

Kuivenduse mõju elurikkusele, kliimale ja veekogudele.

Kokkuvõte

Paavo Ojanen¹, Kaisu Aapala², Juha-Pekka Hotanen³, Aira Kokko², Pirkko Kortelainen², Hannu Marttila⁴, Mika Nieminen³, Tiina M. Nieminen³, Pekka Punttila², Sakari Rehell⁵, Tapani Sallantaus², Sakari Sarkkola³, Juha Tiainen^{1,3}, Jukka Turunen⁶, Samu Valpola⁶, Harri Vasander¹, Tuija Vähäkuopus⁶ ja Kari Minkkinen¹

¹ Helsingi ülikool, ² Soome keskkonnainstituut SYKE (Suomen ympäristökeskus), ³ Loodusvarade uurimiskeskus LUKE (Luonnonvarakeskus), ⁴ Oulu ülikool, ⁵ Metsaameti keskkonnateenuste osakond (Metsähallitus Luontopalvelut) ⁶ Soome geoloogiateenistus

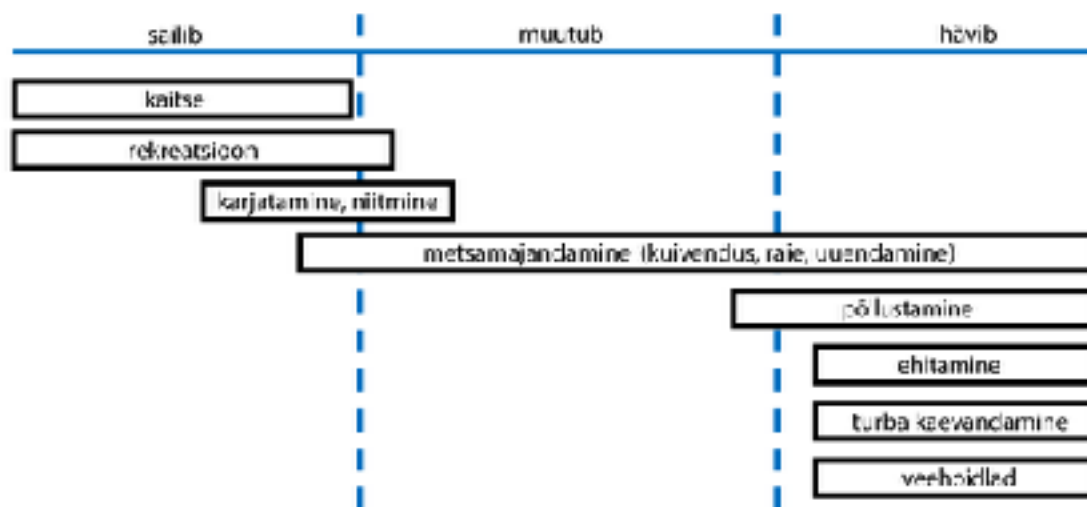
Originaalartikkel: Ojanen P., Aapala K., Hotanen J.-P., Kokko A., Kortelainen P., Marttila H., Nieminen M., Nieminen T. M., Punttila P., Rehell S., Sallantaus T., Sarkkola S., Tiainen J., Turunen J., Valpola S., Vasander H., Vähäkuopus T., Minkkinen K. (2020). Ojituksen vaikutus luonnon monimuotoisuuteen, ilmastoon ja vesistöihin – yhteenveto. *Suo* 71(2): 93–114 — Ojitettujen soiden kestävä käyttö.

Kättesaadav veebist: <http://www.suo.fi/article/10594>

Kuivenduse mõju elurikkusele

Soo kasutamise mõju selle elustikule oleneb suuresti kasutuseesmärgist (joonis 1). Kuivendamata soost näiteks marjade korjamine või jahipidamine ei mõjuta sealset elustikku peaaegu üldse ja omal ajal võis laialt levinud heinategu elustikku isegi mitmekesistada. Metsakuivendus muudab soo elustiku poolest metsa sarnaseks (vt „[Sootaimestik](#)“). Samuti muudavad elustikku raie ning eriti maaharimine ja metsauuendus, seda ka kuivendamata ja rikkaliku puistuga soos. Kuivendamata puissood on lisaks sooelustikule tähtsad ka kõdunevast puidust ja niiskest mikrokliimast sõltuvatele metsaliikidele.

Soo raadamine põlluks hävitab sooloomastiku ja -taimestiku peaaegu täielikult ning asendab need avamaastikuliikide ja muude laialt levinud liikidega (generalistitega). Selline põllumajanduslik keskkond sobib väikestele hirvlastele, halljänesele, valgejänesele ja rebasele. Mõned soolinnuliigid, näiteks metskiur ja tikutaja, tulevad enamasti hästi toime ka põldudel (Tiainen & Pakkala 2000, 2001). Põhja poole liikudes võib kohata hänilast ja mõnd kurvitsalist, näiteks väikekoovitajat ja rüüta (Tiainen & Pakkala 2000, 2001). Kuniks kestab turba kaevandamine, pole soos taimi ja loomi peaaegu üldse, välja arvatud rajatavatel pinnasetteväljadel/tehismärgaladel (pintavalutuskenttä). Turbakaevandamise eelset sootüüpi on pärast kaevandamise lõppu niisama hästi kui võimatu taastada, kuid ennistamise abil saab luua näiteks tarnasoode ja madalate avaveekogude mosaiigi, mis sobib veelindude ja kurvitsaliste elupaigaks (Silvan 2013).

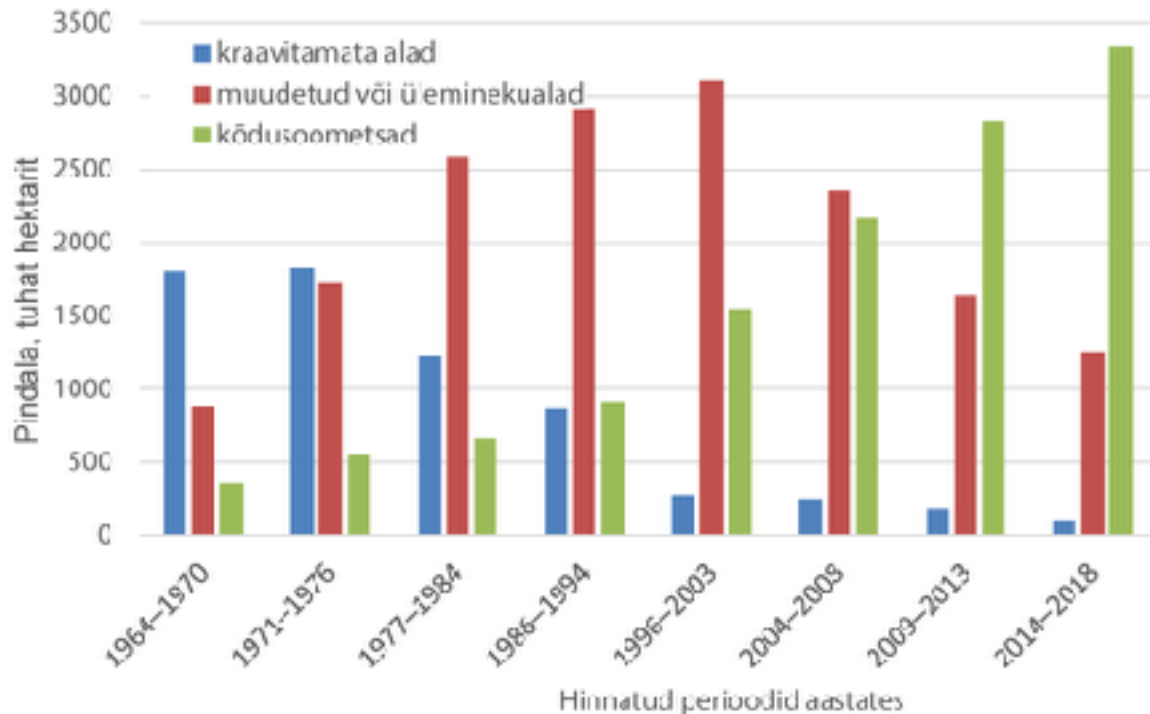


Joonis 1. Soo kasutusviisi mõju sealsele looduslikule elustikule ja elupaikadele. Autor: Kaisu Aapala

Peale kuivendamist arenevad pärast kuivendust metsastatud alad kõdusoometsaks, kus alustaimestus domineerivad metsale iseloomulikud liigid (joonis 2). Kuivendus vähendab niiskuse varieeruvust, kujundades kuivendatud alast mineraalmullal kasvavatele metsatüüpidele sarnase toitainete sisaldusega ala (vt „Sootaimestik“). Kõige suurem ja kiirem on muutus olnud toitainerikastes soodes, kus puistu kasv on kiireim, ja märgades soodes, kus veetaseme langus on suurim. Veetaseme langus halvendab kohe märgade oludega kohastunud liikide elutingimusi. Puistu kasvades suureneb varjuliste elupaikade osakaal, järk-järgult kaovad nendest avamaaoludega kohastunud liigid. Sellest saavad kasu kõige kuivemate lodude ja rabade liigid ning eriti tavalistel mineraalmullal kasvavate metsade liigid (Päivänen 2007, Hotanen jt 2018).

Ainult 2% metsakasvatuse eesmärgil kuivendatud sooladest liigitatakse kraavituse mõjuta sooks, kuna nende alustaimestik ja puistu pole kuivenduse tagajärjel muutunud (joonis 2; Korhonen jt 2020). Üheski maakonnas ei ole kraavituse mõjuta soid üle 5% kuivendusala (VMI12). Kui kraavitamisel on selge kuivendusefekt, on kraavituse mõjuta soo seisund lühike vaheetapp. Omakorda on määratletud üleminekualadena ligi veerand kuivendusala, neid iseloomustab endiselt märkimisväärne sootaimestiku esinemine, ehkki kuivendus on selgelt suurendanud puistu osa ja mõjutanud alustaimestikku. Lõuna-Soomes on üle 90% kuivendusala arenenud kõdusoometsaks. Kainuus ja Lapimaal, kus kuivendus toimus hiljem ning muutust pidurdab jahedam ja niiskem kliima, on kõdusoometsaks muutunud ainult pool kuivendusala (VMI12). Kraavituse säilides arenevad praegustest

ülemineku aladest paarikümne aasta jooksul enamasti kõdusoometsad (välja arvatud kõige napima toitainetaruga kasvukohtades), sest tihedam puistu kuivatab mulda ja varjutab üha enam alustaimestikku.



Joonis 2. Kraavituse mõjuta alade, ülemineku või muudetud alade ja kõdusoometsade pindala muutused kuivendatud soometsades alates 1960. aastatest. Kraavituse mõjuta alad on sood, kus kraavituse kuivendav mõju ei ole veel põhjustanud olulisi muutusi sootaimestikust ja puistus. Ülemineku või muudetud alade puhul on puistu kasv kiirenenud või soo metsastunud, ehkki alustaimestus on endiselt suurel määral sootaimestiku tunnusliike. Kõdusoometsad liigitatakse soometsade hulka, mille alustaimestiku on muutunud sootaimestikust selgelt erinevaks ja meenutab peamiselt palumetsa taimestikku (Laine jt 2018). Andmed: riiklik metsainventuur 5–12, <https://stat.luke.fi/metsavarat> (vaadatud 24.11.2020).

Pärast kuivendust metsastatud aladel on alternatiivina metsa majandamisele ja soo taastamisele võimalik need ka metsamajandusest välja jätta. Kraavide hooldusest ja isegi raietest on suurel määral loobutud eelkõige metsakasvatuse jaoks kõlbmatuks liigitatud soosaladel (Laiho jt 2016) (vt „[Soode kasutamine Soomes](#)“). Vähe on uurimisandmeid selle kohta, kui kiiresti muutub kuivendatud soomets uuesti liigniiskeks ja seal taastub soo, kui kuivendust ei uuendata (Koivisto ja Lampela 2008). Ekspertide tähelepanekute kohaselt ummistuvad ja kasvavad aastakümnete jooksul kinni eriti need paksu turbakihiga ja väheviljakate alade kraavid, kus ei ole tugevat voolu. Kuna aga kraavide läheduses on soo pind ülejäänud sooga võrreldes rohkem vajunud (Lukkala 1949, Vesterinen jt 2013), siis

juhhib vett ka täiesti ummistunud kraav. Seetõttu jäävad veerežiimi iseeneselikul taastumisel sood või nende osad suhteliselt kuivade lodude ja rabade sarnaseks. Veerežiimi iseeneselikul taastumisel korral ei teki tõenäoliselt väga märgi ja avatud soid, mis oleksid lisaks lodudele sookeskkonna mitmekesisuse seisukohalt eriliselt väärtuslikud.

Õhukese turbakihiga endiste toitainerikaste soode kraavid või tugeva vooluga kraavid võivad toimida veel aastakümneid pärast kraavi kaevamist (Koivisto ja Lampela 2008). Sellistes piirkondades võib kraavitamise kuivendav mõju jätkuda väga pikka aega, isegi kui kraave ei hooldata. Kui kraavid muutuvad madalamaks ja osaliselt ummistuvad, kompenseerib seda ka asjaolu, et sellistele aladele kasvab tavaliselt rikkalik puistu. Puistu suurendab vee aurumist ja hoiab seega veetaset kasvuperioodil madalal (Sarkkola jt 2010). Lisaks võib isegi madala kraavi kuivendav mõju olla suur, kui kraavi põhi on hästi läbilaskvas mineraalses pinnases. Aja jooksul võivad pehkivad puud muutuda elupaigaks lagupuitu vajavale metsaelustikule, kui rohke puistuga kuivendusala jäävad metsamajandusest kõrvale.

Pärast kuivendust metsastatud alad pakuvad elupaika paljudele tavapärastele metsas elunevatele liikidele, kuid praeguses olukorras pole need metsa elurikkuse seisukohalt eriti väärtuslikud (Kaakinen jt 2018). Kuna tavaliselt ulatub soometsade kuivendus ainult mõnekümne aasta taha ja puistut on kuivendusega seoses töödeldud, on pärast kuivendust metsastatud aladel ja puude kasvuks ebasoodsa mullaga soometsas vähem lagupuitu (kõdusoometsas 3,0 m³/ha, kraavitatud soodes ja siirdesoodes 1,4 m³/ha) kui vastavas mineraalmullaga metsas (6,5 m³/ha) või kuivendamata soometsas (4,8 m³/ha) (Korhonen jt 2017, Hotanen jt 2018). Samamoodi on pärast kuivendust metsastatud aladel vähe looduslikus seisundis või sellega sarnanevat puistut, kõdusoometsades alla 1% (Korhonen jt 2017, Hotanen jt 2018).

Pärast kuivendamist metsastatud või metsastunud väheviljakates kasvukohtades on puude ja põõsaste liigiline koosseis üheülbalisem kui mineraalsetel aladel, sest paljud taimeliigid väldivad happelist ja toitainevaest turbaala (Reinikainen 1994, Hotanen jt 2006, 2018). Viljakas mustika-kõdusoos ja jänesekapsa-kõdusoos on elustik sama mitmekesine kui mineraalpinnasega aladel ja kuivendus on täiendanud liigilist mitmekesisust väärtusliku lehtpuistuga (Hotanen jt 2006, 2018). Eriti jänesekapsa-kõdusoos võib alustaimestus esineda ka väga mitmekesisest metsaelustikku (Hotanen jt 2015, 2018, Laine jt 2018). Kõige viljakamatel kasvukohtadel on potentsiaal areneda puistu ja alustaimestu mõttes väärtuslikeks metsaaladeks (Hotanen 1998, Päivänen 2007, Hotanen jt 2015, 2018). Kuid puistut ja lagupuitu, mis on kahaneva arvukusega ja ohustatud metsaelustikule eriti tähtis, esineb praegu järjepidevalt vähestel pärast kuivendust metsastatud aladel (Hotanen jt 2018).

Inimese jaoks olulistest marjaliikidest mõne kasvule on metsakuivendus mõjunud kasulikult ja mõnele kahjulikult (Hotanen jt 2001). Kui pärast kuivendamist metsastatud või metsastunud alad arenevad kõdusoometsa suunas, soodustab see inimestele ja paljudele loomadele tähtsa toidutaimede mustika levikut. Samamoodi esineb kuivenduse tagajärjel

rikkalikumalt pohla, sest see kasvab nagu mustikaski väga erinevates metsades. Muuhulgas metsastes soodes või puissoodes kasvavad sinikas, kukemari ja rabamurakas võivad pärast kuivendust pikalt elus püsida, aga need taanduvad paljudes kohtades, kui kuivendusala areneb kõdusoomets. Märgades ja avatud soodes kasvava jõhvika kasvuala on tugevasti taandunud. Avatud niisketes kohtades kasvavale soomurakale mõjusid omal ajal soodsalt niitmine, põllumaade kuivendamine ja poolavatud metsad, kuid tõhusa kuivenduspõhise põlluharimise ja tihedaks muutunud metsa tõttu on selle saagikus vähenenud (Vaarama 1965, Ryyänen 1973). Kuna metsaraie ja uuendus muutuvad kuivendusladel üha tavalisemaks, võib marjade liigiline koosseis endiselt oluliselt muutuda (Hotanen jt 2001).

Metsakuivendus põhjustab suurte seeneliikide arvu ja seente saagikuse kasvu, sest paljud kübarseened elavad sümbioosis metsataimedega või lagundavad hapnikuküllastes oludes orgaanilist ainet. Näiteks saavad kuivendusest kasu paljud riisika-, puraviku- ja pilvikuliigid, samal ajal kui kohastunud sooseeneliikide esinemus väheneb (Salo 1981, 1993, Hotanen 1998). Valikulise jahipidamise kõrval on põdrapopulatsiooni kasvu soodustanud männiistikud, mis kasvavad kuivendusladel koos sookasega, sest need pakuvad põtradele toitu ja varju. Metsislaste arvukus on viimastel aastakümnetel vähenenud (Helle jt 2002). See võib olla osalt tingitud metsakuivendusest (Ludwig jt 2007), ehkki kuivendusel võib olla ka positiivne mõju (Karsisto 1974). Avasoode metsastumine, mida tekitab kuivendus, on eriti rabapüü puhul peamine ohustatuse põhjus (Melin jt 2020).

Kõige rohkem on soode loodust muutnud metsakuivendus, sest see on pindala poolest selgelt suurim kuivendatud soode/turbaalade kasutusvorm (vt [Soode kasutamine Soomes](#); Kaakinen jt 2018). Esialgu keskendus kuivendus peamiselt suure ja keskmise toitelisusega lodudele ja rabadele, kuid hiljem ka väheviljakatele soodele. Headeks kuivenduskohtadeks peeti ka liigirikkaid madalsoid ent hiljem on need osutunud sageli metsakasvatuseks sobimatuks. Metsakuivendus on mõjutanud soode loodust märkimisväärselt Lõuna-Soomest kuni Lapimaa keskosani. Põllumajandus on muutunud toitainerikaste soode kooslusi eriti Lõuna- ja Lääne-Soomes, kus põldu on peetud sajandeid (Myllys 1998, Kaakinen jt 2018). Ka toiteainevaeseid soid on üles haritud ja neis kütist tehtud, eriti Pohjanmaal. Pärast teist maailmasõda raadati asundustaludele põlde eriti Ida- ja Põhja-Soome madalsoopiirkondades.

Ohustatud on üle poole soode taimekooslustele iseloomulikest sootüüpidest ja ka terviklikele soodele iseloomulikest sookooslustest (vt [Soo biotoopide ohustatus](#); Kaakinen jt 2018). Ohustatuse peamine põhjus on kuivendamata soode pindala vähenemine. Sookoosluste ohustatust mõjutab tugevasti ka see, et Lõuna- ja Kesk-Soomes on väga vähe soid, mida poleks üldse kuivendatud (Sallinen jt 2019). Nii sootüübid kui ka sookooslused on kõige ohustatumad Lõuna- ja Kesk-Soomes, sest just seal on kõige rohkem kuivendatud. Eriti ohustatud on puissood ja toitainerikkad sootüübid. Kõige ohustatumad sookooslused on lõunapoolsed tarnasood, Põhjamaade boreaalsete alade aabasood ja rannikusood.

Arvatakse, et lähitulevikus halveneb enam kui kolmveerandi sootüüpide ja sookoosluste seisund (Kaakinen jt 2018). Eriti aabasoodes on põhjuseks see, et soo äärealade kuivendamine muudab ka soo keskosa kuivemaks (Tahvanainen 2011, Rehell 2017, Sallinen jt 2019). Peale selle muudavad kuivendamata puissoidki või soometsi seal tehtav raie ja maaharimine (Kaakinen jt 2018).

Elustikust, mille peamine elupaik on soo, on ohustatud 11% ehk 120 liiki (vt [Soode elustik ja selle ohustus](#); Hyvärinen jt 2019). Tõsiasi, et need peamiselt soodes elutsevad liigid moodustavad ainult 4,5% kõigist Soome ohustatud liikidest, on tingitud asjaolust, et soode liigirikkus on sageli väike. Ligi pooled madalsooliikidest on ohustatud või nõuavad tähelepanu, samal ajal kui peamiselt soodes elunevate liikide seas on selliseid keskmiselt viiendik. Sarnaselt sooelupaikade ohustatusega on ka kõige rohkem ohustatud liike Lõuna- ja Kesk-Soomes. Tõenäoliselt on puissootüüpide hõlmamine metsamajandusse suurendanud ka metsaelustiku ohustatust, kuid seda pole hinnatud.

Suure osa peamiselt soos elunevatest ohustatud liikidest moodustavad soontaimed ja samblad (33%) ning putukad (45%) (vt [Soode elustik ja selle ohustus](#); Hyvärinen jt 2019). Ohustatud taimede kasvukohana paistavad eriti silma madalsood ja lodud. Need on liigirikkad ning kuivendus on nende pindala suurel määral vähendanud (vt [Soode elustik ja selle ohustus](#) ning [Soode kasutamine Soomes](#)). Putukad on mitmekesine rühm, millel on elupaikadele erinevad nõuded. Enamik ohustatud sooputukaid kuulub liblikaliste ja kahetiivaliste hulka. Erinevalt taimedest ei ole ohustatud lindude elupaigad rangelt seotud tüüpi sooga, vaid nende puhul on tähtis niiskusrežiim ja soos kasvavate puude hulk. Ohustatud soolinde on kõige rohkem Põhja-Soomes, sest neile sobivaid elupaiku leidub eriti aabasoos.

Lisaks soo biotüüpide muutumisele kaasneb kõikide kuivendatud soo kasutusviisidega ka see, et kaovad soolade allikad, ojad ja laukad või muudetakse need kraavideks (Lammi jt 2018). Muutunud on ka soiste alade väikeveekogud, kus ei ole kaevetöid tehtud: lähedal asuvasse ojadesse on kraavikaevamise tagajärjel settinud tahkeid osakesi, mistõttu on põhja kogunenud setet ja vesi tumenenud (Aroviita jt 2016, Rääpysjärvi jt 2016, Turunen jt 2016). Kraavitamisest põhjustatud toitainekoormus (Nieminen, M. jt 2020a, Finér jt 2021) on nähtav ka suuremates veekogudes (Räike jt 2020) ning selle mõjul eutrofeeruvad eelkõige looduslikud tiigid ja järved (Lammi jt 2018).

Kuivenduse mõju kliimale

Looduslikel soodel on ühtaegu kliimat jahutav ja soojendav mõju, sest sood on nii süsinikdioksiidi sidujad kui ka metaaniallikad (vt [Kuivenduse mõju pinnase kasvuhoonegaaside heitele](#)). Süsinikdioksiidi sidumine ja metaani eraldumine on mõlemad tingitud soo niiskusest: kuna põhjavee kõrge taseme tõttu on pinnases anaeroobsed tingimused, jääb osa pinnasesse sattunud orgaanilisest ainest (surnud taimed ja taimeosad)

lagunemata ja ladestub turbana. Ligikaudu pool turba kuivmassist on süsinik, mille taimed on sidunud atmosfääri süsinikdioksiidist. Teisest küljest laguneb pinnasesse sattunud orgaaniline aine ka anaeroobsetes tingimustes, võimaldades metaanil ühe lõpptootena atmosfääri pääseda.

Turba ladestumise kiirus varieerub soo tüübi ja toitainesisalduse järgi: toitainevaeses soos ladestub turvas ja süsinik umbes kolmandiku võrra kiiremini kui toitainerikkas soos (Turunen jt 2002). Metaaniheide varieerub suuresti soo niiskuse ja toitainete järgi (Minkkinen & Ojanen 2013). Kõige rohkem metaani eraldavate vesiste avatud tarnasood metaaniheide on üle kümne korra suurem kui kuivemate lodude ja rabade puhul. Metaaniheite tõttu soojendab looduslik soo oma arengu alguses atmosfääri (Frolking jt 2006, Frolking & Roulet 2007, Mathijssen jt 2014, 2017). Sadade ja tuhandete aastatega koguneb soosse aga nii palju turvast, et pideva süsinikdioksiidi sidumise jahutav mõju kasvab metaani eraldumise soojendavast mõjust suuremaks.

Kuivendatud soo pinnas toimib metaani ja süsinikdioksiidi heite ja sidumise mõttes vastupidi looduslikule soole (vt [Kuivenduse mõju pinnase kasvuhoonegaaside heitele](#)): kuna kuivamine suurendab pinnase ülemise kihi hapnikusisaldust, peatub metaani eraldumine ja soo, välja arvatud kraavid, muutub sageli metaani sidujaks. Teiselt poolt võib turba ladestumine muutuda turba lagunemiseks, mille tagajärjel tekib süsinikdioksiidi ja dilämmastikoksiidi heide. Mida kiiremini turvast laguneb, seda rohkem eraldab kuivendatud soo kasvuhoonegaase. Toitainevaesel metsakuivendusosal ei pruugi turvas laguneda, kuid viljakal toitainerikkal metsakuivendusosal ja kõigi muude kuivendatud soo maakasutusviiside puhul see toimub. Turba lagunemisel tekkiv heide on kõige suurem soost raadatud põllul, sest tõhus kuivendus ja korrapärane harimine, väetamine ja lupjamine soodustab turvast lagundavate mikroobide aktiivsust. Suurimaid üldisi heitkoguseid põhjustab aga turba kaevandamine, sest kogutava turba põletamisel ja muul moel kasutamisel kaasnev lagunemine tekitab võrreldes turba lagunemisega muude kuivendatud turbamaade kasutusviiside puhul mitu korda rohkem heidet (Juutinen jt 2019). Peale maakasutuse mõjutab turba lagunemist tugevasti põhjavee sügavus: mida sügavamal on veetase, seda suurem on süsinikdioksiidi ja dilämmastikoksiidi heide.

Pärast kuivendust metsastatud ala erineb muudest kuivendatud soo kasutusalaadest selle poolest, et seal laguneb turvas aeglasemalt ja kasvav mets seob märkimisväärselt süsinikku (vt [Kuivendatud turbaladel paiknevate metsade kliimamõjud](#)). Seega mõjub metsakuivendus esimestel aastakümnetel tavaliselt kliimat jahutavalt (Minkkinen jt 2002, Lohila jt 2010, Ojanen jt 2013, Hommeltenberg jt 2014, Uri jt 2017, Minkkinen jt 2018). Enamik puudesse seotud süsinikku eraldub aga mõne aasta jooksul pärast lõplikku raiet jälle atmosfääri. Seetõttu soojendab metsakuivendus kokkuvõttes kliimat, kui lagunevast turbast eraldub kuivenduse tagajärjel rohkem süsinikku võrreldes sellega, mida seovad puud kuivenduse tagajärjel. Metsa süsinikuvaru suudab korvata ainult õhukese turbakihi süsinikuvaru: 10 cm

paksune turbakiht sisaldab sama palju süsinikku kui seda on seotud metsa - 100 m³/ha - biomassis.

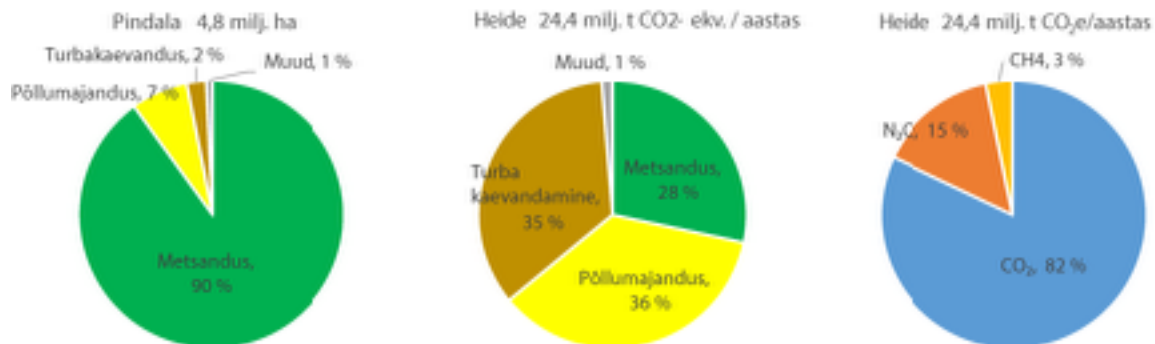
Väheviljakates kasvukohtades (kõdusoometsa tüübid, kus domineerivad pohl ja sookail-sinikas) saaks turba kadu vältida, kui hoida kuivendus mõõdukal tasemel. Lumevabal perioodil peab veetase jääma maapinnast keskmiselt kõige rohkem 30–40 cm sügavusele, et turvas ei laguneks (Ojanen & Minkkinen 2019). Nii saab metsandus olla pikas perspektiivis parimal juhul kliimasäästlik (vt [Kuivendatud turbaaladel paiknevate metsade kliimamõjud](#)). Viljakates kasvukohtades (jänese kapsa- ja mustika-kõdusoo) peaks veetase olema maapinnale väga lähedal (umbes 10 cm sügavusel, Ojanen ja Minkkinen 2019), et turvas püsiks. Nii märgades oludes kannatab puistu kasv märkimisväärselt ja tavapärane metsandus ei ole võimalik. Seega tähendab kuivenduspõhise metsanduse jätkamine viljakates kasvukohtades paratamatult turba lagunemist koos süsinikdioksiidi ja diämmastikoksiidi heitega.

Riigi tasandil on pärast kuivendust metsastatud alad, turbaaladel paiknevad põllud ja turba kaevandamine samas suurusjärgus heiteallikad, ehkki 90% kuivendatud alast moodustavad kuivendatud aladel kasvavad metsad (joonis 3). Viimaste heitkogused on suured nende suure pindala tõttu. Turbaala põldude heitkogused on suured turba kiire lagunemise tõttu. Turba kaevandamise ja kasutamise heide on suur sel põhjusel, et kaevandatud turvas põletatakse energia saamiseks või laguneb see muus kasutuses. 80% kuivendatud soode heitest moodustab süsinikdioksiid. Märkimisväärne on ka diämmastikoksiidi heide.

Põllumajanduses ja metsanduses on kuivendatud turbaaladel nende pindalaga võrreldes selgelt suurem kaal nii süsiniku kui ka kasvuhoonegaaside allika ja sidujana (joonis 4). Ehkki turbaalad moodustavad ainult 20% mineraalmuldade ja kuivendatud soode põldude ja metsade kogupindalast, moodustavad need 60% biomassi ja mulla süsinikuvarust. Seda seetõttu, et ühel hektaril turbaalal on keskmiselt kümme korda suurem pinnase süsinikuvaru kui ühes hektaris mineraalses pinnases. Kui mineraalmullaga põllud välja arvata, asuvad põllumajandus- ja metsandusmaade heiteallikad kuivendatud soodes ning kuivendatud turbaalad annavad kasvuhoonegaaside heitest üle 80% (joonis 4). Samal ajal seovad kuivendatud aladel kasvavad metsad märkimisväärselt süsinikdioksiidi. Need seovad umbes kolmandiku põllumajandus- ja metsamajanduslike mineraalmullaga maade ning kuivendatud soode kasvuhoonegaasidest.

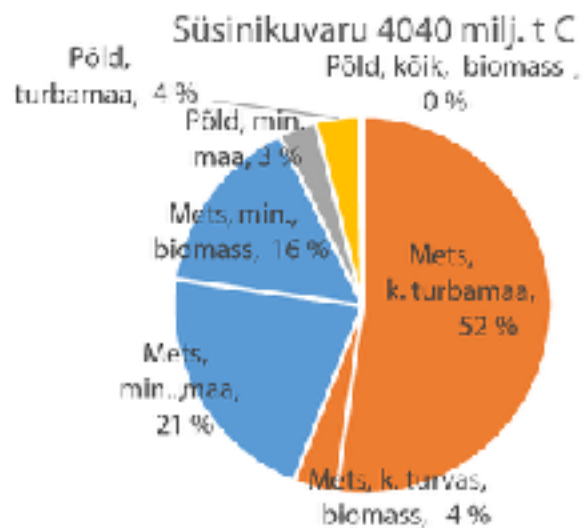
Kuivendatud sood ja nende kasutamine lagundavad turvast ja sellesse seotud süsinikku palju kiiremini, kui kuivendamata soos turvast tekib. Ametlike süsinikdioksiidi heite andmete järgi (joonis 3) põhjustavad metsa-, põllu- ja turbamajandus aastas 5,5 miljoni tonni turbasüsiniku kao. Turba ladestumine kuivendamata soodes aga seob 0,8 miljonit tonni süsinikku, arvutatuna nende pindala (vt [Soode kasutamine Soomes](#)) ja süsiniku sidumise alusel (vt [Kuivenduse mõju pinnase kasvuhoonegaaside heitele](#)). Seega eraldub Soome turbaaladelt igal aastal atmosfääri 4,7 miljonit tonni süsinikku. Kui kogu Soome sooad oleksid looduslikus

seisus, seoks tekkiv turvas sama arvutuskäigu järgi 2 miljonit tonni süsinikku aastas. Seega on metsa-, põllu- ja turbakaevandamise ning -kasutuse mõju turbasüsiniku sidumisele umbes –6,7 miljonit tonni aastas.

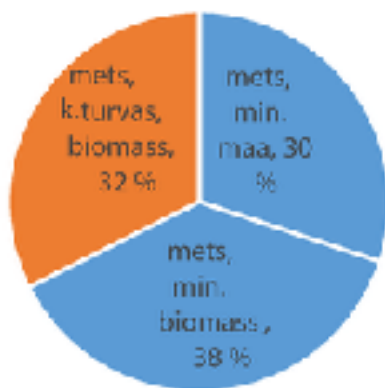


Joonis 3. Eri maakasutusviiside osakaal kuivendatud turbaalade pindalas ning süsinikdioksiidi (CO₂), metaani (CH₄) ja dilämmastikoksiidi (N₂O) ning eri maakasutusviiside osakaal kuivendatud turbaalade aastases kasvuhoonegaaside heites süsinikdioksiidi ekvivalendina (miljon tonni CO₂-ekv/aastas). Allikas: Soome statistikaamet 2020b (2018. aasta heitkoguste statistika). Heitkogused hõlmavad pinnasest tulenevat heidet ning turba põletamisel ja kasvuturba lagunemisel tekkivat heidet. Lisaks joonisel näidatud heitkogustele on kuivendatud turbaalade puistu sidunud aastatel 2014–2018 keskmiselt umbes 10 miljonit tonni CO₂ (kuivendatud turbaalade süsiniku sidumise osakaal vastavast turbaalade puistu näitajast pindalaühiku järgi Statistikaameti 2020a andmetel). Joonis hõlmab heitkoguste aruandluses kasutatavate piirangute kohaselt põllumajanduses kasutusel olevaid ja mahajäetud turbaalapõlde ning metsanduse puhul rahvusvahelisele metsa definitsioonile vastavaid kuivendatud soid. Sellise määratluse järgi on metsanduse puhul hõlmatud 93% riikliku metsainventuuri andmete kohasest kuivendatud soode pindalast.

Joonis 4 (all). Mineraalmuldade ja kuivendatud turbaalade metsade ja põldude osakaal nende kogupindalas, pinnase ja biomassi süsinikuvarus ning kasvuhoonegaaside sidumises ja eraldamises. Piirkonnad ning heite ja sidumise kogused põhinevad 2018. aasta kasvuhoonegaaside heitkoguste statistikal (Statistikaamet 2020a, b). Puistute sidumiskogus (metsa biomass) on aga aastate 2014–2018 keskmine, sest see on raiemahu muutumise tõttu aastati väga erinev. Metsa süsinikuvaru puhul on kasutatud riigimetsa 11. inventuuri tulemusi (Korhonen jt 2017) ning mineraalmaade pinnase süsinikuvaru puhul Heikkineni jt (2013) ja Lehtonen jt (2016) tulemusi. Turbaalade süsinikuvaru põhineb Jukka Turuneni ajakohastatud (2008) andmetel. Joonis hõlmab nii kasutatud ja mahajäetud põlde kui ka metsi, mis vastavad rahvusvahelisele metsa määratlusele. Hõlmatud ei ole kuivendamata turbaalad ja seal kasvav puistu.

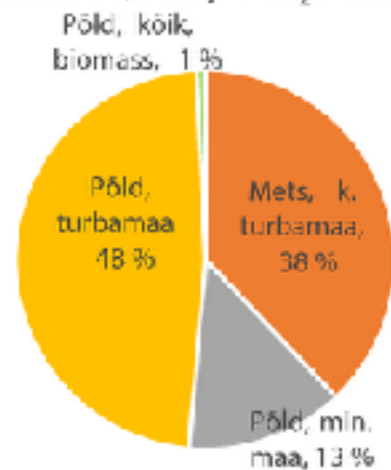


Sidumine 29,9 milj. t CO₂e/aastas



min. - mineraal-
k. - kuivendatud

Heide 18,2 milj. t CO₂e/aastas



Kuivenduse mõju veekogudele

Kokkuvõte

Sood ja nende kuivendamine mõjutavad soost madalamatesse veekogudesse valguva vee hulka, ajastust ja kvaliteeti. Kraavikaevamine muudab otseselt ka soo ja selle lähialade väikeveekogusid. Looduslikud sood suudavad pinnakihi kaudu voolavast veest või soosse imbuvast põhjaveest eemaldada toitaineid ja mineraale. Kuivendus kahjustab soo võimet veest aineid eemaldada või filtreerida, sest sel juhul ei kulge enamik vett läbi soo pinnakihi, vaid piki kraave. Samas eraldub kuivendatud soodest samuti toitaineid vette. Vees lahustunud toitained muudavad lähedasi väikeveekogusid eutroofsemaks ja kanduvad suurematesse veekogudesse. Orgaanilist ainet satub vette nii looduslikes kui ka kuivendatud soodes, need muudavad veekogude valgus- ja temperatuuritingimusi ning elustikku. Kraavide rajamine ja hooldamine võib mõne aasta jooksul vähendada vette jõudva orgaanilise aine koguseid, kuid pikas perspektiivis on sellised kogused kuivendatud soodes suuremad kui kuivendamata

soodes (Nieminen 2021jt). Paari aasta jooksul pärast kraavide hooldamist väheneb valglast veekogudesse voolava vee happelisus.

Kraavid mõjutavad ka ise veekogusid: kraavid ja paljas turbapind eraldavad tahkeid aineid, mis liiguvad koos veega lähikonna väikeveekogudesse ja settivad nende põhja. Lisaks mõjutab kuivendusala eralduv raud veekogude valgustingimusi ja moodustab veekogude põhjas sageli tahket muda. Seevastu looduslik soo suudab enda kaudu liikuvast veest eemaldada tahkeid aineid. Esmasel kuivendusel on suur mõju ka väikeveekogudele, sest sellega hävitatakse soos olevad ojad, allikad ja laukad või muudetakse need kraavideks. Ehkki sood ja nende kuivendamine mõjutavad ka soost välja voolava vee hulka, ei takista looduslikud sood üldjuhul kuigivõrd allavoolu asuvate veekogude suuri üleujutusi ning teiselt poolt kuivendus neid ka oluliselt ei suurenda. Happelise sulfaatmullaga aladel põhjustab turbakihi aluse väävlisisaldusega mineraalpinnaseni ulatuv kuivendus veekogusid tugevasti hapestavaid heitmeid ja veekogudesse kandub raskmetalle. Niisugust happeliseks muutumist ja raskmetallide kandumist esineb ka musta kilda levikualal paiknevates kuivenduskohtades.

Kuivenduse kahjulikke mõjusid veekogudele saab tõrjuda mitmel viisil. Võimalikult kõrge veetaseme hoidmine aeglustab turba lagunemist ja võib nõnda vähendada toitainekoormuse teket. Piirates kraavide hooldamist ja hoides põldudel taimestikku, saab vältida tahke aine kogunemist ja sellest tuleneva toitainekoormuse teket. Tekkivat tahke aine koormust saab tõhusalt kontrollida tammide, ülevooluliste tehismärgalade ja muude märgalade abil. Veest lahustunud toitaineid on keerulisem tõhusalt kinni püüda, kuid toitainekoormust saab vähendada põllumajanduses märgalade ning metsamajanduses ja turba kaevandamisel pinnasetteväljade abil. Happelistes sulfaatmuldades saab vältida happeliste ja metalli sisaldavate heitmete teket, kui hoida veetase väävlit sisaldavate mullakihtide kohal.

Looduslike ja kuivendatud soode mõju veekogudele

Looduslikus soos ladestuv turvas seob orgaaniliste ainete osana toitaineid. See võimaldab sool eemaldada seda läbivast veest lahustunud toitaineid (vt [Kuivendatud turbaladel paiknevate metsade koormus veekogudele](#)). Tõhusalt eemaldab toitaineid paksu turbakihi ja turvast ladestav aabasoo: sinna voolab ümbruskonnast toitainerikast vett, mille toitained jäävad ladestuvasse turbasse. Sootaimestik võtab veest toitaineid ja koos surnud taimeosadega satub osa toitaineid turbasse ning jääb seega soosse. Läbi turba voolav vesi võib kanda toitaineid ka otse turbaosakeste pinnale. Samuti filtreerib aabasoo läbivast veest tõhusalt tahket ainet ja selles sisalduvaid toitaineid. Nõnda võib aabasoo vähendada nii looduslike kui ka inimese tekitatud toitaine- ja tahke aine koormust, mida põhjustavad näiteks metsandus ja põllumajandus (Nieminen jt 2005, Väänänen jt 2008, Vikman jt 2010).

Puis-älveraba võime veest toitaineid eemaldada on vähene, kuigi ka selle turbasse koguneb toitained (vt [Kuivendatud turbaladel paiknevate metsade koormus veekogudele](#)). Looduslike puis-älverabade vähene võime toitaineid eemaldada on tingitud asjaolust, et need saavad

suurema osa veest toitainevaestest sademetest ja neisse valgub ümbruskonnast palju vähem vett kui aabasoodesse. Ka kõige õhema turbakihi looduslikud sood võivad nagu mineraalmulladki lasta vette toitaineid, sest seal suudavad taimed võtta kasutusse turba all mineraalmullas eralduvaid toitaineid. Kuid ka õhukese turbakihi sood ja puis-älverabad suudavad eemaldada veest tahket ainet.

Looduslik soo suudab veest eemaldada eriti mineraalseid toitaineid ja ka lämmastikku, iseäranis kui soosse siseneva vee lämmastikuisaldus on suur (vt [Kuivendamata ja kuivendatud soode koormus veekogudele](#); Väänänen jt 2008, Vikman jt 2010). Looduslik soo võib aga ka lämmastikku vette eraldada, sest looduslikelt mineraalmullaga maadelt soosse tuleva vee lämmastikuisaldus on tavaliselt väike ja bioloogiline lämmastiku sidumine atmosfäärist ladestab eriti märgades avasoodes rohkesti lämmastikku (Waugham & Bellamy 1980, Larmola jt 2013). Soost satub veekogudesse eelkõige lahustunud orgaaniline lämmastik, kui vesi läbib turbakihi ning sellesse jääb orgaanilist ainet ja lämmastikku (Kortelainen jt 1997). Looduslikust soost kandub veekogudesse märksa rohkem orgaanilisi aineid kui mineraalmullast.

Looduslikud sood hapestavad veekogusid, sest seal kanduvad happesust vähendavad ained veest turbasse ja vette eraldub orgaanilisi happeid (Tahvanainen jt 2002). Happelise sette hapestavat mõju sood aga vähendavad, sest absorbeerivad tõhusalt happesust põhjustavat setet (Palviainen jt 2015, Ekholm jt 2020). Kui välja arvata happelised sulfaatmullad ja musta kilda alad, vähendab kuivendus üldjuhul valglast vooluveekogudesse voolava vee happelisust (Ahtiainen & Huttunen 1999, Joensuu 2002, Kløve jt 2012). Kui aga kuivendatud puis-älveraba on täiesti ombrotroofne ehk vihmaveest toituv, võib kuivendus vooluveekogudesse voolavat vett hapestada (Sallantaus 1992). Aeg-ajalt, näiteks tugevate vihmasadude tõttu, võib kuivendatud valglast voolata happelisemat vett kui kuivendamata valglast (Kløve jt 2012).

Soo kuivendamisel juhitakse soosse sisenev vesi mööda kraave soost läbi või sellest mööda. Seetõttu ei liigu sisenev vesi enam läbi soo pinnakihi ja nõrgeneb soo võime imada sisenevas vees olevaid toitaineid või tahkeid aineid. Lisaks asendub turba ladestumine väga tihti turba lagunemisega (vt [Kuivenduse mõju pinnase kasvuhoonegaaside heitkogustele](#)), mille tagajärjel hakkavad toitained turbasse kogunemise asemel sealt eralduma. Kuivendus suurendab selgelt soost pärit lämmastiku- ja fosforikoormust (vt [Kuivendamata ja kuivendatud soode koormus veekogudele](#) ning [Kuivendatud turbaladel paiknevate metsade koormus veekogudele](#)). Suureneb ka lahustunud orgaanilise aine koormus, kui turvas mullastub ja selle omadused muutuvad pärast kuivendust. Koormuse teket mõjutavad ka kuivenduse mõjul muutuvad äravooluteed, kui äravooluvette lahustub aineid ka sügavamatest turbakihtidest. Lahustunud orgaanilise aine tumedus muudab veekogude valgustingimusi ning orgaanilise aine lagunemine veekogudes tarbib hapnikku ja võib põhjustada hapnikuvaegust (Palviainen & Finér 2013).

Kuivendatud aladel kasvava metsa toitainekoormus on märksa suurem kui mineraalmullaga metsa oma (vt [Kuivendamata ja kuivendatud soode koormus veekogudele](#)). Turbakaevandamise alal on toitainekoormus mitu korda suurem kui kuivendatud soometsas. Soost raadatud põllul on toitainekoormus veelgi suurem. Kuid ka mineraalmullaga põldude koormus on suur ning soopõldude suur koormus on osalt tingitud maaharimisest ja väetamisest ega ole ainuüksi turbaalade tunnus. Turbalaldel paiknevad põllud ja turbakaevandusalad võivad kohalikke veekogusid märkimisväärselt koormata, kuid turbakaevandamise aladel vähendavad kohustuslikud veekaitsemeetmed seda oluliselt. Turbapõldudelt pärit koormust mõjutab suuresti turbakihi paksus: mida paksem turbakiht, seda rohkem koguneb sinna eriti lämmastikku. Kuivendatud metsaalal põhjustab kohalikkude koormust esmajoonel ulatuslik metsaraie, sest see vähendab toitaineid omastavat taimestikku ja tõstab veetaset turbas (Finér jt 2010, Kaila jt 2014, 2015). Nii kuivendatud metsaalad kui ka turbapõllud on märkimisväärsed lämmastiku- ja fosforikoormuse allikad nii piirkondlikult kui ka üle riigi (Myllys 2019, Nieminen, M. jt 2020a, Finér jt 2020, 2021).

Looduslikust soost voolavas vees on väga vähe tahket ainet, sest vesi on imunud läbi taimestiku ja pinnaturba (Finér jt 2010). Kuivendatud soos eraldub kraavide taimevabadest pervedest turvast ja kui kraavi põhi ulatub peeneteralise mineraalmullani, siis ka seda (Stenberg jt 2015, Palviainen & Finér 2013). Põldudel ja turbakaevandamise aladel eraldub turvast ka taimedeta aladelt, eriti tugevate sademete ja lumesulaveega. Kraave mööda satub tahke aine veekogudesse ning settib kergesti soo lähedal asuvate väikeste vooluveekogude ja järvede põhja. Tahke aine sadestub ja katab väikeste veekogude põhja (Turunen jt 2017) ning takistab näiteks paljude kalaliikide paljunemist. Tahke aine koormuse mõju piirdub peamiselt väikeveekogudega ja sookuivendusel ei ole leitud olevat olulist mõju näiteks järvepõhja kogunevatele settekihtidele (Pajunen 2004, Mäkinen & Pajunen 2005, Vähäkuopus jt 2020). Kuna turvast eraldub kraavide pervaalt ja põhjast, kus taimi ei kasva, väheneb tahkete ainete eraldumine, eriti metsakuivenduse aladel, aastate möödudes pärast kuivendamist või kraavide puhastamist, sest taimestik hõivab kraavid (Palviainen & Finér 2013). Kui metsakraavi põhi ulatub peeneteralise mineraalmullani, võib tahke aine eraldumine jätkuda veel pikka aega, kui kraav uuristub järk-järgult sügavamale (Joensuu 2002, Stenberg jt 2016, Nieminen jt 2017).

Läänemere rannikualadel esineb endisel merepõhjal mineraalsel pinnasel ja turbakihtide all happelisi sulfaatmuldi ning mujal Soomes leidub kohati ka musta kiltat (vt [Happelised sulfaattullad ja kuivendus](#)). Kui sellised mineraalsed mullakihid või vahetult nende kohal olevad turbakihid rikastuvad kuivendamise tagajärjel hapnikuga, muutuvad need tugevalt happeliseks (Saarinen jt 2013, Nieminen jt 2016). Happesus lahustab metalle mullast veekogudesse ja metalli sisaldavad happelised veed kahjustavad vee-elustikku (Sutela jt 2012). Eelkõige soostunud aladel ja õhukese turbakihi soodes võis juba esmane kuivendus mullas sisalduvaid väävlühendeid hapnikuga rikastada, põhjustades hapestumist. Kraavide hooldamine võib põhjustada hapestumist isegi happeliste sulfaattuldade või musta kiltat alade paksu turbakihi soodes: hooldatud kraavid ulatuvad tavaliselt senisest sügavamale

kihtideni ja võivad ulatuda väävlirikka mineraalmulla kihtideni, kui maapind on turba tihenemise ja kadumise tõttu piisavalt vajunud..

Metsakuivendus koormab eriti väikesete jõgede lähteid, sest nendel aladel pole sageli muud inimtekkelist toitainet-, huumuse- ja tahke aine koormust (Aroviita jt 2016, Rääpysjärvi jt 2016, Turunen jt 2016). Lisaks koormusele on metsakuivendus tugevalt muutnud metsaste alade väikeveekogusid, kui soolade ojad, allikad ja laukad on kuivanud või muudetud kraavideks (Lammi jt 2018). Peale koormuse vähendamise saab väikeveekogude seisundit parandada neid korrastades ja taastades (Lammi jt 2018). Näiteks saab kõrvaldada teetruupidest põhjustatud tõkked, mis ei lase kaladel ülesvoolu liikuda, anda kraavisängidele kuivenduseelne vorm ning taastada kalade kudemiskohad (Hämäläinen 2015).

Looduslik soo ei hoia tõhusalt ära suuri üleujutusi, sest selle veetase on maapinna lähedal (vt [Hüdroloogia – soo tekke ja arengu suunaja](#)). Rohked sademed või lumesulavesi ei suuda soosse imenduda, vaid need valguvad mööda soo pinda kiiresti veekogudesse (Burt 1995). Väike hulk vett võib koguneda soo nõgudesse ehk älvestesse ja mülgastesse (Hyvärinen ja Vehviläinen 1980). Kuivendusel on nii üleujutusi suurendavaid kui ka vähendavaid mõjusid (vt [Hüdroloogia – soo tekke ja arengu suunaja](#)): kuivendatud soost pääseb vesi mööda kraave kiiresti veekogudesse. Teisalt alandab kuivendus turba veetaset, mille tagajärjel tekib turbas vee jaoks ruumi ja vett võib koguneda rohkem kui looduslikus soos. Kuivendus ei suurenda ega vähenda üheselt üleujutusi, vaid üldine mõju oleneb ilmastikuoludest ja kuivenduse paiknemisest valglast ning metsakuivendusalaaladel ka kuivenduse mõjust puude kasvule ja vee aurumisele (Mustonen & Seuna 1971, Lundin 1999).

Kuivendatud aladel metsas võib kuivendus aja jooksul, kui puistu kasvab rikkalikumaks, vähendada äravoolu ja tasakaalustada kevadisi üleujutusi (vt [Hüdroloogia – soo tekke ja arengu suunaja](#)). Märkimisväärne osa sadavast lumest aurustub otse puukstelt ja puude alla sadav lumi sulab puude varju tõttu aeglaselt (Nieminen ja Ahti 2000, Koivusalo jt 2008). Kuid isegi kuivendatud aladel mets ei ole eriti tõhus üleujutuste tasakaalustaja, sest ka seal tõuseb veetase rohkete sademete või lumesulavee tagajärjel maapinnani. Seejärel hakkab vesi valguma mööda maapinda kraavidesse ja nende kaudu kiiresti allavoolu asuvasse veekogudesse.

Kuivenduse tõttu veekogudele avalduva koormuse vähendamine

Soode kuivendusest põhjustatud koormust veekogudele saab vähendada nii koormust tekitavat heidet ära hoides kui ka tekkinud heidet veekaitsemeetodite abil kinni pidades. Tahke aine eraldumist kraavides saab ära hoida, kui hooldada kraave ainult vajaduse korral ning vältida suure kaldega ja mineraalmullani ulatuvate kraavide kaevamist (Palviainen & Finér 2013). Kuivendatud turbaaladel paiknevas metsas on tahke aine koormuse vastu võitlemisel kõige tähtsam kaaluda kraavide hooldamise vajadust ja seda hoolikalt planeerida, sest heide tekib peamiselt kraavides. Põldudel vähendab tahke aine eraldumist ka taimkatte

suurendamine väljaspool kasvuperioodi, näiteks otsekülvi või rohumaaviljelusele ülemineku abil, sest tahke aine koormus ei teki ainult kraavides, vaid ka taimevabadel aladel (Puustinen jt 2019).

Tahke aine eraldumist kraavides saab vältida, kui rajada kraavide kaevamise või hooldamise ajal voolu reguleerivad tammid, mis hinnangute järgi toimivad nii kuivendatud soometsas kui ka turbakaevandamise aladel (Marttila & Kløve 2010, Marttila jt 2010, Kløve jt 2012). Tammid aeglustavad veevoolu kraavides siis, kui see on sulava lume ja rohkete sademete ajal kõige tugevam. Nii eraldub kraavipervelt vähem tahket ainet. Tamm hoiab kinni ka juba liikuma läinud tahket ainet, sest jäme tahke aine settib kraavide põhja siis, kui vesi voolab piisavalt aeglaselt. Ka muud tammisarnased rajatised ja puidu lisamine (Salmelin jt 2020) võivad veevoolu aeglustada ja vähendada tahke aine koormust metsakraavides. Samuti on leitud, et peale tammisarnaste rajatiste vähendab tahke aine koormust see, kui jätta kraavidesse hooldamata lõike (Haahti jt 2018).

Kuivendatud soometsas ja turbakaevandamise aladel on liikvele läinud tahke aine püüdmisel osutunud tõhusaks vahendiks pinnasetteväljad (tehismärgalad), mis suudavad heal juhul peaaegu kogu tahke aine veest välja filtreerida (Sallantaus jt 1998, Nieminen jt 2005, Kløve jt 2012). Kuivendusalt juhatakse vesi veekogusse loodusliku või kraavide tõkestamise teel taastatud soo kaudu, mis katab paar protsenti valglast (joonis 5). Pinnasetteväljal filtreerub tahke aine veest välja ja mattub ladestuva turba hulka samamoodi nagu looduslikus aabasoos. Aabasoos äärtes asuvatelt metsakuivendusalaaladelt on asunud vett juhtima ka soo kuivendamata, sageli suure pindalaga keskosadesse (joonis 6). Sel juhul räägitakse vee tagastusest ja selle peamine eesmärk veekaitse kõrval on parandada kuivendamata soo looduslikku seisundit. Põllumajanduses ei ole tavaliselt võimalik pinnasettevälju rajada, kuid tahke aine koormust saab vähendada hästi kavandatud ja piisavalt suurte märgaladega (Puustinen jt 2001, 2019, Koskiaho & Puustinen 2019).



Joonis 5. Kuivendatud soometsa taastamisel rajatud pinnasetteväli. Sood läbiv kraav on suletud, nii et vesi pääseb liikuma läbi pinnakihi. Vees olev tahke aine filtreerub tõhusalt ja kui väli vananeb, suudab see kõrvaldada ka vees lahustunud toitaineid. Puud on väljalt eemaldatud, et need ei eraldaks sures ja pehkides kergesti vette sattuvaid toitaineid. Foto: Reijo Hokkanen, Metsähallitus Metsätalous Oy.

Joonis 6 (all). Aabasoo maastiku ja veekogude kaitse seoses kraavihooldusega. Pildil olev äveline avasoo on kuivanud ja hakanud kinni kasvama pärast seda, kui omal ajal juhiti kõrval asuva metsakuivendusala veed avasoost mööda lähedasse jõkke. Seoses kraavihooldusega juhitakse kuivendusalt valguv vesi pildil näidatud uute juhtkraavide abil tagasi avasoosse. Nii saadakse kuivendamata soo uuesti märjaks ja samal ajal filtreerib see kuivendusalt valguvast veest tahket ainet ja toitaineid. Foto: Jani Antila, Tapio Oy.



Samad vahendid, mis hoiavad ära tahke aine eraldumist ja vähendavad tahke aine koormust, vähendavad ka tahke ainega seotud toitainete ja metallide põhjustatud koormust. Veekogude eutrofeerumise vältimise seisukohalt on võtmetähtsusega siiski vähendada vees lahustunud toitainetest tingitud koormust. Toitainete eraldumist põldudel ja metsas saab vältida, kui tagada toitainete eraldumine ainult sellises koguses, mida taimestik suudab omastada. Turba lagunemisel eralduvate toitainete hulka saab vähendada, kui hoida veetaset võimalikult kõrgel. Põllumajanduses saab veetaset tõsta seadedrenaazi abil (Puustinen jt 2019). Metsanduses saab veetaset tõsta, kui vältida kraavihooldust, kasutades tamme ja sellesarnaseid rajatisi ning reguleerides vett aurustava puistu suurust (vt [Hüdroloogia – soo tekke ja arengu suunaja](#)).

Põllumajanduses on peamine toitainehete ennetamise vahend põllukultuuride vajadusi ja mulla omadusi arvestav kaalutletud väetamine (Turtola jt 2017). Turbaalade kasutuselevõtt maaharimise asemel näiteks karjamaadena või metsanduses võib võimaldada tõsta veetaset ja pidurdada turbast toitainete eraldumist. Kuivendatud turbaaladel paiknevas metsas võib üleminek püsimeetsandusele ennetada lageraiest tingitud järsku veetaseme tõusu ja toitainete omastamise vähenemist, mis põhjustavad toitainete eraldumist, ning samal ajal vähendada vajadust kraavihoolduse järel (Nieminen jt 2018, Leppä jt 2020a, b). Turbakaevandamise

aladel on toitainete eraldumist raske ära hoida, sest seal ei ole toitaineid omastavat taimeistikku ja veetaset tuleb hoida sügaval, et turvast kuivatada ja koguda. Teisalt on turbakaevandamise alad varustatud tõhusamate veekaitsehendustega kui põllud ja metsakuivendusalaad.

Kuivendatud turbaaladel paiknevas metsas ja turbakaevandamise aladel on pinnasetteväli üldjuhul ainus vahend, mis imab tahke aine koormust tõkestavates veekaitsehendustest lahustunud toitaineid (Väänänen jt 2008, Vikman jt 2010, Kløve jt 2012, Heikkinen jt 2018). Kui pinnasetteväli luuakse nii, et vesi juhitakse kuivendamata soosse, suudab väli imada toitaineid tõhusalt kohe pärast rajamist. Kui välja rajamisel juhitakse vesi kuivendatud soosse, võib esimestel aastatel toitaineid seevastu vägagi rikkalikult eralduda (Sallantaus jt 1998, Kløve jt 2012, Postila jt 2014, Nieminen, M. jt 2020b) – samamoodi nagu taastatud soodest üldiselt (Koskinen jt 2017, Kareksela jt 2020).

Põldudel imavad märgalad peale tahke aine ka lahustunud toitaineid (Puustinen jt 2001, 2019, Koskiaho & Puustinen 2019). Märgaladel põhineb vees lahustunud toitainete koormuse vähenemine eelkõige sellel, et põldudelt tulevas vees on suur lahustunud toitainete kontsentratsioon (Puustinen jt 2001). Kuivendatud turbaladel paiknevast metsast pärit vees on lahustunud toitainete kontsentratsioon märksa väiksem ja üldjuhul suudetakse märgalade abil imada sellest peamiselt tahket ainet (Nieminen jt 2005). Kui aga toitainesisaldus on näiteks pärast kraavihooldust suurem, võib toitainete imamine olla tõhus (Hynninen jt 2011).

Erinevalt teistest kuivendatud sooladest kasutatakse turbakaevandusaladel ka keemilist veetöötlust, kus vees lahustunud aineid sadestatakse kemikaalidega (Kløve jt 2012). Eelkõige võib see vähendada tahke aine ja fosforikoormust, kuid lämmastiku puhul on tulemused tagasihoidlikumad, sest selle meetodiga ei saa veest eemaldada anorgaanilist lämmastikku (Kløve jt 2012). Samuti on keeruline hoida töödeldud vee happesust allavoolu asuvatele veekogudele soodsana.

Happelistel sulfaatmuldadel kasvavate metsade kraavihooldusel on tähtis, et kraave ei kaevataks väävlirikaste kihtideni (vt [Happelised sulfaatmullad ja kuivendus](#)). Kui kraavihooldus on vältimatu, tuleks kaevata pigem madalaid lisakraave, mitte olemasolevaid süvendada (Hannila jt 2015). Tasub vältida sügavaid kogumiskraave ja veekaitserajatisi, näiteks settetiike (Nieminen jt 2016). Maaharimisel on eelistatavad kerged meetodid ja kui metsa uuendada näiteks alusmetsast, pole vaja maad ette valmistada (Nieminen, T. jt 2020). Kuna seadedrenaažiga põllul rikastub muld hapnikuga sageli kuni kahe meetri sügavusel, rikastatakse hapnikuga ja muudetakse happeliseks sügavad väävlirikad kihid. Happesuse suurenemist saab vältida, kui hoida põhjavee tase kasvuperioodil võimalikult ühtlane, näiteks seadedrenaaži või niisutamise abil (Österholm jt 2015, Puustinen jt 2019). Turbakaevandamise aladel tuleks kaevandamine aegsasti lõpetada, et ei tarvitseks kaevata kraave sulfaatmulla kihtideni (Auri jt 2018).

Paljud tõhusad veekaitsemeetmed aitavad kaitsta ja taastada ka soode ja veekeskonna loodust. Veekaitse kõrval pakub märgalade rajamine elupaiku eelkõige veelindudele (Puustinen jt 2001, Joensuu jt 2012). Puit on oluline ka vee-elustikule (Salmelin jt 2020) ning puidu lisamine kraavidesse võib soodustada ühtaegu veekaitset ning soo- ja veekeskonna mitmekesisust – nagu ka pinnasetteväljade rajamine ja vee juhtimine kuivendamata soodesse.

Kirjandus

Ahtiainen, M. & Huttunen, P. 1999. Long-term effects of forestry managements on water quality and loading in brooks. *Boreal Environment Research* 4: 101–114. Saadavissa: <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. Saadavissa: 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.

Ekholm, 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. Saadavissa: <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. Saadavissa: <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 vesistökuormitus 2020, Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja. Valtioneuvoston kanslia, Helsinki. Saadavissa: <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., Koskiahho, 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/ocrskannaus045_artikkelit_2207.pdf#view=FitH

Hommelntenberg, 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. Metsäojitetut suot. Teoksessa: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). Suomen luontotyyppeiden 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 sekatyypien turvekangaskehitys. *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., Kempainen, 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 suojelu- ja 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. Kosteikot metsätaloudessa – selvitys. TASSO-hanke. 13 s. <https://www.ymparisto.fi/fi-FI/TASSOhanke/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 luontotyypin uhanalaisuus 2018. Luontotyypin

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. TASSO-hanke. 29 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-257-505-0>

Koivisto, L. & Lampela, M. 2008. Vanhojen metsäojituskokeiden 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. Heikkotuottoiset ojitetut 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., Ľupek, 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., Korhikoski, 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.

Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 37: 1–67. Saatavissa: [http://urn.fi/](http://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207171069)

[URN:NBN:fi-metla-201207171069](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. & Väiliranta, 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. & Väiliranta, 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>
- Myllys, M. 1998. Soiden viljely. Teoksessa: Vasander, H. (toim.). *Suomen suot*. Suoseura ry. s. 64–71.
- Myllys, M. 2019. Turvepeltojen ravinnehuuhtoumien vähentämismahdollisuudet. *Vesitalous* 60: 33–34. Saatavissa: <https://www.vesitalous.fi/>
- Nieminen, M. & Ahti, E. 2000. Soiden metsätalouskäytön 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 peatlands? *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*. Hyväksytty julkaistavaksi.
- Nieminen, T.M., Hökkä, H., Ihalainen, A., Finér, L., 2016. Metsänhoito happamilla sulfaattimailla. *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. Kunnostusojituksen vaikutus vesistöjen humuskuormitukseen. TASO-hanke. 47 s. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fi-FI/TASOhanke/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., Koskiahho, J., Gran, V., Jormola, J., Maijala, 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., Koskiahho, 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 – kangasmetsäkasvillisuutta 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. & Knuuttila, 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. & Klöve, 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 torjuminen ojitetuista soista muodostettujen puskurivyöhykkeiden 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. *PuuMaVesi-hanke*. 41 s. Saatavissa: <https://www.syke.fi/hankkeet/puumavesi>

- Salo, K. 1981. Metsänparannustoimenpiteiden vaikutus rämeiden sienisatoon. *Suo* 32(1): 1–6. Saatavissa: <http://www.suo.fi/article/9515>
- Salo, 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://tilastokeskus.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., Mylly, 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., Tolkkinen, 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/10.1191/0959683602h1522rp>

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 luonnonsuojelujulkaisuja. 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>