

Ojituksen vaikutus luonnon monimuotoisuuteen, ilmastoon ja vesistöihin – yhteenveto

Paavo Ojanen, Kaisu Aapala, Juha-Pekka Hotanen, Aira Kokko, Pirkko Kortelainen, Hannu Marttila, Mika Nieminen, Tiina M. Nieminen, Pekka Punttila, Sakari Rehell, Tapani Sallantaus, Sakari Sarkkola, Juha Tiainen, Jukka Turunen, Samu Valpola, Harri Vasander, Tuija Vähäkuopus & Kari Minkkinen

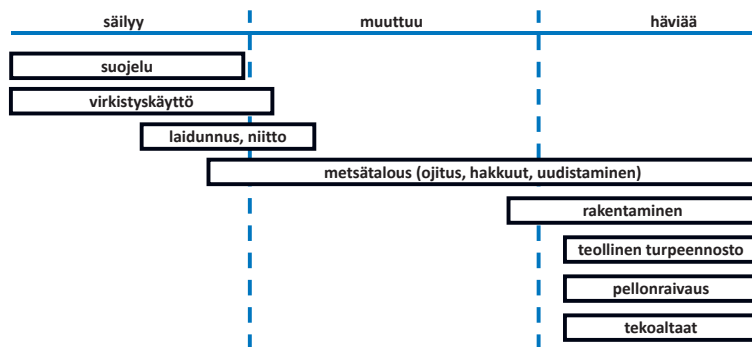
Paavo Ojanen, Helsingin yliopisto, paavo.ojanen@helsinki.fi; Kaisu Aapala, Suomen ympäristökeskus, kaisu.aapala@syke.fi; Juha-Pekka Hotanen, Luonnonvarakeskus, juha-pekka.hotanen@luke.fi; Aira Kokko, Suomen ympäristökeskus, aira.kokko@syke.fi; Pirkko Kortelainen, Suomen ympäristökeskus, pirkko.kortelainen@syke.fi; Hannu Marttila, Oulun yliopisto, hannu.marttila@oulu.fi; Mika Nieminen, Luonnonvarakeskus, mika.nieminen@luke.fi; Tiina M. Nieminen, Luonnonvarakeskus, tiina.m.nieminen@luke.fi; Pekka Punttila, Suomen ympäristökeskus, pekka.punttila@syke.fi; Sakari Rehell, Metsähallitus Luontopalvelut, sakari.rehell@metsa.fi; Tapani Sallantaus, Suomen ympäristökeskus, tapani.sallantaus@syke.fi; Sakari Sarkkola, Luonnonvarakeskus, sakari.sarkkola@luke.fi; Juha Tiainen, Luonnonvarakeskus / Helsingin yliopisto, ext.juha.tiainen@luke.fi; Jukka Turunen, Geologian tutkimuskeskus, jukka.turunen@gtk.fi; Samu Valpola, Geologian tutkimuskeskus, samu.valpola@gtk.fi; Harri Vasander, Helsingin yliopisto, harri.vasander@helsinki.fi; Tuija Vähäkuopus, Geologian tutkimuskeskus, tuija.vahakuopus@gtk.fi; Kari Minkkinen, Helsingin yliopisto, kari.minkkinen@helsinki.fi

Ojituksen vaikutus luonnon monimuotoisuuteen

Yksittäisen suon käytön vaikutukset eliölajistoon riippuvat voimakkaasti siitä, mihin tarkoitukseen suota käytetään (kuva 1). Ojittamattoman suon käyttö esimerkiksi marjastukseen tai metsästykseen ei käytännössä vaikuta suon eliöstöön, ja aikoinaan yleinen rehun niitto saattoi jopa monipuolistaa eliöstöä. Metsäojitus muuttaa lajistoa metsälajiston suuntaan (ks. Soiden kasvillisuus).

Lisäksi hakkuut ja erityisesti maanmuokkaus ja metsänuudistaminen muuttavat lajistoa – myös ojittamattomilla runsaspuustoisilla soilla. Soiden lajiston lisäksi ojittamattomat puustoiset suot ovat tärkeitä lahoppuusta ja kosteasta pienilmastosta riippuvaiselle metsien lajistolle.

Pellonraivaus hävittää suon eläin- ja kasvilajiston lähes kokonaan ja korvaa sen muiden avomaiden lajeilla sekä yleislajeilla. Esimerkiksi pienet hirvieläimet, rusakko, metsäjänis ja kettu viihtyvät hyvin maatalouselinympäristöissä.



Kuva 1. Suon käyttötavan vaikutus suon luontaiseen eliölajiistoon ja luontotyyppeihin. Kuva: Kaisu Aapala.

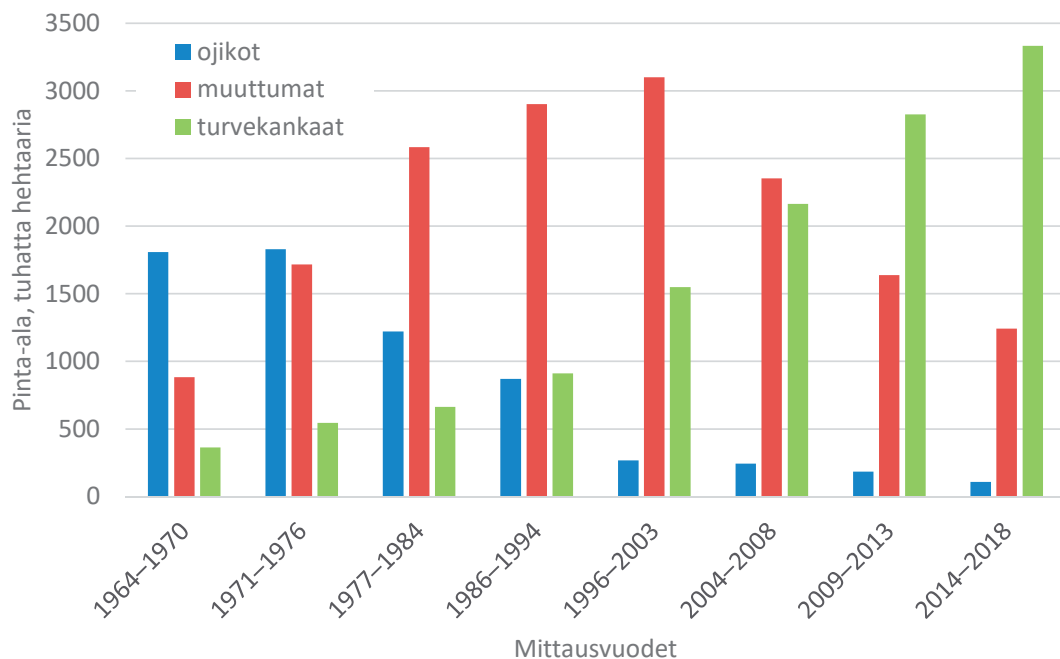
Suolinnuista jotkin harvat lajit, kuten niittykirvinen ja taivaanvuohi, menestyvät myös yleisesti pelloilla (Tiainen & Pakkala 2000, 2001). Pohjoisemmaksi siirryttäessä vastaan tulevat myös keltävästäräkki sekä jotkut kahlaajat, kuten pikkukuovi ja kapustarinta (Tiainen & Pakkala 2000, 2001). Turpeenoton kestäessä kasvi- ja eläinlajisto on lähes olematonta mahdollisia pintavalutuskenttiä lukuun ottamatta. Ennen turpeenottoa vallinneen kaltaisen suotyypin palauttaminen turpeennoston loputtua on käytännössä mahdotonta, mutta ennallistaminen voi synnyttää esimerkiksi saraisten nevojen ja matalien avovesien mosaiikkia, joka soveltuu vesi- ja kahlaajalintujen elinympäristöksi (Silvan 2013).

Metsäojitetut suot kehittyvät ojituksen jälkeen kohti turvekankaista eli tilaa, jossa aluskasvillisuus on metsäisten lajien vallitsema (kuva 2). Ojitus vähentää märkyden vaihtelua, jolloin jää jäljelle pääasiassa kivennäismaiden metsätyyppejä vastaava ravinteisuuden vaihtelu (ks. Soiden kasvilisuus s. 141). Voimakkainta ja nopeinta muutos on ollut rehevillä soilla, joilla puuston kasvu on nopeinta, ja märillä soilla, joilla vedenpinnan lasku on suurin. Vedenpinnan lasku heikentää välittömästi märkiin oloihin sopeutuneen lajiston olosuhteita. Puuston kasvaessa varjostus lisääntyy, mikä hävittää vähitellen avoimiin oloihin sopeutuneen lajiston. Hyötyjiä ovat kuivimpien korprien ja rämeiden lajit sekä erityisesti tavanomainen kivennäismaiden metsien lajisto (Päivänen 2007, Hotanen ym. 2018).

Metsäojitetusta suopinta-alasta vain 2 % luokitellaan enää ojikoksi, jolla aluskasvillisuus tai puusto ei ole muuttunut ojituksen seurauk-

sena (kuva 2; Korhonen ym. 2020). Ojikkoja ei ole missään maakunnassa yli viittä prosenttia ojitusalasta (VMI12). Jos ojituksella on selvä kuivattava vaikutus, ojikko on lyhytaikainen välivaihe. Muuttumaa, jolla suokasvillisuutta vielä merkittävästi esiintyy, vaikka ojitus on selvästi lisännyt puuston kasvua tai vaikuttanut aluskasvillisuuteen, on neljännes ojitusalasta. Eteläisessä Suomessa jo yli 90 % ojitusalasta on kehittynyt turvekankaaksi. Kainuussa ja Lapissa, minne ojitus eteni myöhemmin ja missä ilmaston viileys ja kosteus hidastavat muutosta, vasta puolet ojitusalasta on kehittynyt turvekankaaksi (VMI12). Jos kuivatusta ylläpidetään, suurin osa nykyisistä muuttumista kaikkein niukkaravinteisimpiä kasvupaikkoja lukuun ottamatta kehittynee turvekankaiksi muutamassa vuosikymmenessä, kun tihenevä puusto kuivattaa maaperää ja varjostaa aluskasvillisuutta yhä enemmän.

Metsäojitetuilla soilla metsätalouden ja suon ennallistamisen lisäksi mahdollista on myös ojitetun suon jääminen pois metsätaloudesta. Erityisesti metsänkasvatuskelvottomiksi luokiteltu suopinta-ala (Laiho ym. 2016) jäänee suurelta osin kunnostusojitusten ja hakkuidenkin ulkopuolelle (ks. Soiden käyttö Suomessa). Tutkittua tietoa siitä, kuinka nopeasti metsäojitettu suo vettyy ja ennallistuu takaisin suoksi, jos kuivatusta ei ylläpidetä, on niukasti (Koivisto ja Lampela 2008). Asiantuntijahavaintojen mukaan erityisesti paksuturpeisten ja karujen alueiden sarkaojat, joissa ei ole voimakasta virtausta, tukkeutuvat ja kasvavat umpeen vuosikymmenien mittaan. Ojien läheisyydessä suon pinta on kuitenkin painunut muuta suota enemmän (Lukkala 1949, Vesterinen



Kuva 2. Ojikoiden, muuttumien ja turvekankaiden pinta-alan kehitys metsäojitetuilla soilla 1960-luvulta alkaen. Ojikat ovat soita, joilla ojituksen kuivattava vaikutus ei ole vielä aiheuttanut merkittäviä muutoksia suokasvillisuudessa tai puustossa. Muuttumilla puuston kasvu on kiihtynyt tai suo on metsitty, vaikka aluskasvillisuudessa on suokasvillisuuden piirteitä vielä merkittävästi jäljellä. Turvekankaiksi luokitellaan suometsät, joiden aluskasvillisuus on muuttunut suokasvillisuudesta selvästi poikkeavaksi ja enimmäkseen kangasmetsäkasvillisuutta muistuttavaksi (Laine ym. 2018). Tiedot: valtakunnan metsien inventointi 5–12, <https://stat.luke.fi/metsavarat> (luettu 24.11.2020).

ym. 2013), minkä takia täysin tukkeutunutkin ojalinja johtaa vettä. Siksi itseksenvettyvät suot tai suon osat jäänevät suhteellisen kuiviksi aitojen korprien ja rämeiden kaltaisiksi soiksi. Itsekseen vettymällä tuskin kehittyä kovin märkiä ja avoimia soita, jotka korprien lisäksi olisivat suoluonnon monimuotoisuudelle erityisen arvokkaita.

Ohutturpeisten rehevien soiden ojat tai ojat, joissa on voimakas virtaus, voivat olla toimintakuntoisia monta vuosikymmentä ojien kaivun jälkeenkin (Koivisto ja Lampela 2008). Tällaisilla alueilla metsäojituksen kuivattava vaikutus voi jatkua hyvin pitkään, vaikka ojia ei kunnostettaisi. Ojien madaltumista ja osittaista tukkeutumista myös kompensoi se, että tällaisille alueille kehittyä yleensä runsas puusto. Puusto lisää veden haihtumista ja pitää näin vedenpintaa syvällä kasvukauden aikana (Sarkkola ym. 2010). Lisäksi matalankin ojan kuivattava vaikutus voi olla suuri, jos ojan pohja on hyvin vettä läpäisevässä kiven-

näismaassa. Lahoava puusto voi aikaa myöten tarjota elinympäristöjä lahoppua tarvitsevalle metsälajistolle, jos runsaspuustoisia ojitusalueita jää pois metsätaloudesta.

Metsäojitetut suot tarjoavat elinympäristön monelle tavanomaiselle metsälajille, mutta metsäluonnon monimuotoisuudelle ne eivät nykyisellään ole erityisen arvokkaita (Kaakinen ym. 2018). Koska metsäojituksilla on yleensä ikää vain muutamia kymmeniä vuosia ja puustoa on käsitelty ojituksen yhteydessä, ojitetuissa metsä- ja kitumaan suometsissä on lahoppua vähemmän (turvekankaat 3,0 m³/ha, ojikat ja muuttumat 1,4 m³/ha) kuin vastaavissa kivennäismaiden metsissä (6,5 m³/ha) tai ojitamattomissa suometsissä (4,8 m³/ha) (Korhonen ym. 2017, Hotanen ym. 2018). Samoin rakenteeltaan luonnontilaisia tai sen kaltaisia puustoja on metsäojitetuilla soilla niukasti, turvekankaista alle 1 % (Korhonen ym. 2017, Hotanen ym. 2018).

Metsäojitettujen soiden karuilla kasvupaikoilla puu- ja pensaslajisto on kivennäismaita yksipuolisempaa, koska monet kasvilajit karttavat hapanta ja vähäravinteista turvemaata (Reinikainen 1994, Hotanen ym. 2006, 2018). Rehevillä mustikka- ja ruohoturvekankaan kasvupaikoilla lajisto on yhtä monipuolista kuin kivennäismailla, ja ojitus on lisännyt monimuotoisuudelle arvokasta lehtipuustoa (Hotanen ym. 2006, 2018). Erityisesti ruohoturvekankailla myös aluskasvillisuus voi edustaa hyvin monipuolista metsälajistoa (Hotanen ym. 2015, 2018, Laine ym. 2018). Rehevimmillä kasvupaikoilla onkin potentiaalia kehittyä puustoltaan ja aluskasvillisuudeltaan arvokkaiksi metsäkohteiksi (Hotanen 1998, Päivänen 2007, Hotanen ym. 2015, 2018). Taantuneelle ja uhanalaistuneelle metsälajistolle keskeistä puusto- ja lahopuujatkumoa esiintyy kuitenkin tällä hetkellä harvalla metsäojitetulla suolla (Hotanen ym. 2018).

Ihmiselle tärkeistä marjakasveista osa on hyötynyt ja osa kärsinyt metsäojituksesta (Hotanen ym. 2001). Kun metsäojitetut suot kehittyvät kohti turvekankaita, ihmiselle ja monille eläimille tärkeä ravintokasvi mustikka on runsastumassa. Samoin puolukka on runsastunut ojituksen seurauksena, koska se viihtyy mustikan tavoin monenlaisissa metsissä. Puustoisillakin soilla viihtyvät suomarjat juolukka, variksenmarja ja muurain voivat säilyä pitkään ojituksen jälkeen, mutta taantuvat monin paikoin ojitusalueen kehittyessä turvekankaaksi. Märillä ja avoimilla soilla viihtyvä karpalo on taantunut voimakkaasti. Avoimilla kosteilla paikoilla viihtyvä mesimarja on aikoinaan hyötynyt niittytaloudesta, peltojen avo-ojituksesta ja puoliavoimista metsistä, mutta tehokkaaseen kuivatukseen perustuvan peltoviljelyn ja metsien tihentymisen myötä sen sadot ovat vähentyneet (Vaarama 1965, Rynnänen 1973). Kun hakkuut ja metsänuudistaminen yleistyvät ojitusalueilla, marjalajisto voi edelleen muuttua voimakkaasti (Hotanen ym. 2001).

Metsäojitus saa suursienistössä aikaan lajimäärän ja sadon kasvun, koska monet suursienet elävät metsäkasvien kanssa symbioosissa tai ovat hapellisissa oloissa viihtyviä orgaanisen aineen hajottajia. Ojituksesta hyötävät esimerkiksi monet rousku-, tatti- ja haperolajit, kun taas erikoistuneet suolajit taantuvat (Salo 1981, 1993,

Hotanen 1998). Valikoivan metsästyksen ohella ojitusalueiden mäntytaimikot hieskoivusekoitukseen ovat osaltaan runsastuttaneet hirvikantaa, koska ne tarjoavat hirville ravintoa ja suojaa. Metsäkanalintukannat ovat taantuneet viime vuosikymmeninä (Helle ym. 2002). Taantuminen voi osittain johtua metsäojituksesta (Ludwig ym. 2007), vaikka ojituksella voi olla myös myönteisiä vaikutuksia (Karsisto 1974). Erityisesti riekolla ojituksen aiheuttama avoimien soiden metsittyminen on keskeinen uhanalaistumisen syy (Melin ym. 2020)

Suoluontoa on eniten muuttanut metsäojitus, koska se on pinta-alaltaan selvästi suurin ojitettujen soiden käytön muoto (ks. Soiden käyttö Suomessa; Kaakinen ym. 2018). Aluksi ojitus kohdistui etenkin runsas- ja keskiravinteisiin korpiin ja rämeisiin mutta myöhemmin myös karuihin soihin. Myös lettoja pidettiin hyvinä ojituskohteina, vaikka ne ovatkin myöhemmin osoittautuneet usein sopimattomiksi metsänkasvatukseen. Metsäojitus on vaikuttanut merkittävästi suoluontoon Etelä-Suomesta aina Lapin keskiosiin saakka. Maatalous on muuttanut suoluontoa erityisesti Etelä- ja Länsi-Suomen rehevillä soilla, missä maataloutta on harjoitettu jo vuosisatoja (Myllys 1998, Kaakinen ym. 2018). Myös karuja soita on raivattu ja kydötetty erityisesti Pohjanmaalla. Toisen maailmansodan jälkeen raivattiin asutustiloille peltoja erityisesti Itä- ja Pohjois-Suomen lettoalueilla.

Yli puolet sekä suon kasvivyhteisöjä kuvaavista suotyypeistä että kokonaisista soita kuvaavista suoyhdistymätyypeistä on uhanalaisia (ks. Suoluontotyyppien uhanalaisuus s. 149; Kaakinen ym. 2018). Uhanalaisuuden keskeinen syy on ojitamattomien soiden pinta-alan pieneneminen. Suoyhdistymätyyppien uhanalaisuuteen vaikuttaa voimakkaasti myös se, että Etelä- ja Keski-Suomessa on hyvin vähän soita, jotka olisivat säästyneet kokonaan ojituksilta (Sallinen ym. 2019). Sekä suotyyppeistä että suoyhdistymätyyppien uhanalaisuus on suurinta Etelä- ja Keski-Suomessa, koska ojitus on keskittynyt näihin osiin maata. Uhanalaisia ovat erityisesti puustoiset sekä rehevät suotyypit. Suoyhdistymätyypeistä uhanalaisimpia ovat muun muassa eteläiset sarsuot, keskiborealiset Pohjanmaan aapasuot ja rannikkosuot.

Sekä suo- että suoyhdistymätyypeistä runsas kolme neljäsosaa arvioidaan lähitulevaisuudessa heikkeneviksi (Kaakinen ym. 2018). Tämä johtuu erityisesti aapasoilla siitä, että suon reunojen ojitus kuivattaa suon ojitamattomia keskiosia (Tahvanainen 2011, Rehell 2017, Sallinen ym. 2019). Lisäksi ojitamattomiakin puustoisia soita muuttavat niillä tehtävät hakkuut ja maanmuokkaukset (Kaakinen ym. 2018).

Eliölajeista, joiden ensisijainen elinympäristö on suo, uhanalaisia on 11 % eli 120 lajia (ks. Soiden eliölajit ja niiden uhanalaisuus s. 157; Hyvärinen ym. 2019). Näiden ensisijaisten suolajien osuus kaikista Suomen uhanalaisista lajeista on vain 4,5 %, mikä johtuu siitä, että suot ovat usein vähälajisia elinympäristöjä. Lettojen lajeista lähes puolet on uhanalaisia tai silmälläpidettäviä, kun keskimäärin ensisijaisista suolajeista tällaisia on viidennes. Suoluontotyyppien uhanalaisuuden tapaan myös eliölajien uhanalaisuus on keskittynyt Etelä- ja Keski-Suomeen. Puustoisten suotyyppien ottaminen metsätalouksikäyttöön on todennäköisesti lisännyt myös metsälajien uhanalaistumista, mutta tätä ei ole arvioitu.

Uhanalaisista ensisijaisista suolajeista suuri osa on putkilokasveja ja sammalia (33 %) ja hyönteisiä (45 %) (ks. Soiden eliölajit ja niiden uhanalaisuus; Hyvärinen ym. 2019). Letot ja korvet korostuvat erityisesti uhanalaisten kasvien elinympäristöinä. Letot ja korvet ovat runsaslajisia, ja ojitus on vähentänyt voimakkaasti niiden pinta-alaa (ks. Soiden eliölajit ja niiden uhanalaisuus ja Soiden käyttö Suomessa). Hyönteiset ovat monimuotoinen ja elinympäristövaatimuksiltaan vaihteleva ryhmä. Suurin osa uhanalaisista suohyönteisistä on perhosia ja kaksisiipisiä. Uhanalaisten lintujen elinympäristöt eivät kasveista poiketen liity tiukasti tiettyihin suotyypeihin, vaan niissä korostuu soiden märkyys ja puutumus tai harvapuustoisuus. Uhanalaisten suolintujen esiintyminen on keskittynyt Pohjois-Suomeen, koska niille sopivia elinympäristöjä on erityisesti aapasoilla.

Kaikkiin ojitetun suon käyttömuotoihin liittyy suoluontotyyppien muuttumisen lisäksi suoalueen lähteiden, purojen ja allikoiden häviäminen tai muuttaminen ojiksi (Lammi ym. 2018). Myös muut soisten seutujen pienvesistöt ovat muuttuneet: ojen kaivun seurauksena läheisiin

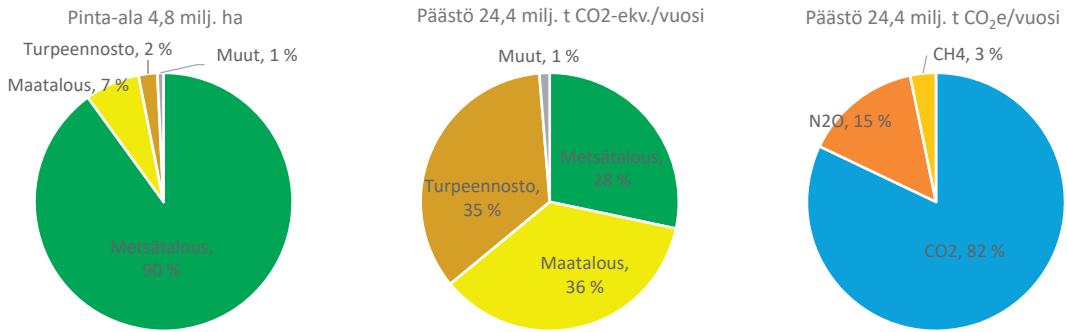
virtavesiin on päätyneet kiintoainesta, joka on liettänyt pohjia ja vedet ovat tummuneet (Aroviita ym. 2016, Rääpysjärvi ym. 2016, Turunen ym. 2016). Ojituksen aiheuttama ravinnekuormitus (Nieminen, M. ym. 2020a, Finér ym. 2021) näkyy myös suuremmissa vesistöissä (Räike ym. 2020) ja rehevöittää erityisesti lampia ja järviä (Lammi ym. 2018).

Ojituksen vaikutus ilmastoon

Luonnontilaisilla soilla on sekä ilmastoa viilentäviä että ilmastoa lämmittäviä vaikutuksia, koska suot ovat sekä hiilidioksidin nieluja että metaanin lähteitä (ks. Ojituksen vaikutus maaperän kasvihuonekaasupäästöihin s. 173). Hiilidioksidinielu ja metaanilähde johtuvat molemmat suon märkyydestä: Korkealla oleva pohjaveden pinta aiheuttaa maaperään hapettomat olosuhteet. Sen takia osa maaperään tulevasta orgaanisesta aineesta (kuolleista kasveista ja kasvinosista) jää hajoamatta ja kerrostuu turpeeksi. Turpeen kuivamassasta noin puolet on hiiltä, jonka kasvit ovat sitoneet ilmakehän hiilidioksidista. Toisaalta maaperään tulevaa orgaanista ainesta hajoaa myös hapettomissa oloissa, jolloin yhtenä lopputuotteena ilmakehään pääsee metaania.

Turpeen kertymisnopeus vaihtelee suotyypin ja ravinteisuuden mukaan: karut suot kerryttävät turvetta ja hiiltä noin kolmanneksen nopeammin kuin rehevät suot (Turunen ym. 2002). Metaanipäästö vaihtelee voimakkaasti suon märkyyden ja ravinteisuuden mukaan (Minkkinen & Ojanen 2013). Eniten metaania päästävien vetisten saraisten avosoiden metaanipäästöt ovat yli kymmenkertaiset verrattuna niitä kuivempien aitojen korprien ja rämeiden päästöihin. Metaanipäästön takia luonnontilainen suo lämmittää ilmakehää kehityksensä alussa (Frolking ym. 2006, Frolking & Roulet 2007, Mathijssen ym. 2014, 2017). Vuosisatojen ja -tuhansien mittaan turvetta kertyy suohon kuitenkin niin paljon, että jatkuvan hiilidioksidinielun viilentävä vaikutus kasvaa metaanilähteen lämmittävää vaikutusta suuremmaksi.

Ojitetun suon maaperä toimii metaanin ja hiilidioksidin päästöjen ja nielujen suhteen päinvastoin kuin luonnontilainen suo (ks. Ojituksen vaikutus maaperän kasvihuonekaasupäästöihin s. 173):



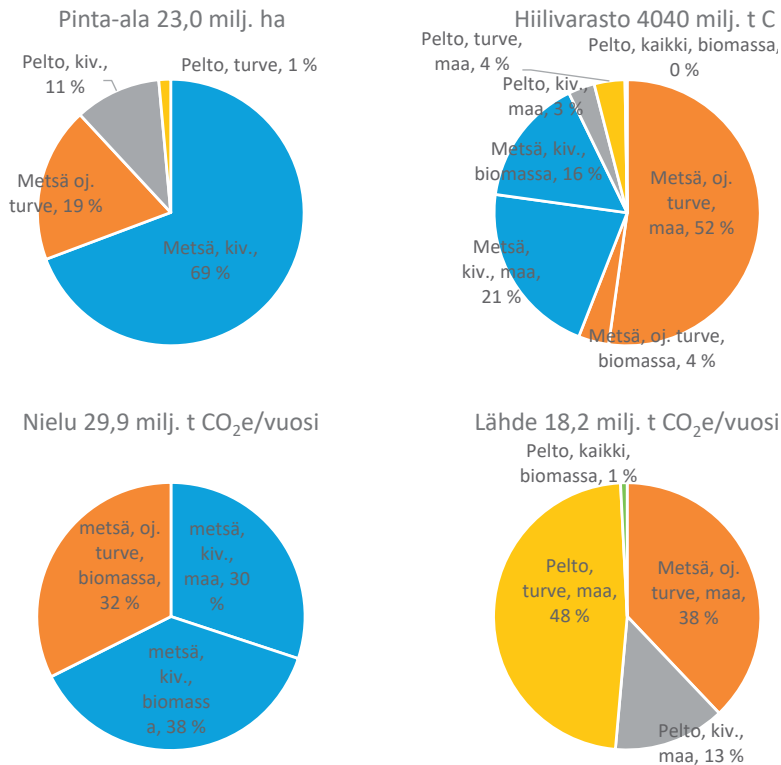
Kuva 3. Eri maankäyttömuotojen osuudet ojitettujen turvemaiden pinta-alasta sekä hiilidioksidin (CO₂), metaanin (CH₄) ja typpioksiduulin (N₂O) ja eri maankäyttömuotojen osuudet ojitettujen turvemaiden vuotuisista kasvihuonekaasupäästöistä hiilidioksidiekvivalentteina (miljoonaa tonnia CO₂-ekv./vuosi). Lähde: Tilastokeskus 2020b (vuoden 2018 päästöttilastot). Päästöt sisältävät päästöt maaperästä ja turpeen polton ja kasvuturpeen hajoamisen aiheuttamat päästöt. Kuvassa esitettyjen päästöjen lisäksi metsäojitettujen turvemaiden puusto on ollut vuosina 2014–2018 noin 10 Mt CO₂ hiilinielu (Tilastokeskus 2020a perusteella turvemaiden puuston hiilinielun ojitetuille turvemaille niiden pinta-alaosuuden perusteella jyvitetty nielu). Kuvassa ovat mukana päästöjen raportoinnissa käytettävien rajausten mukaisesti maatalouden osalta käytössä olevat ja hylätyt turvemaan pellot ja metsätalouden osalta kansainvälisen metsän määrittelyn täyttävät ojitetut suot. Metsätalouden osalta mukana on näin määriteltynä 93 % valtakunnan metsien inventoinnin mukaisesta metsäojitettujen soiden pinta-alasta.

Koska kuivuminen lisää maaperän pintakerroksen hapellisuutta, metaanipäästö loppuu ja suo muuttuu usein oja lukuun ottamatta metaanin nieluksi. Toisaalta turpeen kertyminen voi muuttua turpeen hävikiksi, mistä seuraa hiilidioksidin ja typpioksiduulin päästöjä. Ojitetun suon kasvihuonekaasupäästöt ovat sitä suuremmat, mitä nopeammin turvetta häviää. Karuilla metsäojitusalueilla turvetta ei välttämättä häviä, mutta rehevillä metsäojitusalueilla sekä kaikissa muissa ojitetun suon maankäytöissä häviää. Turpeen hajoamisesta johtuvat päästöt ovat suurimmat suopellolla, koska tehokas ojitus ja säännöllinen muokkaus, lannoitus ja kalkitus edistävät turvetta hajottavien mikrobien toimintaa. Kaikkein suurimmat kokonaispäästöt seuraavat kuitenkin turpeenotosta, koska korjattavan turpeen poltosta ja muussa käytössä hajoamisesta syntyy moninkertaiset päästöt muissa käyttömuodoissa tapahtuvaan turpeen hajoamiseen verrattuna (Juutinen ym. 2019). Maankäyttömuodon lisäksi turpeen hävikkiin vaikuttaa voimakkaasti pohjavedenpinnan syvyys: mitä syvemmällä vedenpinta on, sitä suuremmat hiilidioksiidi- ja typpioksiduulipäästöt ovat.

Metsäojitettu suo eroaa muista ojitetun suon käyttömuodoista, koska turpeen häviäminen

on hitaampaa kuin niissä, ja kasvava puusto on merkittävä hiilinielu (ks. Metsäojitetun suon ilmastovaikutukset). Niinpä metsäojituksen vaikutus on yleensä ilmastoa viilentävä ensimmäiset vuosikymmenet ojituksen jälkeen (Minkkinen ym. 2002, Lohila ym. 2010, Ojanen ym. 2013, Hommeltenberg ym. 2014, Uri ym. 2017, Minkkinen ym. 2018). Puustoon sitoutuneesta hiilestä suurin osa kuitenkin vapautuu muutamassa vuodessa pätehakkuun jälkeen hiilidioksidina takaisin ilmakehään. Siksi metsäojituksenkin vaikutus on lopulta ilmastoa lämmittävä, jos hajoavasta turpeesta vapautuu enemmän hiiltä kuin puustoon ojituksen seurauksena keskimäärin sitoutuu. Puuston hiilivarasto voi korvata vain ohuen turvekerroksen hiilivaraston: 10 cm turvekerroksessa on yhtä paljon hiiltä kuin 100 m³/ha puuston biomassassa.

Karuilla kasvupaikoilla (puolukka- ja varpaturvekankaat) turpeen hävikki voitaneen estää pitämällä kuivatus maltillisena. Lumettoman ajan vedenpinnan pitää pysyä keskimäärin enintään 30–40 cm syvyydellä maanpinnasta, jotta turvetta ei häviäisi (Ojanen & Minkkinen 2019). Näin metsätalous voi parhaassa tapauksessa olla pitkällä aikavälillä ilmastollisesti kestävä (ks. Metsäoji-



Kuva 4. Kivennäismaiden (kiv.) ja ojitettujen turvemaiden metsien ja peltojen osuus niiden yhteenlasketusta pinta-alasta sekä maaperän ja biomassan hiilivarastosta ja kasvihuonekaasujen nieluista ja lähteistä. Pinta-alat, päästöt ja nielu perustuvat vuoden 2018 kasvihuonekaasupäästötilastoihin (Tilastokeskus 2020a, b). Puuston (metsien biomassan) nielu on kuitenkin vuosien 2014–2018 keskiarvo, koska puuston nielu vaihtelee vuosittain voimakkaasti hakkuumäärien vaihdellessa. Puuston hiilivaraston osalta on käytetty Valtakunnan metsien 11. inventoinnin tuloksia (Korhonen ym. 2017) ja kivennäismaiden maaperän hiilivarastojen osalta Heikkisen ym. (2013) ja Lehtosen ym. (2016) tuloksia. Turvemaiden maaperän hiilivarasto perustuu Jukka Turusen päivittämiin Turusen (2008) tuloksiin. Kuvassa ovat mukana käytössä olevat ja hylätyt pellot sekä kansainvälisen metsän määritelmän täyttävät metsät. Ojittamattomat turvemaat ja niillä kasvava puusto eivät ole mukana.

tetun suon ilmastovaikutukset s. 189). Rehevillä kasvupaikoilla (ruoho- ja mustikkaturvekankaat) vedenpinnan pitäisi olla hyvin lähellä maanpintaa (n. 10 cm syvyydessä, Ojanen ja Minkkinen 2019), jotta turvetta ei häviäisi. Niin märässä puuston kasvu kärsii huomattavasti eikä tavanomainen metsätalous ole mahdollista. Niinpä ojituksen perustuvan metsätalouden jatkaminen tarkoittaa rehevillä kasvupaikoilla väistämättä turpeen hävikkiä hiilidioksidi- ja typpioksiduulipäästöineen.

Valtakunnan tasolla metsäojitetut suot, turvemaan pellot ja turvetalous ovat saman kokoluokan päästölähteitä, vaikka ojitetusta pinta-alasta 90 % on metsäojitettuja soita (kuva 3). Metsäojitettujen

soiden päästö on suuri niiden suuren pinta-alan takia. Turvemaan peltojen päästö on suuri niiden nopean turpeen hajoamisen takia. Turvetalouden, eli turpeen noston ja käytön, päästö on suuri, koska nostettu turve poltetaan energiaksi tai se hajoaa muussa käytössä. Ojitettujen soiden päästöistä neljä viidesosaa on hiilidioksidia. Myös typpioksiduulipäästö on merkittävä.

Ojitetuilla turvemailla on maa- ja metsätaloudessa selvästi niiden pinta-alaosuutta suurempi merkitys niin hiilivarastona kuin kasvihuonekaasujen lähteenä ja nieluna (kuva 4). Vaikka turvemaiden osuus kivennäismaiden ja ojitettujen soiden peltojen ja metsien kokonaispinta-alasta on

vain 20 %, niiden osuus biomassan ja maaperän hiilivarastosta on 60 %. Tämä johtuu siitä, että hehtaarilla turvemaata maaperän hiilivarasto on keskimäärin kymmenkertainen kivennäismaahehtaariin verrattuna. Kivennäismaapeltoja lukuun ottamatta maa- ja metsätalousmaan päästölähteet ovat ojitetuilla soilla, ja ojitetujen soiden osuus kasvihuonekaasupäästöstä on yli 80 % (kuva 4). Samaan aikaan metsäojitettujen soiden puusto on merkittävä hiilidioksidin nielu. Sen osuus maa- ja metsätalouden kivennäismaiden ja ojitetujen soiden kasvihuonekaasunieluista on noin kolmannes.

Ojitetut suot ja niiden käyttö hävittävät turvetta ja siihen sitoutunutta hiiltä huomattavasti nopeammin kuin ojittamattomat suot kerryttävät. Raportoitujen hiilidioksidipäästöjen (kuva 3) perusteella metsä-, maa- ja turvetalous aiheuttavat 5,5 miljoonan tonnin vuotuisen turpeen hiilen hävikin. Vastaavasti ojittamattomien soiden turpeen kertyminen on 0,8 miljoonan tonnin hiilinielu niiden pinta-alan (ks. Soiden käyttö Suomessa) ja hiilinielun (ks. Ojituksen vaikutus maaperän kasvihuonekaasupäästöihin s. 173) perusteella laskettuna. Suomen turvemaista vapautuu siis 4,7 miljoonaa tonnia hiiltä vuodessa ilmakehään. Jos Suomen koko suoala olisi luonnontilassa, hiilinielu kertyvään turpeeseen samalla tavoin laskettuna olisi 2,0 miljoonaa tonnia vuodessa. Siten metsä- ja maatalouden ja turvetalouden vaikutus turpeen hiilinieluun on noin -6,7 miljoonaa tonnia vuodessa.

Ojituksen vaikutus vesistöihin

Tiivistelmä

Suot ja niiden ojitus vaikuttavat suolta alapuolisiin vesistöihin valuvan veden määrään, ajoittumiseen ja laatuun. Ojien kaivuu myös suoraan muuttaa suon ja lähialueen pienvesiä. Luonnontilaiset suot voivat poistaa ravinteita ja mineraaleja suon pintakerroksen läpi virtaavasta vedestä tai suolle purkautuvasta pohjavedestä. Ojitus heikentää suon kykyä poistaa aineita vedestä, koska suurin osa vedestä kulkee suon läpi pintakerroksen sijaan ojia pitkin. Lisäksi ojitetut suot itsekin päästävät ravinteita veteen. Veteen liunneet ravinteet rehevöittävät sekä läheisiä pienvesiä että kulkeutuvat suurempiinkin vesis-

töihin. Sekä luonnontilaisilta että ojitetuilta soilta liukenee veteen orgaanista ainesta, mikä muuttaa vesistöjen valaistus- ja lämpöoloja ja eliölaajistoa. Ensiojitus tai ojien kunnostaminen voi vähentää liunneen orgaanisen aineen päästöjä joiksikin vuosiksi, mutta pitkällä aikavälillä ojitetujen soiden päästöt ovat suurempia kuin ojittamattomien soiden päästöt (Nieminen ym. 2021). Ojien kunnostaminen vähentää valuma-alueelta vesistöihin valuvan veden happamuutta muutamien vuosien ajan kunnostamisen jälkeen.

Myös ojilla itsellään on vaikutuksia vesistöihin: Ojista ja paljailta turvepinnoilta irtoaa kiintoainesta, joka kulkeutuu veden mukana läheisiin pienvesistöihin ja liettää niiden pohjia. Lisäksi ojitusalueilta huuhtoutuva rauta vaikuttaa vesistöjen valaistusolosuhteisiin ja muodostaa usein kiintoaineslietettä vesistöjen pohjille. Luonnontilaiset suot voivat päinvastoin poistaa kiintoainesta niiden läpi virtaavasta vedestä. Ensiojitus vaikuttaa pienvesiin merkittävästi myös hävittämällä suoalueen purot, lähteet ja allikot tai muuttamalla ne ojiksi. Vaikka suot ja soiden ojitus vaikuttavat myös suolta valuvan veden määrään, luonnontilaiset suot eivät yleensä merkittävästi estä suuria tulvia alapuolisissa vesistöissä, eikä ojitus toisaalta merkittävästi lisää niitä. Alueilla, joilla esiintyy happamia sulfaattimaita, turvekerroksen alapuoliseen rikkipitoiseen kivennäismaahan ulottuva kuivatus aiheuttaa vesistöjä voimakkaasti happamoittavia päästöjä ja liuottaa raskasmetalleja vesistöihin. Vastaavaa happamoitumista ja raskasmetallien huuhtoutumista tapahtuu myös mustaliuske-kivilajin esiintymisalueiden ojituskohteilla.

Ojituksen haitallisia vesistövaikutuksia voidaan torjua monella tavalla. Vedenpinnan pitäminen mahdollisimman korkealla hidastaa turpeen hajoamista ja voi siten vähentää ravinnekuormituksen syntymistä. Ojien kunnostuksia vähentämällä ja pitämällä pellot kasvipeitteisinä voidaan estää kiintoainekuormituksen ja siitä aiheutuvan ravinnekuormituksen syntymistä. Syntyvää kiintoainekuormitusta voidaan pidättää tehokkaasti virtaamansäätöpadoilla, pintavalutus-kentillä ja kosteikoilla. Veteen liunneiden ravinteiden tehokas pidättäminen on vaikeampaa, mutta maataloudessa kosteikoilla ja metsätaloudessa ja turpeennostossa pintavalutus-kentillä voidaan

vähentää ravinnekuormitusta. Happamalla sulfaattimailla syntyviä happamia ja metallipitoisia päästöjä voidaan estää pitämällä vedenpinta rikkipitoisten maakerrosten yläpuolella.

Luonnontilaisten ja ojitettujen soiden vaikutus vesistöihin

Luonnontilaisen suon kertyvään turpeeseen sitoutuu orgaanisen aineen osana ravinteita. Tämän ansiosta suo voi poistaa lävitseen kulkevasta vedestä liuenneita ravinteita (ks. Metsäojitettujen soiden vesistökuormitus s. 205). Tehokkaita ravinteiden poistajia ovat paksuturpeiset turvetta kerryttävät aapasuot: Aapasuolle valuu ympäristöstä ravinnepitoista vettä, josta ravinteita pidättyy kertyvään turpeeseen. Suokasvillisuus ottaa ravinteita vedestä ja kuolleiden kasvinosien mukana osa ravinteista päätyy turpeeseen ja pidättyy siten suohon. Ravinteita voi myös pidättyä turpeen läpi virtaavasta vedestä suoraan turvehiukkasten pinoille. Aapasuot suodattavat myös kiintoainesta ja siihen sitoutuneita ravinteita tehokkaasti lävitseen kulkevasta vedestä. Näin aapasuot voivat vähentää sekä luontaista että ihmisen esimerkiksi metsä- ja maataloudella aiheuttamaa yläpuoliselta valuma-alueelta tulevaa ravinne- ja kiintoainekuormitusta (Nieminen ym. 2005, Väänänen ym. 2008, Vikman ym. 2010).

Keidassoiden kyky poistaa vedestä ravinteita on vähäinen, vaikka niidenkin turpeeseen kertyy ravinteita (ks. Metsäojitettujen soiden vesistökuormitus s. 205). Luonnontilaisten keidassoiden vähäinen kyky poistaa ravinteita johtuu siitä, että ne saavat suurimman osan vedestään niukasti ravinteita sisältävästä sateesta ja niille valuu ympäristöstä paljon vähemmän vettä kuin aapasoille. Kaikkein ohutturpeisimmat luonnontilaiset suot saattavat myös kivennäismaiden tapaan päästää ravinteita veteen, koska niillä kasvit pystyvät ottamaan turpeen alla olevasti kivennäismaasta rapautuvia ravinteita käyttöönsä. Ohutturpeisetkin suot ja keidassoiden laitteet voivat kuitenkin poistaa vedestä kiintoainesta.

Luonnontilaiset suot voivat poistaa vedestä erityisesti kivennäisravinteita ja lisäksi typpeä, etenkin jos typen pitoisuus on suolle tulevassa vedessä suuri (ks. Ojittamattomien ja ojitettujen soiden vesistökuormitus s. 199; Väänänen ym.

2008, Vikman ym. 2010). Luonnontilainen suo voi kuitenkin myös päästää veteen typpeä, koska suolle luonnontilaisilta kivennäismailta tulevan veden typpipitoisuus on yleensä alhainen ja biologinen typensidonta ilmakehästä kerryttää erityisesti märillä avosoilla runsaasti typpeä (Vaughan & Bellamy 1980, Larmola ym. 2013). Soilta pääsee vesistöihin erityisesti liuennta orgaanista typpeä, kun vesi kulkee turvekerroksen läpi ja siihen liukenee orgaanista ainetta ja sen osana typpeä (Kortelainen ym. 1997). Luonnontilaisilta soilta huuhtoutuu vesistöihin orgaanista ainetta huomattavasti enemmän kuin kivennäismailta.

Luonnontilaiset suot happamoittavat vesistöjä, koska ne poistavat vedestä happamuutta vähentäviä aineita kertyvään turpeeseen ja päästävät veteen orgaanisia happoja (Tahvanainen ym. 2002). Happaman laskeuman vesistöjä happamoittavaa vaikutusta suot kuitenkin vähentävät, koska ne pidättävät tehokkaasti happamoitumista aiheuttavaa laskeumaa (Palviainen ym. 2015, Ekholm ym. 2020). Happamia sulfaattimaita ja mustaliuskealueita lukuun ottamatta ojitus yleensä vähentää valuma-alueelta vesistöihin valuvan veden happamuutta (Ahtiainen & Huttunen 1999, Joensuu 2002, Kløve ym. 2012). Jos metsäojitettu keidassuo on kokonaisuudessaan ombrotrofinen, ojitus voi kuitenkin happamoittaa vesistöihin valuvia vesiä (Sallantaus 1992). Ojitetuilta valuma-alueilta voi ajoittain valua happamampaa vettä kuin ojittamattomilta myös esimerkiksi voimakkaiden sateiden takia (Kløve ym. 2012).

Kun suo ojitetaan, suolle tulevat vedet ohjataan kulkemaan ojia pitkin suon läpi tai ohi. Tämän seurauksena suolle tulevat vedet eivät enää kulje suon pintakerroksen läpi, ja suon kyky pidättää sille tulevasta vedestä ravinteita tai kiintoainesta heikkenee. Lisäksi turpeen kertyminen vaihtuu useimmiten turpeen hävikiksi (ks. Ojituksen vaikutus maaperän kasvihuonekaasupäästöihin s. 173), minkä seurauksena ravinteita alkaa kertymisen sijaan vapautua turpeesta. Ojitus lisääkin selvästi suolta tulevaa typpi- ja fosforikuormitusta (ks. Ojittamattomien ja ojitettujen soiden vesistökuormitus ja Metsäojitettujen soiden vesistökuormitus). Myös liuenneen orgaanisen aineen kuormitus kasvaa, kun turve maatuu ja sen ominaisuudet muuttuvat ojituksen jälkeen. Kuormituksen syntyyn vaikuttaa myös valunta-

reittien muuttuminen ojituksen vaikutuksesta, jolloin myös syvemmistä turvekerroksista huuhtoutuu liukoisia aineita valumavesiin. Liuenneen orgaanisen aineen tummuus muuttaa vesistöjen valaistusoloja, ja orgaanisen aineen hajoaminen vesistöissä kuluttaa happea ja voi aiheuttaa hapettomuutta (Palviainen & Finér 2013).

Metsäojitetun suon ravinnekuormitus on huomattavasti suurempi kuin kivennäismaan metsän (ks. Ojittamattomien ja ojitetujen soiden vesistökuormitus s. 199). Turpeennostoalueen ravinnekuormitus on monikertainen metsäojitettuun suohon verrattuna. Suopellon ravinnekuormitus on vielä suurempi. Myös kivennäismaan peltojen kuormitus on kuitenkin suurta, ja suopellon suuri kuormitus johtuu osin maanmuokkauksista ja lannoituksista eikä ole täysin turvemaan erityispiirre. Suopellot ja turpeennostoalueet voivat olla paikallisesti merkittäviä vesistöjen kuormittajia, mutta turpeennostoalueilla pakolliset vesiensuojelutoimet vähentävät kuormitusta merkittävästi. Suopelloilta syntyvään kuormitukseen vaikuttaa huomattavasti turvekerroksen paksuus: mitä paksumpi turvekerros, sitä enemmän huuhtoutuu etenkin tyypeä. Metsäojitetuilla soilla paikallista kuormitusta aiheuttavat erityisesti voimakkaat hakkuut, koska niiden seurauksena ravinteita ottava kasvillisuus vähenee ja vedenpinta turpeessa nousee (Finér ym. 2010, Kaila ym. 2014, 2015). Sekä metsäojitetut suot että suopellot ovat myös alueellisesti ja valtakunnallisesti merkittäviä typen ja fosforin kuormituslähteitä (Myllys 2019, Nieminen, M. ym. 2020a, Finér ym. 2020, 2021).

Luonnontilaiselta suolta valuvassa vedessä on hyvin vähän kiintoainesta, koska vesi on suotautunut kasvillisuuden ja pintaturpeen läpi (Finér ym. 2010). Ojitetulla suolla ojien kasvittomista reunoista ja pohjista irtoaa turvetta ja ojan pohjan ylettyessä hienojakoiseen kivennäismaahan myös kivennäismaata (Stenberg ym. 2015, Palviainen & Finér 2013). Pelloilla ja turpeennostoalueilla myös kasvittomilta saroilta irtoaa turvetta erityisesti rankkasateiden ja lumensulamisesien mukana. Ojia myöten kiintoaines kulkeutuu vesistöihin ja laskeutuu helposti suon läheisten pienten virtavesien ja lampien pohjiin. Kiintoaines liettää ja peittää pienvesistöjen pohjia (Turunen ym. 2017) ja haittaa esimerkiksi monien kalalajien lisääntymistä. Kiintoaineskuormituksen vaiku-

tus rajoittuu lähinnä pienvesiin, ja esimerkiksi järvien pohjiin kertyviin sedimenttikerroksiin soiden ojituksella ei ole havaittu olevan merkittävää vaikutusta (Pajunen 2004, Mäkinen & Pajunen 2005, Vähäkuopus ym. 2020). Koska turvetta irtoaa ojien kasvittomista reunoista ja pohjista, kiintoainespäästö vähenee erityisesti metsäojitusalueilla vuosien kuluessa ojituksesta tai ojien perkauksesta, kun kasvillisuus valtaa ojan (Palviainen & Finér 2013). Jos metsäojan pohja ylettyy hienojakoiseen kivennäismaahan, kiintoainespäästö voi jatkua pitkään ojan syöpyessä vähitellen syvemmäksi (Joensuu 2002, Stenberg ym. 2016, Nieminen ym. 2017).

Itämeren rannikkoalueilla esiintyy entisellä merenpohjalla kivennäismailla ja turvekerrosten alla happamia sulfaattimaita ja muuallakin Suomessa paikoitellen mustaliusketta (ks. Happamat sulfaattimaat ja ojitus s. 211). Kun tällaiset kivennäismaakerrokset tai välittömästi niiden yläpuolella oleva turvekerrokset hapettuvat ojituksen seurauksena, ne happamoituvat voimakkaasti (Saarinen ym. 2013, Nieminen ym. 2016). Happamuus liuottaa maaperästä metalleja vesistöihin, ja happamat, metallipitoiset vedet vahingoittavat vesieliöstöä (Sutela ym. 2012). Erityisesti soistumilla ja ohutturpeisilla soilla jo ensiojitus on voinut hapettaa maaperän rikkiyhdisteitä, mikä aiheuttaa happamoitumista. Alun perin paksuturpeisillakin happamien sulfaattimaiden tai mustaliuskealueiden soilla ojien kunnostus voi aiheuttaa happamoitumista: kunnostetut ojat ulottuvat yleensä aiempaa syvempiin kerroksiin ja voivat ulottua rikkipitoisiin kivennäismaakerroksiin asti, jos maanpinta on painunut tarpeeksi turpeen tiivistymisen ja hävikin takia.

Metsäojitus on erityisen merkittävä pienten latvavesistöjen kuormittaja, koska näillä alueilla ei usein esiinny muuta ihmisen aiheuttamaa vesistöjen ravinne-, humus- ja kiintoaineskuormitusta (Aroviita ym. 2016, Rääpysjärvi ym. 2016, Turunen ym. 2016). Kuormituksen lisäksi metsäojitus on muuttanut voimakkaasti metsäisten alueiden pienvesiä, kun suoalueen purot, allikot ja lähteet on kuivattu tai muutettu ojiksi (Lammi ym. 2018). Kuormituksen vähentämisen lisäksi pienvesien tilaa voidaan parantaa kunnostamalla ja ennallistamalla niitä (Lammi ym. 2018). Esimerkiksi voidaan poistaa siltarumpujen kaloille aiheutta-



Kuva 5. Metsäojitettua suota ennallistamalla perustettu pintavalutuskenttä. Suon läpi kulkeva oja on tukittu, jolloin vesi siirtyy kulkemaan pintamaakerroksen lävitse. Vedessä oleva kiintoaines suodattuu tehokkaasti, ja kentän ikääntyessä se voi poistaa myös veteen liuenneita ravinteita. Kentältä on poistettu puusto, ettei se kuollessaan ja lahotessaan vapautta helposti veteen liukenevia ravinteita. Kuva: Reijo Hokkanen, Metsähallitus Metsätalous Oy.

mia nousuesteitä, muokata purouomia ojitusta edeltäneeseen muotoon tai kunnostaa kaloille kutosoraikkoja (Hämäläinen 2015).

Luonnontilaiset suot eivät estä suuria tulvia tehokkaasti, koska niillä vedenpinta on lähellä maanpintaa (ks. Hydrologia – suon synnyn ja kehityksen ohjaaja s. 125). Runsaat sateet tai lumensulamisedet eivät pysty imeytymään suohon vaan valuvat suon pintaa pitkin nopeasti vesistöihin (Burt 1995). Pieniä määriä vettä voi kuitenkin pidättyä suon painanteiden eli rimprien ja kuljujen täytyessä vedellä (Hyvärinen ja Vehviläinen 1980). Ojituksella on sekä tulvimista lisääviä että sitä vähentäviä vaikutuksia (ks. Hydrologia – suon synnyn ja kehityksen ohjaaja): Ojitetulta suolta vesi pääsee kulkemaan nopeasti ojia pitkin vesistöihin. Toisaalta ojitus alentaa vedenpintaa turpeessa, minkä seuraukse-

na turpeeseen syntyy veden varastotilaa ja vettä voi varastoitua enemmän kuin luonnontilaisella suolla. Ojitus ei yksiselitteisesti lisää tai vähennä tulvia, vaan kokonaisvaikutus riippuu sääoloista ja ojitusalueen sijainnista valuma-alueella sekä metsäojitusalueilla myös ojituksen vaikutuksesta puuston kasvuun ja haihduntaan (Mustonen & Seuna 1971, Lundin 1999).

Metsäojitetuilla soilla ojitus voi aikojen kuluessa vähentää valumia ja tasata kevättulvia, kun puusto runsastuu (ks. Hydrologia – suon synnyn ja kehityksen ohjaaja s. 125). Merkittävä osuus satavasta lumesta haihtuu suoraan puiden oksilta ja puuston alle satanut lumi sulaa hitaasti puuston varjostuksen vuoksi (Nieminen ja Ahti 2000, Koivusalo ym. 2008). Metsäojitettukaan suo ei kuitenkaan ole kovin tehokas tulvien tasaaja, koska sielläkin vedenpinta nousee runsaiden sateiden

tai lumensulamisesvien seurauksena maanpintaan. Sen jälkeen vesi alkaa valua suonpintaa pitkin ojiin ja niitä pitkin nopeasti alapuolisiin vesistöihin.

Ojituksen aiheuttaman vesistökuormituksen vähentäminen

Soiden ojituksen aiheuttamaa vesistökuormitusta voidaan vähentää sekä ehkäisemällä kuormitusta aiheuttavien päästöjen syntymistä että pidättämällä syntyneitä päästöjä erilaisilla vesiensuojelun menetelmillä. Kiintoainespäästöjen syntymistä ojissa voidaan ehkäistä kunnostamalla ojia vain, kun se on välttämätöntä, sekä välttämällä jyrkästi viettävien ja kivennäismaahan ulottuvien ojien kaivua (Palviainen & Finér 2013). Metsäojitetuilla soilla kunnostusojitusten tarveharkinta ja huolellinen suunnittelu ovat keskeisiä keinoja kiintoainekuormituksen torjunnassa, koska päästö syntyy pääasiassa ojissa. Pelloilla myös kasvipeitteisyyden lisääminen kasvukauden ulkopuolella esimerkiksi suorakylvön tai nurmenviljelyyn siirtymisen avulla vähentää kiintoainespäästöjä, koska kiintoainekuormitusta syntyy ojien lisäksi kasvittomilla saroilla (Puustinen ym. 2019).

Kiintoainespäästön syntymistä ojissa voidaan ehkäistä ojien kaivun tai kunnostuksen yhteydessä tehtävillä virtaamansäätöpadoilla, jotka on todettu toimiviksi sekä metsäojitetuilla soilla että turpeennostoalueilla (Marttila & Kløve 2010, Marttila ym. 2010, Kløve ym. 2012). Padot hidastavat veden virtausta ojissa silloin, kun se on voimakkainta lumen sulamisen ja runsaiden sateiden aikaan. Näin kiintoainesta irtoaa vähemmän ojien seinästä. Padot myös pidättävät jo liikkeelle lähtenyt kiintoainesta, koska erityisesti karkea kiintoaines laskeutuu ojien pohjille veden virratessa tarpeeksi hitaasti. Myös muunlaisilla padottavilla rakenteilla ja puuaineksen lisäyksellä (Salmelin ym. 2020) voidaan hidastaa veden virtausta ja vähentää kiintoainekuormitusta metsäojissa. Padottavien rakenteiden lisäksi kaivukatkojen, eli sen että ojiin jätetään perkaamattomia osuuksia, on havaittu vähentävän kiintoainekuormitusta (Haahti ym. 2018).

Pintavalutuskentät ovat metsäojitetuilla soilla ja turpeennostoalueilla osoittautuneet tehokkaaksi keinoksi pidättää liikkeelle lähtenyt kiinto-

ainesta, ja ne voivat parhaimmillaan suodattaa vedestä lähes kaiken kiintoaineksen (Sallantaus ym. 1998, Nieminen ym. 2005, Kløve ym. 2012). Ojitusalueelta tuleva vesi johdetaan vesistöön luonnontilaisen tai ojat tukkimalla ennallistetun, valuma-alueen pinta-alasta muutaman prosentin kattavan suon kautta (kuva 5). Pintavalutus kentällä kiintoainesta suodattuu pois vedestä ja hautautuu kertyvän turpeen joukkoon samaan tapaan kuin luonnontilaisella aapasuolla. Aapasoiden reunaosien metsäojitusalueilta on alettu myös ohjaamaan vesiä suon ojittamattomiin, usein pinta-alaltaan laajoihin keskiosiin (kuva 6). Tällöin puhutaan vesienpalauttamisesta, ja sen keskeisenä tavoitteena on vesiensuojelun rinnalla edistää ojittamattoman suoalueen luonnontilaa. Maataloudessa pintavalutuskenttien perustaminen ei yleensä ole mahdollista, mutta kiintoainekuormitusta voidaan vähentää hyvin suunnitelluilla ja riittävän isoilla kosteikoilla (Puustinen ym. 2001, 2019, Koskiaho & Puustinen 2019).

Samat keinot, jotka ehkäisevät kiintoainespäästöjen syntymistä ja pidättävät kiintoainekuormitusta, vähentävät myös kiintoainekseen sitoutuneiden ravinteiden ja metallien aiheuttamaa kuormitusta. Vesistöjen rehevöitymisen ehkäisemisessä keskeistä on kuitenkin veteen liuenneiden ravinteiden kuormituksen vähentäminen. Ravinnepäästöjen syntymistä voidaan pelloilla ja metsissä ehkäistä huolehtimalla, että ravinteita vapautuu vain sen verran kuin kasvillisuus pystyy niitä hyödyntämään. Turpeen hajoamisessa vapautuvien ravinteiden määrää voidaan vähentää pitämällä vedenpinta mahdollisimman korkealla. Maataloudessa vedenpintaa voidaan nostaa säätösalojituksella (Puustinen ym. 2019). Metsätaloudessa vedenpintaa voidaan nostaa välttämällä kunnostusojituksia, hyödyntämällä erilaisia padottavia rakenteita ja säätelemällä vettä haihduttavan puuston määrää (ks. Hydrologia – suon synnyn ja kehityksen ohjaaja s. 125).

Maataloudessa keskeinen ravinnepäästöjen syntymisen ehkäisykeino on mitoittaa lannoitus viljelykasvien tarpeen ja maaperän ominaisuuksien mukaan (Turtola ym. 2017). Turvemaiden siirtäminen viljelykäytöstä esimerkiksi laitumiksi tai metsätalouteen voisi mahdollistaa vedenpinnan noston ja hidastaa ravinteiden vapautumista turpeesta. Metsäojitetuilla soilla siirtyminen



Kuva 6. Aapasuolouonnon ja vesistöjen suojelua kunnostusojituksen yhteydessä. Kuvan rimpinen avosuota on kuivunut ja alkanut kasvaa umpeen, kun viereisen metsäojitusalueen vedet on aikoinaan johdettu avosuon ohi läheiseen jokeen. Kunnostusojituksen yhteydessä ojitusalueelta valuvia vesiä on kuvassa näkyvien uusien ohjurioiden avulla käännetty kulkemaan takaisin avosuolle. Näin ojittamaton suo saadaan uudelleen märäksi ja samalla se suodattaa ojitusalueelta valuvasta vedestä kiintoainesta ja ravinteita. Kuva: Jani Antila, Tapio Oy.

jatkovapeitteiseen kasvatukseen voi ehkäistä avohakkuiden aiheuttaman äkillisen vedenpinnan nousun ja ravinteiden oton vähenemisen aiheuttamaa ravinnepäästöä ja samalla vähentää kunnostusojitusten tarvetta (Nieminen ym. 2018, Leppä ym. 2020a, b). Turpeennostoalueilla ravinnepäästöjen syntymistä on vaikea ehkäistä, koska ravinteita ottavaa kasvillisuutta ei ole ja vedenpinta on pidettävä syvällä turpeen kuivumista ja korjuuta varten. Toisaalta turpeennostoalueet on yleensä varustettu tehokkaammin vesiensuojeluratkaisuin kuin pellot ja metsäojitusalueet.

Kiintoainekuormitusta pidättävistä vesiensojelumenetelmistä liuenneita ravinteita pidättävät metsäojitetuilla soilla ja turpeennostoalueilla yleensä vain pintavalutuskentät (Väänänen ym. 2008, Vikman ym. 2010, Kløve ym. 2012, Heikki-

nen ym. 2018). Jos pintavalutuskenttä perustetaan ohjaamalla vettä ojittamattomalle suolle, kenttä voi pidättää ravinteita tehokkaasti heti perustamisesta alkaen. Jos kenttä perustetaan vettämällä ojittettua suota, ravinteita voi ensimmäisinä vuosina pidättymisen sijaan vapautua hyvin runsaastikin (Sallantaus ym. 1998, Kløve ym. 2012, Postila ym. 2014, Nieminen, M. ym. 2020b) samaan tapaan kuin ennallistetuilta soilta muutenkin (Koskinen ym. 2017, Kareksela ym. 2020).

Pelloilla kosteikat pidättävät kiintoaineksen ohella myös liuenneita ravinteita (Puustinen ym. 2001, 2019, Koskiaho & Puustinen 2019). Kosteikoilla veteen liunneen ravinnekuormituksen väheneminen perustuu erityisesti siihen, että pelloilta tulevassa vedessä liunneiden ravinteiden pitoisuudet ovat korkeita (Puustinen ym. 2001).

Metsäojitetuilta soilta tulevien vesien liuenneiden ravinteiden pitoisuudet ovat huomattavasti matalampia, ja niillä kosteikkojen avulla pystytään yleensä pidättämään lähinnä kiintoainesta (Nieminen ym. 2005). Mikäli ravinnepitoisuudet ovat koholla esimerkiksi kunnostusojituksen jälkeen, myös ravinteiden pidättyminen voi kuitenkin olla tehokasta (Hynninen ym. 2011).

Muista ojitetuista soista poiketen turpeennostoalueilla käytetään myös kemiallista vedenpuhdistusta, jossa kemikaalien avulla saostetaan veteen liuenneita aineita (Kløve ym. 2012). Sillä voidaan vähentää erityisesti kiintoaineen ja fosforin kuormitusta, mutta typen osalta tulokset ovat vaatimattomampia, koska menetelmä ei poista vedestä epäorgaanista typpeä (Kløve ym. 2012). Lisäksi haasteena on puhdistetun veden happamuuden pitäminen alapuolisille vesistöille suotuisana.

Happamien sulfaattimaiden metsiä kunnostusojitettaessa tärkeää on, ettei ojia kaiveta rikkipitoisiin kerroksiin asti (ks. Happamat sulfaattimaat ja ojitus). Jos ojien kunnostus on välttämätöntä, kaivetaan mieluummin matalia täydennysojia kuin syvennetään olemassa olevia ojia (Hannila ym. 2015). Syvälle ulottuvia kokoojajia ja vesien-suojelurakenteita, kuten laskeutusaltaita, pyritään välttämään (Nieminen ym. 2016). Maanmuokkauksessa suositetaan kevyitä menetelmiä tai metsä uudistetaan esimerkiksi alikasvoksesta, jolloin muokkausta ei tarvita (Nieminen, T. ym. 2020). Salaojitetussa pellossa hapettuminen ulottuu usein jopa kahden metrin syvyyteen, joten syvälläkin olevat rikkipitoiset kerrokset ovat hapettuneet ja happamoituneet. Happamoitumisen etenemistä voidaan estää pitämällä kasvukauden aikainen pohjaveden pinnankorkeus mahdollisimman tasaisena esimerkiksi sääätosalaoituksella tai -kastelulla (Österholm ym. 2015, Puustinen ym. 2019). Turpeennostoalueilla turpeen nosto tulee lopettaa niin aikaisin, ettei ojia tarvitse kaivaa sulfaattimaakerroksiin asti (Auri ym. 2018).

Monet tehokkaat vesiensuojelumenetelmät edistävät myös suo- ja vesiluonnon suojelua ja ennallistamista. Kosteikkojen perustaminen tarjoaa vesiensuojelun lisäksi elinympäristöjä erityisesti vesilinnuille (Puustinen ym. 2001, Joensuu ym. 2012). Puuaines on tärkeää myös vesieliöstölle (Salmelin ym. 2020), ja puuaineksen lisäksi ojiin

voikin pintavalutuskenttien perustamisen ja vesien ojittamattomalle suonosalle ohjaamisen tapaan edistää yhtä aikaa vesiensuojelua ja suo- ja vesiluonnon monimuotoisuutta.

Kirjallisuus

- Ahtiainen, M. & Huttunen, P. 1999. Long-term effects of forestry managements on water quality and loading in brooks. *Boreal Environment Research* 4: 101–114. Saatavissa: <http://www.borenv.net/>
- Aroviita, J., Karjalainen, S. M., Turunen, J., Muotka, T. & Rääpysjärvi, J. 2016. Metsätalouden ekologiset vesistövaikutukset ja purojen tilan arvioinnin kehitystarpeet. *Vesitalous* 1/2016: 16–20. Saatavissa: https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2016/02/VT1601_.pdf
- Auri, J., Boman, A., Hadzic, M. & Nystrand, M. 2018. Opas happamien sulfaattimaiden kartoitukseen turvetuotantoalueilla. Versio 1, 12.2.2018. Toimintamallit happamuuden ennakoimiseksi ja riskien hallitsemiseksi turvetuotantoalueilla -hanke. 14 s.
- Burt, T.P. 1995. The role of wetlands in runoff generation from headwater catchments. Teoksessa: Hughes, J. & Heathwaite, L. (toim.). *Hydrology and hydrochemistry of British wetlands*. John Wiley & Sons Ltd. s. 21–38.
- Ekhholm, P., Lehtoranta, J., Taka, M., Sallantausta, T. & Riihimäki, J. 2020. Diffuse sources dominate the sulfate load into Finnish surface waters. *Science of the Total Environment* 748: 141297. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141297>
- Finér, L., Lepistö, A., Karlsson, K., Räike, A., Härkönen, L., Huttunen, M., Joensuu, S., Kortelainen, P., Mattsson, T., Piirainen, S., Sallantausta, T., Sarkkola, S., Tattari, S. & Ukonmaanaho, L. 2021. Drainage for forestry increases N, P and TOC export to boreal surface waters. *Science of the Total Environment* 762: 144098. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144098>
- Finér, L., Lepistö, A., Karlsson, K., Räike, A., Tattari, S., Huttunen, M., Härkönen, L., Joensuu, S., Kortelainen, P., Mattsson, T., Piirainen, S., Sarkkola, S., Sallantausta, T., Ukonmaanaho, L., 2020. Metsistä ja soilta tuleva vesistökuormi-

- tus 2020, Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja. Valtioneuvoston kanslia, Helsinki. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-826-7>
- Finér, L., Mattsson, T., Joensuu, S., Koivusalo, H., Laurén, A., Makkonen, T., Nieminen, M., Tattari, S., Ahti, E., Kortelainen, P., Koskiaho, J., Leinonen, A., Nevalainen, R., Piirainen, S., Saarelainen, J., Sarkkola S., Vuollekoski, M., 2010. Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta. Suomen ympäristö 10/2010. 1–33. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/37973>
- Frolking, S., Roulet, N. & Fuglestedt, J. 2006. How northern peatlands influence the Earth's radiative budget: Sustained methane emission versus sustained carbon sequestration. *Journal of Geophysical Research* 111: G01008. Saatavissa: <https://doi.org/10.1029/2005JG000091>
- Frolking, S. & Roulet, N. 2007. Holocene radiative forcing impact of northern peatland carbon accumulation and methane emissions. *Global Change Biology* 13: 1079–1088. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01339.x>
- Hahti, K., Nieminen, M., Finér, L., Marttila H., Kokkonen, T., Leinonen, A. & Koivusalo, H. 2018. Model-based evaluation of sediment control in a drained peatland forest after ditch network maintenance. *Canadian Journal of Forest Research* 48(2): 130–140. Saatavissa: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0269>
- Hannila, J., Willner, M., Sundsten, K. & Nieminen, T.M. 2015. Metsien kunnostusojitus happamien sulfaattimaiden esiintymisalueella. Perhonjoen happamuuden hallinta (PAHA) -projekti. Kokkolan kaupunki, Ympäristöpalvelut. 7 s.
- Heikkinen, K., Karppinen, A., Karjalainen, S.M., Postila, H., Hadzic, M., Tolkkinen, M., Marttila, H., Ihme R. & Kløve, B. 2018. Long-term purification efficiency and factors affecting performance in peatland based treatment wetlands: An analysis of 28 peat extraction sites in Finland. *Ecological Engineering* 117: 153–164. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.04.006>
- Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V. & Regina, K. 2013. Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. *Global Change Biology* 19: 1456–1469. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/gcb.12137>
- Helle, P., Lindén, H. & Wikman, M. 2002. Metsäkanalintujen viimeaikaisista runsaudenmuutoksista Suomessa. *Linnut-vuosikirja 2002*: 92–97. Saatavissa: https://lintulehti.birdlife.fi:8443/pdf/artikkelit/2207/tiedosto/ocrskanus045_artikkelit_2207.pdf#view=FitH
- Hommeltenberg, J., Schmid, H.P., Drösler, M. & Werle, P. 2014. Can a bog drained for forestry be a stronger carbon sink than a natural bog forest? *Biogeosciences* 11: 3477–3493. <https://doi.org/10.5194/bg-11-3477-2014>
- Hotanen, J.-P. 1998. Metsänparannuksen vaikutus soiden monimuotoisuuteen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 674: 7–19. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1611-4>
- Hotanen, J.-P., Kokko, A., Mäkelä, K. 2018. Metsäoijitetut suot. Teoksessa: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). Suomen luontotyyp-
pien uhanalaisuus 2018. Osa I – tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristö 5/ 2018: 156–161. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4816-3>
- Hotanen, J.-P., Maltamo, M. & Reinikainen, A. 2006. Canopy stratification in peatland forests in Finland. *Silva Fennica* 40(1): 53–82. Saatavissa: <https://doi.org/10.14214/sf.352>
- Hotanen, J.-P., Korpela, L., Mikkola, K., Mäkipää, R., Nousiainen, H., Reinikainen, A., Salemaa, M., Silfverberg, K., Tamminen, M., Tonteri, T. & Vanha-Majamaa, I. 2001. Metsä- ja suokasvien yleisyys ja runsaus 1951–95. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). 2001. Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Jyväskylä. s. 84–301.
- Hotanen, J.-P., Saarinen, M. & Nousiainen, H. 2015. Avosuo- ja sekatyyp-
pien turvekan-
gaskerähdys. *Suo* 66(1): 13–32. Saatavissa: <http://www.suo.fi/pdf/article9896.pdf>
- Hynninen, A., Sarkkola, S., Laurén, A., Koivusalo, H. & Nieminen, M. 2011. Capacity of riparian buffer areas to reduce ammonium export originating from ditch network maintenance areas in peatlands drained for forestry. *Boreal Environment Research* 16(5): 430–440. Saatavissa: www.borenv.net

- Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. (toim.) 2019. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 704 s. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/299501>
- Hyvärinen, V. & Vehviläinen, B. 1981. The effects of climatic fluctuations and man on discharge in Finnish river basins. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 43: 15–23. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/31183>
- Hämäläinen, L. (toim.) 2015. Pienvesien suojeleja kunnostusstrategia. Ympäristöministeriön raportteja 27/2015: 1–69. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/159068>
- Joensuu, S. 2002. Effects of ditch network maintenance and sedimentation ponds on export loads of suspended solids and nutrients from peatland forests. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 868: 1–83. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1852-4>
- Joensuu, S., Kauppila, M., Tenhola, T. & Lindén, M. 2012. Kosteikat metsätaloudessa – selvitys. TASO-hanke. 13 s. <https://www.ymparisto.fi/fi-FI/TASOhanke/Julkaisut>
- Juutinen, A., Saarimaa, M., Ojanen, P., Sarkkola, S., Haara, A., Karhu, J., Nieminen, M., Minkkinen, K., Penttilä, T., Laatikainen, M. & Tolvanen, A. 2019. Trade-offs between economic returns, biodiversity, and ecosystem services in the selection of energy peat production sites. *Ecosystem Services* 40: 101027. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101027>
- Kaakinen, E., Kokko, A., Aapala, K., Autio, O., Eurola, S., Hotanen, J.-P., Kondelin, H., Lindholm, T., Nousiainen, H., Rehell, S., Ruuhijärvi, R., Sallantausta, T., Salminen, P., Tahvanainen, T., Tuominen, S., Turunen, J., Vasander, H., Virtanen, K. 2018. Suot. Teoksessa: Kontula T., Raunio A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja. Osa 1 – tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristö 5/2018: 117–170. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4816-3>
- Kaila, A., Laurén, A., Sarkkola, S., Koivusalo, H., Ukonmaanaho, L., O’Driscoll, C., Xiao, L., Asam, Z. & Nieminen, M. 2015. Effect of clear-felling and harvest residue removal on nitrogen and phosphorus export from drained Norway spruce mires in southern Finland. *Boreal Environment Research* 20: 693–706. Saatavissa: <http://www.borenv.net/>
- Kaila, A., Sarkkola, S., Laurén, A., Ukonmaanaho, L., Koivusalo, H., Xiao, L., O’Driscoll, C., Asam, Z., Tervahauta, A. & Nieminen, M. 2014. Phosphorus export from drained Scots pine mires after clear-felling and bioenergy harvesting. *Forest Ecology and Management* 325: 99–107. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.025>
- Kareksela, S., Ojanen, P., Aapala, K., Haapalehto, T., Ilmonen, J., Koskinen, M., Laiho, R., Laine, A., Maanavilja, L., Marttila, H., Minkkinen, K., Nieminen, M., Ronkanen, A.-K., Sallantausta, T., Sarkkola, S., Tolvanen, A., Tuittila, E.-S. & Vasander, H. 2020. Soiden ennallistamisen biodiversiteetti-, vesistö- ja ilmastovaikutukset. Luontopaneelin raportti. Käsikirjoitus.
- Karsisto, K. 1974. Metsänparannusalueet riistan kannalta. *Suo* 25(2): 35–40. Saatavissa: <http://www.suo.fi/article/9425>
- Kløve, B., Tuukkanen, T., Marttila, H., Postila, H. & Heikkinen, K. 2012. Turvetuotannon kuormitus – kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arvio turvetuotannon vesistökuormitukseen vaikuttavista tekijöistä. TASO-hanke. 29 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-257-505-0>
- Koivisto, L. & Lampela, M. 2008. Vanhojen metsäoijituskokeiden opetukset. Teoksessa: Ojanen, P., Vanhatalo, A., Kuuluvainen, T., Niemelä, P. & Vasander, H. (toim.). Kultakäkösen kukuntakunnailla. Helsingin yliopiston metsäekologian laitoksen julkaisuja 38: 169–178.
- Koivusalo, H., Ahti, E., Laurén, A., Kokkonen, T., Karvonen, T., Nevalainen, R. & Finér, L. 2008. Impacts of ditch cleaning on hydrological processes in a drained peatland forest. *Hydrology and Earth System Sciences* 12: 1211–1227. Saatavissa: <https://doi.org/10.5194/hess-12-1211-2008>
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Hotanen, J.-P., Nevalainen, S., Pitkänen, J., Strandström, M.

- & Viiri, H. 2017. Suomen metsät 2009–2013 ja niiden kehitys 1921–2013. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus, 59/2017: 1–86. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201709198647>
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Rätty, M., Ahola, A., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Hotanen, J.-P., Melin, M., Pitkänen, J. & Strandström, M. 2020. Suomen metsät 2014–2018 ja niiden kehitys 1921–2018. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus. Käsikirjoitus.
- Koskiaho, J. & Puustinen, M. 2019. Suspended solids and nutrient retention in two constructed wetlands as determined from continuous data recorded with sensors. *Ecological Engineering* 137: 65–75. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.04.006>
- Koskinen, M., Tahvanainen, T., Sarkkola, S., Menberu, M., Laurén, A., Sallantausta, T., Marttila, H., Ronkanen, A.-K., Parviainen, M., Tolvanen, A., Koivusalo, H. & Nieminen, M. 2017. Restoration of nutrient-rich forestry-drained peatlands poses a risk for high exports of dissolved organic carbon, nitrogen, and phosphorus. *Science of the Total Environment* 586: 858–869. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.065>
- Kortelainen, P., Saukkonen, S. & Mattsson, T. 1997. Leaching of nitrogen from forested catchments in Finland. *Global Biogeochemical Cycles* 11(4): 627–638. Saatavissa: <https://doi.org/10.1029/97GB01961>
- Laiho, R., Tuominen, S., Kojola, S., Penttilä, T., Saarinen, M. & Ihalainen, A. 2016. Heikotuohto- ja ojitettujen suometsät – missä ja paljonko niitä on? *Metsätieteen aikakauskirja* 2016/2: 5957. Saatavissa: <https://doi.org/10.14214/ma.5957>
- Laine, J., Vasander, H., Hotanen, J.-P., Nousiainen, H., Saarinen, M. & Penttilä, T. 2018. Suotyypit ja turvekankaat – kasvupaikkaopas. *Metsäkustannus*, Helsinki. 160 s.
- Lammi A., Kokko A., Kuoppala M., Aroviita J., Ilmonen J., Jormola J., Karonen M., Kotanen J., Luotonen H., Muotka T., Mykrä H., Rintanen T., Sojakka P., Teeriaho J., Teppo A., Toivonen H., Urho L., Vuori K.-M. 2018. Sisävedet ja rannat. Teoksessa: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja. Osa 1 – tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristö 5/2018: 81–115. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4816-3>
- Larmola, T., Leppänen, S.M., Tuittila, E.-S., Aarve, M., Merilä, P., Fritze, H. & Tirola, M. 2013. Methanotrophy induces nitrogen fixation during peatland development. *PNAS* 111(2): 734–739. Saatavissa: <https://doi.org/10.1073/pnas.1314284111>
- Lehtonen, A., Linkosalo, T., Peltoniemi, M., Sievänen, R., Mäkipää, R., Tamminen, P., Salemaa, M., Nieminen, T., Tupek, B., Heikkinen, J. & Komarov, A. 2016. Forest soil carbon stock estimates in a nationwide inventory: evaluating performance of the ROMULv and Yasso07 models in Finland. *Geoscientific Model Development* 9: 4169–4183. Saatavissa: <https://doi.org/10.5194/gmd-9-4169-2016>
- Leppä, K., Korkiakoski, M., Nieminen, M., Laiho, R., Hotanen, J.-P., Kieloaho, A.-J., Korpela, L., Laurila, T., Lohila, A. K., Minkkinen, K., Mäkipää, R., Ojanen, P., Pearson, M., Penttilä, T., Tuovinen, J.-P., & Launiainen, S. 2020a. Vegetation controls of water and energy balance of a drained peatland forest: Responses to alternative harvesting practices. *Agricultural and Forest Meteorology* 295: 108198. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108198>
- Leppä, K., Hökkä, H., Laiho, R., Launiainen, S., Lehtonen, A., Mäkipää, R., Peltoniemi, M., Saarinen, M., Sarkkola, S. & Nieminen, M. 2020b. Selection cuttings as a tool to control water table level in boreal drained peatland forests. *Frontiers in Earth Science* 8: 576510. Saatavissa: <https://doi.org/10.3389/feart.2020.576510>
- Lohila, A., Minkkinen, K., Laine, J., Savolainen, I., Tuovinen, J.-P., Korhonen, L., Laurila, T., Tietäväinen, H. & Laaksonen, A. 2010. Forestation of boreal peatlands: Impacts of changing albedo and greenhouse gas fluxes on radiative forcing. *Journal of Geophysical Research* 115: G04011. Saatavissa: <https://doi.org/10.1029/2010JG001327>

- Ludwig, G., Alatalo, R., Helle, P., Nissinen, K. & Siitari, H. 2007. Large-scale drainage and breeding success in boreal forest grouse. *Journal of Applied Ecology* 45(1): 325–333. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01396.x>
- Lukkala, O.J. 1949. Soiden turvekerroksen painuminen ojituksen vaikutuksesta. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 37: 1–67. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:metla-201207171069>
- Lundin, L. 1999. Effects on hydrology and surface water chemistry of regeneration cuttings in peatland forests. *International Peat Journal* 9: 118–126.
- Marttila, H. & Kløve, B. 2010. Managing runoff, water quality and erosion in peatland forestry by peak runoff control. *Ecological Engineering* 36: 900–911. Saatavissa: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.04.002>
- Marttila, H., Vuori, K.-M., Hökkä, H., Jämsen, J. & Kløve, B. 2010. Framework for designing and applying peak runoff control structures for peatland forestry conditions. *Forest Ecology and Management* 260: 1262–1273. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.06.032>
- Mathijssen, P., Kähkölä, N., Tuovinen, J.-P., Lohila, A., Minkkinen, K., Laurila, T. & Väli-ranta, M. 2017. Lateral expansion and carbon exchange of a boreal peatland in Finland resulting in 7000 years of positive radiative forcing. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 122(3): 562–577. Saatavissa: <https://doi.org/10.1002/2016JG003749>
- Mathijssen, P., Tuovinen, J.-P., Lohila, A., Aurela, M., Juutinen, S., Laurila, T., Niemelä, E., Tuittila, E.-S. & Väli-ranta, M. 2014. Development, carbon accumulation, and radiative forcing of a subarctic fen over the Holocene. *The Holocene* 24(9): 1156–1166. Saatavissa: <https://doi.org/10.1177/0959683614538072>
- Melin, M., Mehtätalo, L., Helle, P., Ikonen, K. & Packalen, T. 2020. Decline of the boreal willow grouse (*Lagopus lagopus*) has been accelerated by more frequent snow-free springs. *Scientific Reports* 10: 6987 Saatavissa: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63993-7>
- Minkkinen, K., Korhonen, R., Savolainen, I. & Laine, J. 2002. Carbon balance and radiative forcing of Finnish peatlands 1990–2100 – the impact of forestry drainage. *Global Change Biology* 8: 785–799. Saatavissa: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00504.x>
- Minkkinen, K. & Ojanen, P. 2013. Pohjois-Pohjanmaan turvemaiden kasvihuonekaasutaseet. *Metlan työraportteja* 258: 75–111. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2412-2>
- Minkkinen, K., Ojanen, P., Penttilä, T., Aurela, M., Laurila, T., Tuovinen, J.-P. & Lohila, A. 2018. Persistent carbon sink at a boreal drained bog forest. *Biogeosciences* 15: 3603–3624. Saatavissa: <https://doi.org/10.5194/bg-15-3603-2018>
- Mustonen, S. & Seuna, P. 1971. Metsäojituksen vaikutuksesta suon hydrologiaan. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 2: 1–63. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/26033>
- Mäkinen, J. & Pajunen, H. 2005. Correlation of carbon with acid-soluble elements in Finnish lake sediments: two opposite composition trends. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 5(2): 169–181. Saatavissa: <https://doi.org/10.1144/1467-7873/05-072>
- Mylly, M. 1998. Soiden viljely. Teoksessa: Vasander, H. (toim.). *Suomen suot*. Suoseura ry. s. 64–71.
- Mylly, M. 2019. Turvepeltojen ravinnehuuhtoumien vähentämismahdollisuudet. *Vesitalous* 60: 33–34. Saatavissa: <https://www.vesitalous.fi/>
- Nieminen, M. & Ahti, E. 2000. Soiden metsätaloustalouden vesistövaikutukset. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2000: 321–325. Saatavissa: <https://doi.org/10.14214/ma.6020>
- Nieminen, M., Ahti, E., Nousiainen, H., Joensuu, S. & Vuollekoski, M. 2005. Capacity of riparian buffer zones to reduce sediment concentrations in discharge from peatlands drained for forestry. *Silva Fennica* 39(3): 331–339. Saatavissa: <https://doi.org/10.14214/sf.371>
- Nieminen, M., Hökkä, H., Laiho, R., Juutinen, A., Ahtikoski, A., Pearson, M., Kojola, S., Sarkkola, S., Launiainen, S., Valkonen, S., Penttilä, T., Lohila, a., Saarinen, M., Haahti, K., Mäkipää, R., Miettinen, J. & Ollikainen, M. 2018. Could continuous cover forestry be an economically and environmentally feasible management option on drained boreal peat-

- lands? *Forest Ecology and Management* 424: 78–84. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.046>
- Nieminen, M., Palviainen, M., Sarkkola, S., Laurén, A., Marttila, H. & Finér, L. 2017. A synthesis of the impacts of ditch network maintenance on the quantity and quality of runoff from drained boreal peatland forests. *Ambio* 47: 523–534. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0966-y>
- Nieminen, M., Sarkkola, S., Haahti, K., Sallantausta, T., Koskinen, M., Ojanen, P. 2020a. Metsäojitettujen soiden typpi- ja fosforikuormitus Suomessa. *Suo* 71(1): 1–13. Saatavissa: <http://suo.fi/article/10398>
- Nieminen, M., Sarkkola, S., Tolvanen, A., Tervahauta, A., Saarimaa, M. & Sallantausta, T. 2020b. Water quality management dilemma: Increased nutrient, carbon, and heavy metal exports from forestry-drained peatlands restored for use as wetland buffer areas. *Forest Ecology and Management* 465: 118089. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118089>
- Nieminen, M., Sarkkola, S., Sallantausta, T., Hasselquist, E.M. & Laudon, H. 2021. Peatland drainage – a missing link behind increasing TOC concentrations in waters from high latitude forest catchments? *Science of the Total Environment* 774: 145150. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145150>
- Nieminen, T.M., Hökkä, H., Ihalainen, A., Finér, L., 2016. Metsänhoito happamalla sulfaattimaililla. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 1/2016, 40 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-190-7>
- Nieminen, T.M., Silver, T., Boman, A., Ilvesniemi, H., Joensuu, S. & Härkönen, L. 2020. Geologian tutkimuskeskuksen happamien sulfaattimaiden yleiskartoituksen hyödyntäminen metsätaloudessa. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 21/2020: 1–28. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-939-2>
- Ojanen, P. & Minkkinen, K. 2019. The dependence of net soil CO₂ emissions on water table depth in boreal peatlands drained for forestry. *Mires and Peat* 24(27): 1–8. Saatavissa: <https://doi.org/10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1751>
- Ojanen, P., Minkkinen, K. & Penttilä, T. 2013. The current greenhouse gas impact of forestry-drained boreal peatlands. *Forest Ecology and Management* 289: 201–208. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.008>
- Pajunen, H. 2004. Järvisedimentit kuiva-aineen ja hiilen varastona. *Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti* 160: 1–308. Saatavissa: http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_160.pdf
- Palviainen, M. & Finér, L. 2013. Kunnostusajituksen vaikutus vesistöjen humuskuormitukseen. TASSO-hanke. 47 s. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fi-FI/TASSOhanke/Julkaisut>
- Palviainen, M., Lehtoranta, J., Ekholm, P., Ruoho-Airola, T. & Kortelainen, P. 2015. Land cover controls the export of terminal electron acceptors from boreal catchments. *Ecosystems* 18: 343–385. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s10021-014-9832-y>
- Postila, H., Saukkoriipi, J., Heikkinen, K., Karjalainen, S.-K., Kuoppala, M., Marttila, H. & Kløve, B. 2014. Can treatment wetlands be constructed on drained peatlands for efficient purification of peat extraction runoff? *Geoderma* 228–229: 33–34. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.008>
- Puustinen, M., Koskiahio, J., Gran, V., Jormola, J., Majjala, T., Mikkola-Roos, M., Puumala, M., Riihimäki, J., Rätty, M. & Sammalkorpi, I. 2001. Maatalouden vesiensuojelukosteikot. VESIKOT-projektin loppuraportti. *Suomen ympäristö* 499: 1–61. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/40659>
- Puustinen, M., Tattari, S., Väisänen, S., Virkajärvi, P., Rätty, M., Järvenranta, K., Koskiahio, J., Röman, E., Sammalkorpi, I., Uusitalo, R., Lemola, R., Uusi-Kämppe, J., Lepistö, A., Hjerpe, T., Riihimäki, J. & Ruuhijärvi, J. 2019. Ravinteiden kierrätys alkutuotannossa ja sen vaikutukset vesien tilaan – KiertoVesi-hankkeen loppuraportti. *Suomen ympäristökeskuksen raportteja* 22/2019: 1–142. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/304956>
- Päivänen, J. 2007. Suot ja suometsät: järkevän käytön perusteet. *Metsäkustannus*, Helsinki. 368 s.

- Rehell, S. 2017. Ilmastotekijöiden ja vesitalouden vaikutus minerotrofisten rimpipintojen esiintymiseen borealisessa suosysteemissä. *Suo* 68(2–3): 41–66. Saatavissa: <http://www.suo.fi/article/10113>
- Reinikainen, A. 1994. Turvekankaat – kangas-metsäkasvillisuutta turvemaalla? *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 531: 11–18. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1401-4>
- Ryynänen, A. 1973. *Rubus arcticus* L. and its cultivation. *Annales Agriculturae Fenniae* 12: 1–6. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014102745636>.
- Räike, A., Taskinen, A. & Knuutila, S. 2020. Nutrient export from Finnish rivers into the Baltic Sea has not decreased despite water protection measures. *Ambio* 49: 460–474. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01217-7>
- Rääpysjärvi, J., Karjalainen, S. M., Karttunen, K., Kuoppala, M. & Aroviita, J. 2016. Metsätalouden vaikutukset purojen ja jokien biologiseen tilaan – MEBI-hankkeen tulokset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 20/2016: 1–38. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/161512>
- Saarinen, T., Mohammadighavam, S., Marttila, H. & Kløve, B. 2013. Impact of peatland forestry on runoff water quality in areas with sulphide-bearing sediments; how to prevent acid surges? *Forest Ecology and Management* 293: 17–28. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.12.029>
- Sallantaus, T. 1992. Runoff water quality of bogs drained for forestry and mined for peat – a comparison. Swedish National Committee, International Peat Society. *Proceedings of the 9th International Peat Congress Vol. 3*: 95–105.
- Sallantaus, T., Vasander, H. & Laine, J. 1998. Metsätalouden vesistöhaittojen torjumisen ojitetuista soista muodostettujen puskuri-vyöhykkeiden avulla. *Suo* 49(4): 125–133. Saatavissa: <http://www.suo.fi/article/9779>
- Sallinen, A., Tuominen, S., Kumpula, T. & Tahvanainen, T. 2019. Undrained peatland areas disturbed by surrounding drainage: a large scale GIS analysis in Finland with a special focus on aapa mires. *Mires and Peat* 24 (38): 1–22. Saatavissa: <https://doi.org/10.19189/MaP.2018.AJB.391>
- Salmelin, J., Hämäläinen, H., Vuori, K.-M. & Nieminen, M. 2020. Puuaineksen lisäyksen mahdollisuudet ravinteiden pidättäjänä ja eliöstön monipuolistajana kuormitetuissa vesistöissä: kirjallisuuskatsaus. *PuuMaVesihanke*. 41 s. Saatavissa: <https://www.syke.fi/hankkeet/puumavesi>
- Salonen, K. 1981. Metsänparannustoimenpiteiden vaikutus rämeiden sienisatoon. *Suo* 32(1): 1–6. Saatavissa: <http://www.suo.fi/article/9515>
- Salonen, K. 1993. The composition and structure of macrofungus communities in boreal upland type forests and peatlands in North Karelia, Finland. *Karstenia* 33: 61–99. Saatavissa: <https://doi.org/10.29203/ka.1993.299>
- Sarkkola, S., Hökkä, H., Koivusalo, H., Nieminen, M., Ahti, E., Päivänen, J. & Laine, J. 2010. Role of tree stand evapotranspiration in maintaining satisfactory drainage conditions in drained peatlands. *Canadian Journal of Forest Research* 40: 1485–1496. Saatavissa: <https://doi.org/10.1139/X10-084>
- Silvan, N. (2013). Entisten turpeennostoalueiden uudelleensoistaminen. Teoksessa: Aapala K., Similä M., Penttinen J. (toim.). *Ojitettujen soiden ennallistamisopas*. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja B 188: 39–40. Saatavissa: <https://julkaisut.metsa.fi/julkaisut/show/1601>
- Stenberg, L., Tuukkanen, T., Finér, L., Marttila, H., Piirainen, S., Kløve, B. & Koivusalo, H. 2015. Ditch erosion processes and sediment transport in a drained peatland forest. *Ecological Engineering* 75: 421–433. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.046>
- Stenberg, L., Tuukkanen, T., Finér, L., Marttila, H., Piirainen, S., Kløve, B. & Koivusalo, H. 2016. Evaluation of erosion and surface roughness in peatland forest ditches using pin meter and terrestrial laser scanning. *Earth Surface Processes and Landforms* 41: 1299–1311. Saatavissa: <https://doi.org/10.1002/esp.3897>
- Sutela, T., Vuori, K.-M., Louhi, P., Hovila, K., Jokela, S., Karjalainen, S.M., Keinänen, M., Rask, M., Teppo, A., Urho, L., Vehanen, T., Vuorinen, P.J. ja Österholm, P. 2012. Happamien sulfaattimaiden aiheuttamat vesistövaikutukset ja kalakuolemat Suomessa.

- Suomen Ympäristö 14: 1–61. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/38771>
- Tahvanainen, T. 2011. Abrupt ombrotrophication of a boreal aapa mire triggered by hydrological disturbance in the catchment. *Journal of Ecology* 99: 404–415. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01778.x>
- Tahvanainen, T., Sallantausta, T., Heikkilä, R. & Tolonen, K. 2002. Spatial variation of mire surface water chemistry and vegetation in northeastern Finland. *Annales Botanici Fennici* 39(3): 235–251. Saatavissa: <http://www.sekj.org/PDF/anbf39/anbf39-235p.pdf>
- Tiainen J. & Pakkala T. 2000. Maatalousympäristön linnuston muutokset ja seuranta Suomessa. Linnut-vuosikirja 1999: 98–105. Saatavissa: https://lintulehti.birdlife.fi:8443/pdf/artikkelit/2171/tiedosto/ocrskannausvk99018_artikkelit_2171.pdf#view=FitH
- Tiainen J. & Pakkala T. 2001. Birds. Teoksessa: Pitkänen M. & Tiainen J. (toim.). Biodiversity of agricultural landscapes in Finland. BirdLife Finland Conservation Series 3: 33–50.
- Tilastokeskus 2020a. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2018. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. Submission to the European Union. 9 April 2020. 566 s. Saatavissa: <https://unfccc.int/documents/219060>
- Tilastokeskus 2020b. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2019. Ympäristö ja Luonnonvarat 2020. 82 s. Saatavissa: http://tilasto.keskus.fi/tup/khkinv/khkaasut_suominir.html
- Turtola, E., Salo, T., Miettinen, A., Iho, A., Valkama, E., Rankinen, K., Virkajärvi, P., Tuomisto, J., Sipilä, A., Muurinen, S., Turakainen, M., Lemola, R., Jauhiainen, L., Uusitalo, R., Grönroos, J., Myllys, M., Heikkinen, J., Merilaita, S., Bernal, J.C., Savela, P., Kartio, M., Salopelto, J., Finér, A. & Jaakkola, M. 2017. Hyötyä taseista. Ravinnetaseiden tulkinta ympäristön ja viljelijän hyödyksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15/2017: 1–70. Saatavissa: <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/538541>
- Turunen, J. 2008. Development of Finnish peatland area and carbon storage 1950–2000. *Boreal Environment Research* 13: 319–334. Saatavissa: <http://www.borenv.net/>
- Turunen, J., Aroviita, J., Marttila, H., Louhi, P., Laamanen, T., Tolkinen, M., Luhta, P.-L., Kløve, B. & Muotka, T. 2017. Differential responses by stream and riparian biodiversity to in-stream restoration of forestry-impacted streams. *Journal of Applied Ecology* 54(5): 1505–1514. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12897>
- Turunen, J., Muotka, T., Vuori, K.-M., Karjalainen, S. M., Rääpysjärvi, J., Sutela, T. & Aroviita, J. 2016. Disentangling the responses of boreal stream assemblages to low stressor levels of diffuse pollution and altered channel morphology. *Science of the Total Environment* 544: 954–962. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.031>
- Turunen, J., Tomppo, E., Tolonen, K. & Reinikainen, A. 2002. Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland – application to boreal and subarctic regions. *The Holocene* 12(1): 69–80. Saatavissa: <https://doi.org/10.1191/0959683602hl522rp>
- Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Morozov, G. & Karoles, K. 2017. Ecosystems carbon budgets of differently aged downy birch stands growing on well-drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 399: 82–93. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.05.023>
- Vaarama, A. 1965. *Rubus arcticus* L. – Mesimarja. Teoksessa: Jalas, J. (toim.). Suuri kasvikirja II. Otava, Helsinki. S. 750–754.
- Vesterinen, P., Similä, M., Rehell, S., Haapalehto, S., Perkiö R. 2013. Vesitalouden palauttaminen. Teoksessa: Aapala, K., Similä, M. & Penttinen, J. (toim.). Ojitettujen soiden ennallistamisopas. Metsähallituksen luonnonsoojelujulkaisuja. Sarja B 188: 140–150. Saatavissa: <https://julkaisut.metsa.fi/julkaisut/show/1601>
- Vikman, A., Sarkkola, S., Koivusalo, H., Sallantausta, S., Laine, J., Silvan, N., Nousiainen, H. & Nieminen, M., 2010. Nitrogen retention by peatland buffer areas at six forested catchments in southern and central Finland. *Hydrobiologia* 641: 171–183. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s10750-009-0079-0>

- Vähäkuopus, T., Kauppila, T., Mäkinen, J., Ojala, A.E.K. & Valpola, S.E. 2020. Sedimentation patterns of multiple Finnish lakes reveal the main environmental stressors and the role of peat extraction in lake sedimentation. *Geosciences* 10(8): 313 Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/geosciences10080313>
- Väänänen, R., Nieminen, M., Vuollekoski, M., Nousiainen, H., Sallantausta, T., Tuittila, E.-S. & Ilvesniemi, H., 2008. Retention of phosphorus in peatland buffer zones at six forested catchments in southern Finland. *Silva Fennica* 42(2): 211–231. Saatavissa: <https://doi.org/10.14214/sf.253>
- Waugham, G.J. & Bellamy, D.J. 1980. Nitrogen fixation and the nitrogen balance in peatland ecosystems. *Ecology* 61(5): 1185–1198. Saatavissa: <https://doi.org/10.2307/1936837>
- Österholm, P., Virtanen, S., Rosendahl, R., Uusi-Kämpä, J., Ylivainio, K., Yli-Halla, M., Mäensivu, M. & Turtola, E. 2015. Groundwater management of sulfide bearing farmlands using by-pass flow prevention and subsurface irrigation. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Plant and Soil Sciences* 65, Supplement 1: 110-120. Saatavissa: <https://doi.org/10.1080/09064710.2014.997787>

(Julkaistu Suoseuran verkkosivuilla 15.2.2021)