine. *Scientia Horticulturae* 24(1): 33–43. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(84\)90005-0](https://doi.org/10.1016/0304-4238(84)90005-0)
- Yoshida, Y. & Nishimoto, T. 2020. Propagation and floral induction of transplant for forcing long-term production of seasonal flowering strawberries in Japan. *The Horticulture Journal* 89(2): 87–95. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-R010>
- Zemanova, M.A., Broennimann, O., Guisan, A., Knop, E. & Heckel, G. 2018. Slimy invasion: Climatic niche and current and future biogeography of Arion slug invaders. *Diversity and Distributions* 24(11): 1627–1640. <https://doi.org/10.1111/ddi.12789>

Vaikutukset riistaan- ja lajistoon

- Arzel, C., Dessborn, L., Pöysä, H., ElMBERG, J., Nummi, P. & Sjöberg, K. 2014. Early springs and breeding performance in two sympatric duck species with different migration strategies. *Ibis* 156: 288–298.
- Arzel, C., Nummi, P., Arvola, L., Pöysä, H., Davranche, A., Rask, M., Olin, M., Holopainen, S., Risviitala, R., Einola, E. & Manninen-Johansen, S. 2020. Invertebrates are declining in boreal aquatic habitat: The effect of brownification? *Science of The Total Environment* 724: 138199.
- Banks, P.B., Nordström, M., Ahola, M., Salo, P., Fey, K. & Korpimäki, E. 2007. Impacts of alien mink predation on island vertebrate communities of the Baltic Sea Archipelago: review of a longterm experimental study. *Boreal Environment Research* 13: 3–16.

- Blanchet, C.C., Arzel, C., Davranche, A., Kahilainen, K.K., Secondi, J., Taipale, S., Lindberg, H., Loehr, J., Manninen-Johansen, S., Sundell, J., Maanan, M. & Nummi, P. 2022. Ecology and extent of freshwater browning – What we know and what should be studied next in the context of global change. *Science of The Total Environment* 812: 152420.
- de Wit, H.A., Valinia, S., Weyhenmeyer, G.A., Futter, M.N., Kortelainen, P., Austnes, K., Hessen, D.O., Räike, A., Laudon, H. & Vuorenmaa, J. 2016. Current browning of surface waters will be further promoted by wetter climate. *Environmental Science & Technology Letters* 3: 430–435.
- Fieberg, J., Kuehn, D.W. & DelGiudice, G.D. 2008. Understanding Variation in Autumn Migration of Northern White-Tailed Deer by Long-Term Study, *Journal of Mammalogy* 89(6): 1529–1539. <https://doi.org/10.1644/07-MAMM-A-277.1>
- Helle, E. & Kauhala, K. 1991. Distribution History and Present Status of the Raccoon Dog in Finland. *Holarctic Ecology* 14(4): 278–286. <https://www.jstor.org/stable/3682520>
- Jezierski, W. & Myrcha, A. 1975. Food requirements of wild boar population. *Polish Ecological Studies* 1(2): 61–83.
- Kauhala, K. & Saeki, M. 2008. *Nyctereutes procyonoides* IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.1. 2008. International Union for Conservation of Nature, IUCN, iucnredlist.org.
- Kauhala, K. & Isomursu, M. 2020. Riistaruokinnan ekologiset vaikutukset – kirjallisuuskatsaus. *Suomen Riista* 66: 7–20. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202201199472>
- Kritzberg, E.S., Hasselquist, E.M., Škerlep, M., Löfgren, S., Olsson, O., Stadmark, J., Valinia, S., Hansson, L.-A. & Laudon, H. 2020. Browning of freshwaters: consequences to ecosystem services, underlying drivers, and potential mitigation measures. *Ambio* 49: 375–390.
- Kojola, I., Henttonen, H., Heikkinen, S. & Ranc, N. 2023. Golden jackal expansion in northernmost Europe: records in Finland. *Mammalian Biology*. <https://doi.org/10.1007/s42991-023-00382-3>
- Kunnasranta, M., Niemi, M. & Auttila, M. 2022. Developing artificial nest boxes for a large aquatic mammal. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 32(8): 1365–1371. <https://doi.org/10.1002/aqc.3851>
- Kunnasranta, M., Niemi, M., Auttila, M., Valtonen, M., Kammonen, J. & Nyman, T. 2021. Sealed in a lake — Biology and conservation of the endangered Saimaa ringed seal: A review. *Biological Conservation* 253. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108908>
- Lehikoinen, A., Jukarainen, A., Mikkola-Roos, M., Below, A., Lehtiniemi, T., Pessa, J., Rajasärkkä, A., Rintala, J., Rusanen, P., Sirkiä, P., Tiainen, J. & Valkama, J. 2019. Linnut (Summary: Birds). Teoksessa: Hyvärinen, E. Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. (toim.). Suomen lajien uhanalaisuus: Punainen kirja 2019. s. 560–570. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki.

- Levänen, R. 2019. Coexistence of northern hares: consequences of crossbreeding and changing climate. Publications of the University of Eastern Finland. Dissertations in Forestry and Natural Sciences 336. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-61-3025-5>
- Lindén, H. 1981. Does duration and predictability of the winter affect the wintering success of the capercaillie, *Tetrao urogallus*? Finnish Game Research 39: 79–89.
- Lopez, L.S., Hewitt, B.A. & Sharma, S. 2019. Reaching a breaking point: How is climate change influencing the timing of ice breakup in lakes across the northern hemisphere? Limnology and Oceanography 64: 2621–2631.
- Ludwig, G.X., Alatalo, R.V., Helle, P., Lindén, H., Lindström, J. & Siitari, H. 2006. Short- and long-term population dynamical consequences of asymmetric climate change in black grouse. Proceedings of the Royal Society London Series B, 273: 2009–2016.
- Matala, J., Nikula, A., Pellikka, J., Aikio, S., Forsman, J., Henttonen, H., Holmala, K., Huitu, O., Jauni, M., Kojola, I., Melin, M., Paasivaara, A. & Pusenius, J. 2021. Hirvieläinten vaikutuksia yhteiskuntaan, elinkeinoihin ja ekosysteemiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 38/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 142 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-217-9>
- Melin, M., Matala, J., Mehtätalo, L., Pusenius, J. & Packalen, T. 2023. The effect of snow depth on movement rates of GPS-collared moose. European Journal of Wildlife Research. <https://doi.org/10.1007/s10344-023-01650-w>
- Melin, M., Matala, J., Mehtätalo, L., Tiilikainen, R., Tikkanen, O.-P., Maltamo, M., Pusenius, J. & Packalen, P. 2014. Moose (*Alces alces*) reacts to thermal stress by utilizing thermal shelters in boreal forests – an analysis based on airborne laser scanning of the canopy structure at moose locations. Global Change Biology 20:1115–1125. <https://doi.org/10.1111/gcb.12405>
- Melin, M., Mehtätalo, J., Helle, P., Ikonen, K. & Packalen, T. 2020. Decline of the boreal willow grouse (*Lagopus lagopus*) has been accelerated by more frequent snow-free seasons. Scientific Reports 10: 6987. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63993-7>
- Miettinen, E., Melin, M., Holmala, K., Meller, A., Väänänen, V.-M., Huitu, O. & Kunnasranta, M. 2023. Home ranges and movement patterns of wild boars (*Sus scrofa*) at the northern edge of the species' distribution range. Mammal Research 68: 611–623. <https://doi.org/10.1007/s13364-023-00710-5>
- Miettinen, J. 2009. Capercaillie (*Tetrao urogallus* L.) habitats in managed Finnish forests – the current status, threats and possibilities. Dissertationes Forestales 90. 32 p. <http://www.metla.fi/dissertationes/df90.htm>
- Moss, B., Kosten, S., Meerhoff, M. & Battarbee, R.W. 2011. Allied attack: climate change and eutrophication. Inland Waters 1(2): 101–105.
- Piha, M., Lindén, A., Lehikoinen, A. & Rajala, T. 2023. Vesilintuseurannan tulokset 2023. – Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 81/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki.

- Nordström, M. 2003: Introduced predator in Baltic Sea archipelagos: variable effects of feral mink on bird and small mammal populations. *Annales Universitatis Turkuensis* 158. 118 s.
- Oja, R., Kaasik, A. & Valdmann, H. 2014. Winter severity or supplementary feeding—which matters more for wild boar? *Acta Theriologica* 59: 553–559.
- Osmala, E. 2012. Territory selection of willow grouse (*Lagopus lagopus* L.) in boreal forest regions. MSc Thesis. 37p. University of Eastern Finland, Finland.
- Pöysä, H. 2019. Tracking ice phenology by migratory waterbirds: settling phenology and breeding success of species with divergent population trends. *Journal of Avian Biology* 50(12): e02327.
- Salo, P. 2009: On lethal and non-lethal impacts of native, alien and intraguild predators – evidence of top-down control. *Annales Universitatis Turkuensis* 240. 102 p.
- Virkkala, R. & Lehikoinen, A. 2014. Patterns of climate-induced density shifts of species: poleward shifts faster in northern boreal birds than in southern birds. *Global Change Biology* 20(10): 2995–3003. doi: [10.1111/gcb.12573](https://doi.org/10.1111/gcb.12573)
- Woolway, R.I., Kraemer, B.M., Lenters, J.D., Merchant, C.J., O'Reilly, C.M. & Sharma, S. 2020. Global lake responses to climate change. *Nature Reviews Earth & Environment* 1: 388–403.



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi

