

➤ Metsäojituksen vaikutuksesta ilmastoon

Climatic impacts of forestry on drained boreal peatlands

Paavo Ojanen

Paavo Ojanen, tutkija, Luonnonvarakeskus (LUKE), puh. +358 45 674 2593, email: paavo.ojanen@helsinki.fi

Metsäojitus vähentää merkittävästi soiden metaanipäästöjä. Rehevien ruoho- ja mustikkaturvekankaiden maaperä on kuitenkin merkittävä hiilidioksidin lähde ilmakehään turpeen vähenemisen takia. Karujen puolukka- ja varputurvekankaiden turve ei näyttäisi nykyisin merkittävästi vähenevän. Puustobiomassan merkittävän suurenemisen ansiosta Suomen metsäojitetut suot ovat tällä hetkellä kasvihuonekaasujen nettonielu.

Ilmastonmuutoksen hillitsemisen kannalta metsänkasvatuksen jatkaminen lienee paras maankäyttömuoto metsäojitetuille soille lähivuosikymmenten aikana. Vaikka laajamittaisella ennallistamisella voitaisiin estää rehevien soiden turpeen väheneminen, samalla kuitenkin puuston kasvu vähenisi ja metaanipäästö kasvaisi. Ennallistamisen jälkeen kestänee vähintään kymmeniä tai satoja vuosia, ennen kuin saavutetaan ilmaston kannalta metsänkasvatuksen jatkamista parempi tilanne. Pitkällä aikavälillä rehevien soiden ennallistaminen on kuitenkin ilmaston kannalta parempi vaihtoehto, koska jo muutaman kymmenen senttimetrin paksuisen turvekerroksen häviäminen vapauttaa enemmän hiiltä ilmakehään kuin kookaskaan puusto pystyy sitomaan itseensä.

Metsäojitettujen soiden kasvihuonekaasutaseista on viime vuosina kertynyt melko kattavasti tietoa. Jotta *metsätalouden jatkamisen* tai mahdollisen *puuston kasvamaan jättämisen* tai *suon ennallistamisen* ilmastovaikutuksen suuruutta voidaan täsmällisesti arvioida, tarvitaan vertailulaskelmia eri vaihtoehtojen kasvihuonekaasupäästöistä. Suuren kokonaispinta-alan takia metsäojitettujen soiden tulevalla käytöllä voi olla suuri vaikutus Suomen kasvihuonekaasupäästöihin.

Avainsanat: turvemaa, kasvihuonekaasut, hiilidioksidi, metaani, typpioksiduuli, suometsätalous, ojitus

Johdanto

Metsätalouden ilmastovaikutuksista on puhuttu jo pitkään. Viimeksi Ilmastopaneelin raportin (Seppälä ym. 2015) julkistaminen nosti asian lehtien mielipideosastoille. Sekä Suomessa että kansainvälisesti keskustelu on pyörinyt enimmäkseen puun käytön ilmastovaikutusten ympärillä: Miten hakkuut vaikuttavat metsien hiilivarastoon?

Kuinka muiden rakennus- ja pakkausmateriaalien ja polttoaineiden korvaaminen puulla vaikuttaa ihmisen aiheuttamiin kasvihuonekaasupäästöihin? Vähemmälle huomiolle on jäänyt se tosiseikka, että merkittävä osa talousmetsistämme sijaitsee turvemaailla. Ne ovat sekä huomattava hiilen varasto että potentiaalinen kasvihuonekaasujen nielu ja lähde. Huomion puute on tietysti ymmärrettävää, koska kyseessä on suomalainen

ja ruotsalainen kansallinen erityispiirre. Useimmissa metsätalousmaissa suometsätalous on lähes tuntematon käsite.

Metsäojitettujen soiden kasvihuonekaasupäästöjä on viime vuosina ja vuosikymmeninä tutkittu Suomessa ja Ruotsissa intensiivisesti ja tieteellisiä artikkeleita on ilmestynyt kansainvälisissä sarjoissa. Tietoa on siis olemassa. Suomenkielisiä katsauksia metsäojituksen ilmastovaikutuksesta ei kuitenkaan ole ruuhkaksi asti ollut tarjolla. Niinpä tieteellinen tieto on usein jäänyt julkisessa keskustelussa taka-alalle. Tästä on tietysti meitä tutkijoita syyttäminen; mitäs olemme pantanneet tietoa ja piilottaneet sen vaikeatajuisiin vieraskielisiin teksteihin! Tässä kirjoituksessa yritän hiukan korjata tilannetta. Esitän seuraavassa perustietoa, jonka pohjalta itse kukin voi pohtia suometsätalouden merkitystä ilmastomuutoksen aiheuttajana ja sen mahdollisuuksia ilmastomuutoksen hillitsijänä.

Luonnontilaisen suon ilmastovaikutus

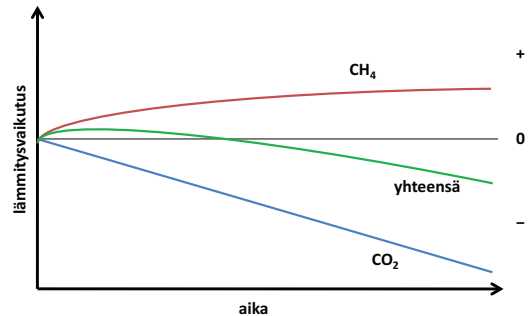
Luonnontilaiseen suohon kertyy turvetta, koska kuolleet kasvinosat eivät hajoa täydellisesti maaperän hapettomissa oloissa. Turpeen kuivamassasta noin puolet on hiiltä. Kasvit ovat aikanaan yhteytyksessä sitoneet hiilen ilmakehän hiilidioksidista. Turpeen kertyessä luonnontilainen suo siten poistaa hiilidioksidia ilmakehästä ja viilentää ilmastoa. Suo on hiilidioksidin nielu. Samalla suo on kuitenkin myös metaanin lähde ilmakehään. Hapettomissa oloissa mikrobit eivät pysty hajottamaan orgaanista ainetta täydellisesti takaisin hiilidioksidiksi vaan osa siitä vapautuu metaanina ilmakehään. Siten luonnontilainen suo lämmittää ilmastoa.

Metaanilla ja hiilidioksidilla on kaksi olennaista eroa. Metaani on huomattavasti hiilidioksidia tehokkaampi kasvihuonekaasu: yksi gramma metaania ilmakehässä lämmittää maapalloa noin sata kertaa niin tehokkaasti kuin yksi gramma hiilidioksidia. Toisaalta metaani hajoaa ilmakehässä noin 12 vuodessa. Hiilidioksidi ei hajoa ilmakehässä, ja vain osa siitä poistuu vähitellen

maaperään ja vesistöihin. Siten luonnontilaisella suolla on aluksi voimakas mutta nopeasti tasaantuva ilmastoa lämmittävä vaikutus metaanipäästön takia sekä aluksi vähäinen mutta ajan myötä jatkuvasti kasvava viilentävä vaikutus hiilidioksidinielun takia (kuva 1).

Metaanipäästön ja hiilidioksidinielun suuruuksien suhteesta riippuen suo lämmittää ilmastoa satojen tai jopa tuhansien vuosien ajan syntymästään alkaen, minkä jälkeen vaikutus on vähitellen yhä enemmän ilmastoa viilentävä (Frolking ym. 2006). Suomen jääkauden jälkeen syntyneet suot ovat siten aluksi lämmittäneet ilmastoa, mutta nyt keskimäärin yli 4000 vuoden ikäisinä (Turunen 2002) ne jo selvästi viilentävät ilmastoa.

Suomen soiden keskimääräisen hiilenkertymän (LORCA, Turunen 2002) perusteella hiilidioksidinielu on suotyypistä ja sijainnista riippuen 50–130 g hiilidioksidia/m² vuodessa. Metaanipäästö on suotyypistä riippuen 2–24 g metaania/m² vuodessa (Minkkinen ja Ojanen 2013).



Kuva 1. Kaavakuva luonnontilaisen suon metaanipäästön ja hiilidioksidinielun ilmastovaikutuksesta suon synnystä kuluvan ajan myötä. Metaanipäästön (CH₄) lämmittävä vaikutus tasaantuu, koska metaani hajoaa ilmakehässä nopeasti. Hiilidioksidinielun (CO₂) viilentävä vaikutus suurenee jatkuvasti, koska turpeen kertyminen poistaa pysyvästi ilmakehästä hiilidioksidia, joka ei sieltä muuten poistuisi. Kokonaisvaikutus kääntyy vähitellen alun lämmittävistä alati voimistuvaksi viilentäväksi vaikutukseksi.

Fig. 1. Schematic illustration of the climate warming (+) and cooling (-) effects of the cumulative methane (CH₄) source and carbon dioxide (CO₂) sink as well as their sum (yhteensä) in pristine peatlands as a function of time since mire initiation.

Metsäojitetun suon kasvihuonekaasutase

Metsäojituksen tarkoituksena on parantaa puuston kasvua pohjaveden pintaa alentamalla. Sen seurauksena happea pääsee entistä syvemmälle suohon ja puiden juurten kasvuolosuhteet paranevat. Koska turpeen kertyminen ja metaanipäästö johtuvat oleellisesti maaperän hapettomuudesta, pintamaan hapettomuuden vähentyminen voi vaikuttaa molempiin.

Tutkin väitöskirjassani (Ojanen ym. 2010, 2012, 2013, 2014a,b) metsäojitetujen soiden hiilidioksidi-, metaani- ja typpioksiduulitasetta. Luonnontilaisista soista poiketen ojitetut suot voivat olla myös merkittäviä typpioksiduulin (N_2O) lähteitä, koska turpeen hajotessa myös siihen sitoutunut typpi vapautuu mikrobien käyttöön. Metsäojitetun suon hiili- ja kasvihuonekaasutaseita ovat tutkineet myös esimerkiksi von Arnold ym. (2005a-b), Lohila ym. (2011), Meyer ym. (2013), Minkkinen ym. (1997, 1998, 1999, 2001, 2006, 2007a-b) ja Simola ym. (2012).

Ojitus vähentää metaanipäästöä. Vedenpinnan painuminen 30 cm syvyyteen maanpinnasta muuttaa maaperän metaanin nieluksi (kuva 2). Ojikko- ja muuttuma-asteella olevat ojitusalueet ovat keskimäärin metaanin lähteitä. Ne päästävät ilmakehään vuosittain $1,1 \pm 0,5$ g metaania/ m^2 . Vastaavasti turvekankaan sukkessiovaiheessa olevat kasvupaikat ovat metaanin nieluja sitoen vuodessa $0,28 \pm 0,04$ g metaania/ m^2 (Ojanen ym. 2010).

Käytössä olevat ja metsitetyt turvepellot ovat merkittäviä typpioksiduulin lähteitä, mutta metsäojitusalueilla huomattavia päästöjä on havaittu vain satunnaisesti kaikkein rehevimmillä suotyypeillä. Ruohoturvekankailla päästö on keskimäärin $0,19 \pm 0,07$ g typpioksiduulia/ m^2 vuodessa ja se pienenee karummille tyypeille mentäessä ja on varputurvekankailla $0,029 \pm 0,007$ g typpioksiduulia/ m^2 vuodessa (Ojanen ym. 2010).

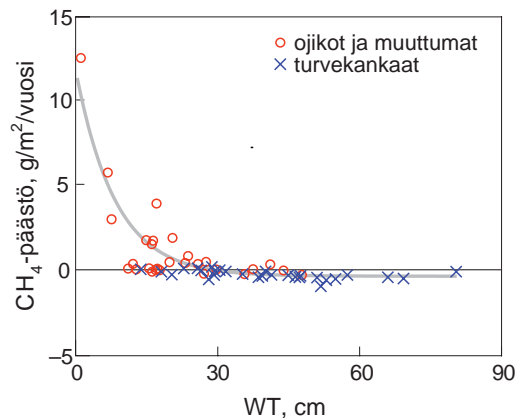
Rehevien, ruoho- ja mustikkaturvekangastyypin ojitusalueiden maaperä on keskimäärin hiilidioksidin lähde (190 ± 70 g hiilidioksidia/ m^2 vuodessa) ja karujen, puolukka- ja varputurvekangastyypillä olevien kasvupaikkojen maaperä on keskimäärin nielu (70 ± 30 g hiilidioksidia/ m^2 vuodessa) (kuva 3, Ojanen ym. 2013). Mitä

syvemmällä pohjaveden pinta on, sitä suurempi on hiilidioksidilähde. Kaikkein suurimmat lähteet, noin 1000 g hiilidioksidia/ m^2 vuodessa havaittiin tehokkaasti ojitetuilla eteläsuomalaisilla rehevillä ojitusalueilla. Rehevillä kasvupaikoilla nykyinen puustobiomassan kasvu tuottaa vuositasolla 880 ± 60 g hiilidioksidia/ m^2 ja vastaavasti karuilla kasvupaikoilla 490 ± 60 g hiilidioksidia/ m^2 kokoisena hiilidioksidinieluna (Ojanen ym. 2013).

Kun maaperän ja puuston kaasutaseet laskeetaan yhteen hiilidioksidiekvivalentteina, voidaan havaita, että lähes kaikki tutkitut koelat olivat kasvihuonekaasujen nieluja (kuva 4).

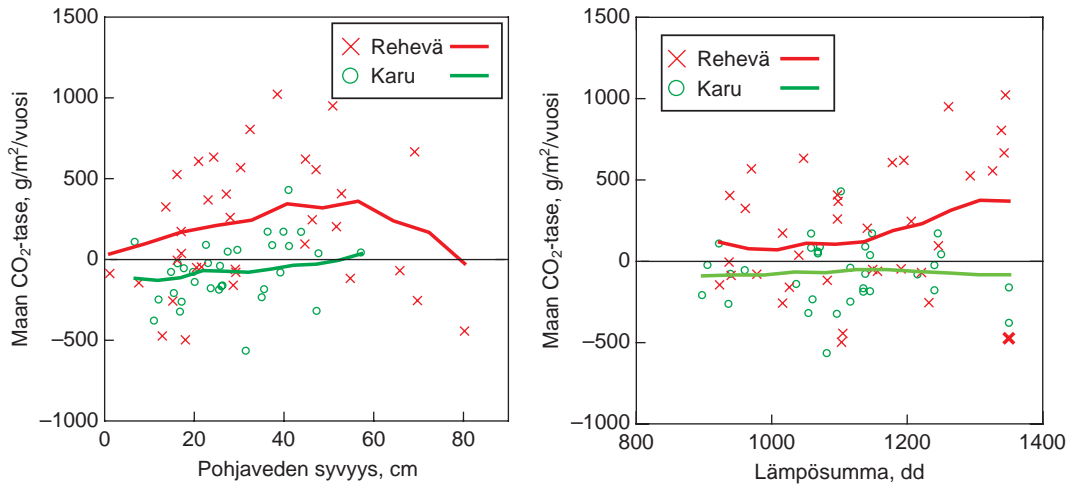
Valtakunnan metsien inventoinnin ja yllä mainittujen tulosten perusteella voidaan Suomen kaikkien metsäojitetujen soiden maaperän typpioksiduulipäästökseksi arvioida $1,2 \pm 0,2$ Tg hiilidioksidiekvivalenttia vuodessa ja metaanipäästökseksi $0,8 \pm 0,4$ Tg hiilidioksidiekvivalenttia vuodessa. Lisäksi ojien metaanipäästökseksi saadaan $0,27 \pm 0,04$ Tg hiilidioksidiekvivalenttia vuodessa, kun oletetaan, että ojien metaanipäästö neliometriä kohden on samansuuruinen kuin ojittamattoman suon päästö.

Maaperän hiilidioksiditasetta ja sen epävarmuutta arvioitiin erikseen (Ojanen ym. 2014) ja

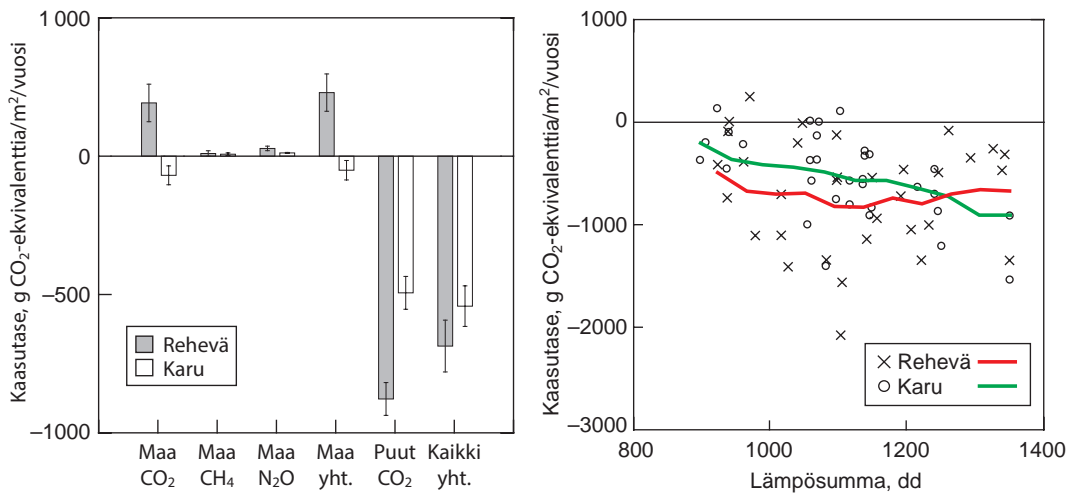


Kuva 2. Metsäojitetujen soiden maaperän vuotuinen metaanipäästö lumettoman ajan keskimääräisen pohjaveden pinnan syvyyden (WT) funktiona. Negatiiviset arvot ovat metaaninieluja (kuva: Ojanen ym. 2010).

Fig. 2. Annual methane emission (g methane m^{-2}) from forestry-drained peatlands as a function of mean frost-free season water table depth (cm below soil surface). Negative value means sink. (Source: Ojanen et al. 2010).



Kuva 3. Metsäojitettujen soiden maaperän hiilidioksiditase lumentoman ajan keskimääräisen pohjaveden pinnan syvyyden ja lämpösunnan (kynnys +5 °C) funktiona. Negatiiviset arvot ovat hiilidioksidinieluja (kuva: Ojanen ym. 2013).
 Fig. 3. Annual soil CO₂ balance (g CO₂ m⁻²) of meso-eutrophic (red) and ombro-oligotrophic (green) forestry-drained peatlands as a function of mean frost-free season water table depth (cm below soil surface) and temperature sum (dd, threshold +5 °C). Negative value means carbon dioxide sink. (Source: Ojanen et al. 2013).



Kuva 4. Ekosysteemin kasvihuonekaasutase hiilidioksidiekvivalentteina (GWP100) keskimäärin rehevillä (ruoho- ja mustikkaturvekankaat) ja karuilla (puolukka- ja varputurvekankaat) metsäojitusalueilla sekä lämpösunnan (kynnys +5 °C) funktiona (kuva: Ojanen ym. 2013).

Fig. 4. Annual ecosystem greenhouse gas balance (g CO₂ equivalents/m², GWP100). Left: average values for meso-eutrophic (grey bars) and ombro-oligotrophic (white bars) forestry-drained peatland sites for soil (Maa), tree stand (Puut) and total ecosystem (Kaikki yht.). Right: The ecosystem balance as a function of temperature sum (dd, threshold +5 °C), red: meso-eutrophic sites, green: ombro-oligotrophic sites. (Source: Ojanen et al. 2013).

tulokseksi saatiin, että hiilidioksidipäästön/nielun epävarmuus on ± 10 Tg hiilidioksidia vuodessa. Tällä hetkellä ei siis pystytty varmuudella sanomaan, onko metsäojitettujen soiden maaperä hiilidioksidin lähde vai nielu. Tämä johtuu siitä, että sekä maahan juurten kuollessa tulevan hiilen määrää että maasta hajotuksessa ilmakehään vapautuvan hiilidioksidin määrää on vaikea suoraan mitata. Lisäksi kaikkia soita yhteen laskettaessa nielut ja lähteet osin kumoavat toisiaan.

Valtakunnan metsien inventoinnin perusteella puuston biomassan suurenemisen (puuston kasvu – luonnon- ja hakkuupoistuma) hiilidioksidinieluksi ojitetuilla soilla on vuosina 2010–2013 arvioitu 14,0–15,5 Tg hiilidioksidia vuodessa (Tilastokeskus 2015). Siten maaperän hiilidioksiditaseen suuresta epävarmuudesta huolimatta Suomen metsäojitetut suot ovat tällä hetkellä todennäköisesti kasvihuonekaasujen nielu.

Metsäojituksen vaikutuksesta ilmastoon

Edellä käsitellyt metsäojitettujen soiden kaasutaset eivät kerro metsäojituksen ja sitä seuranneen metsätalouden vaikutusta ilmastoon. Sama piirre on valtakunnallisessa päästöjen raportoinnissa (Tilastokeskus 2015). Sekä yllä että raportoinnin maankäyttöosiossa kerrotaan ihmisen käytössä olevien alueiden päästöt, ei ihmistoiminnan aiheuttamia päästöjä. Siitä, että alueet ovat nieluja, ei voi vielä päätellä, että metsäojituksella olisi ollut ilmastoa viilentävä vaikutus. Ilman metsäojitusta näiden alueiden kaasutase ei olisi nolla vaan luonnontilaisten soiden tase. Siten metsäojituksen vaikutus kaasupäästöihin ja sitä kautta ilmastoon on laskettava siten, että metsäojitettujen soiden päästöistä vähennetään ne päästöt, jotka samoilla soilla olisi ilman ojitusta.

Koska käytännössä kaikki metsäojituskelpoiset suomme ja vähän enemmänkin on jo ojitettu, ei ole oikeastaan lainkaan tarpeellinen kysymys, kannattaako soita ojittaa metsätaloutta varten. Jo tapahtuneisiin metsäojituksen päästöihin emme voi enää vaikuttaa. Ilmastonmuutoksen hillitsemisen kannalta on sen sijaan oleellinen kysymys, pitäisikö metsätaloutta jatkaa metsäojitetuilla soilla vai tehdä niillä jotakin muuta? Laajassa

mittakaavassa toteuttamiskelpoiset *metsätalouden* vaihtoehdot lienevät *puuston kasvamaan jättäminen ja suon ennallistaminen*.

Karuilla turvekangastyypeillä metsätalouden jatkaminen tai puuston kasvamaan jättäminen näyttävät hyviltä vaihtoehdoilta. Kasvavan puuston hiilinielu voi jatkua vielä vuosikymmeniä ja puulla voidaan mahdollisesti korvata saastuttavampia energia- ja raaka-ainelähteitä. Ennallistamalla nämä alueet puuston kasvu vähenisi merkittävästi ja metaanipäästöt lisääntyisivät, joten nykyisen tasoisen viilentävän vaikutuksen saavuttaminen turvetta hitaasti kerryttämällä voi kestää satoja vuosia. Lähivuosisikymmenien ilmastomuutoksen hillitsemiseksi metsänkasvatuksen jatkaminen näyttää siis parhaalta vaihtoehdolta.

Kun mietitään useita kiertoaikoja jatkuvan metsätalouden ilmastovaikutusta, oleellista on, vapautuuko turpeen hiili ilmakehään. Kookkaankaan puuston hiilivarasto ei vastaa kuin enintään muutaman kymmenen senttimetrin turvekerroksen hiilivarastoa. Vaikka karujen ojitusalueiden turpeen hiilivarasto ei tällä hetkellä näytäkään pienenevän, ei ole mitään takuita siitä, että tilanne jatkuisi samanlaisena metsätalouden jatkuessa satoja vuosia. Ojitusalueet ovat nyt vain muutama vuosikymmen ikäisiä eli kehityksensä alussa. Tulevat tutkijasukupolvet joutunevat palaamaan asiaan.

Rehevien turvekangastyyppeiden osalta tilanne on huomattavasti selvempi. Turve hajoaa vähitellen hiilidioksidiksi ilmakehään, eikä ole mitään viitteitä siitä, että hajoaminen pysähtyisi, ennen kuin kaikki turve on hajonnut. Samalla kun tuotamme puuta, menetämme turvetta. Useita kiertoaikoja jatkuva metsätalous pienentää väistämättä metsän hiilivarastoa, ellei hajoava turvekerros ole hyvin ohut. Tämä on tietysti metsätalouden kannalta harmillista, koska rehevät turvekankaat tuottavat parhaiten puuta. Harmillista on myös se, ettei näille alueille löytyne lähivuosisikymmenien ilmastonmuutoksen hillitsemisen kannalta kovin hyviä käyttövaihtoehtoja. Ennallistamalla voi toki pysäyttää turpeen hajoamisen, mutta lisääntyvän metaanipäästön lämmitysvaikutus kumonnee sen viilentävän vaikutuksen pitkäksi aikaa.

Neuvo metsätalouden toimijoille: Vältäkö tarpeettoman syviä ojituksia ja turhia ojien kunnostuksia! *Mitä syvemmät ojat, sen suurempi*

turpeen hävikki. Suon metaanipäästön lopettamiseen riittää hyvin maltillinen ojitus. Ilmastomuutoksen torjumisen kannalta pohjaveden pintaa kannattaa alentaa vain niin syväälle, kuin se on puuston hyvän kasvun takia välttämätöntä.

Mitä vielä pitäisi tietää?

Ylläolevien kaltaisia päätelmiä voi helposti tehdä, mutta kuinka suuria ilmastovaikutuksia olisi esimerkiksi soiden laajamittaisella ennallistamisella verrattuna metsätalouden jatkamiseen tai puuston kasvamaan jättämiseen? Metsänkasvatuskelvottomille alueille tällaisia arvioita jo tehdään LIFE-PeatLandUse-hankkeessa (<http://www.metla.fi/hanke/8547/index.htm>).

Suomen pinta-alasta niin suuri osa on soita ja turvemaita, että niiden käytöllä on väistämättä suuri vaikutus ympäristöön. Jos fossiilisten polttoaineiden käyttö saadaan lähivuosina ja -vuosikymmeninä radikaalisti vähenemään, suurin osa Suomen kasvihuonekaasupäästöistä on tulevaisuudessa peräisin maankäytöstä ja erityisesti ojitettujen soiden turpeesta. Silloin katse kohdistuu maa- ja metsätalouden toimijoihin ja hyvin todennäköisesti esitetään kysymys, miten päästöjä voisi vähentää.

Kirjallisuus

- 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. <http://dx.doi.org/10.1029/2005JG000091>
- Lohila, A., Minkkinen, K., Aurela, M., Tuovinen, J-P., Penttilä, T., Ojanen, P. & Laurila T. 2011. Greenhouse gas flux measurements in a forestry-drained peatland indicate a large carbon sink. *Biogeosciences* 8: 3203–3218. <http://dx.doi.org/10.5194/bg-8-3203-2011>
- Meyer, A., Tärvinen, L., Noursratpour, A., Björk, R., Ernfors, M., Grelle, A., Kasimir Klemedtsson, Å., Lindroth, A., Rantfors, M., Rütting, T., Wallin, G., Weslien, P. & Klemedtsson, L. 2013. A fertile peatland forest does not constitute a major greenhouse gas sink. *Biogeosciences* 10: 7739–7758. <http://dx.doi.org/10.5194/bg-10-7739-2013>
- Minkkinen, K. & Laine, J. 1998. Long-term effect of forest drainage on the peat carbon stores of pine mires in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 1267–1275.
- Minkkinen, K. & Laine, J. 2006. Vegetation heterogeneity and ditches create spatial variability in methane fluxes from peatlands drained for forestry. *Plant and Soil* 285: 289–304. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-006-9016-4>
- Minkkinen, K., Laine, J., Nykänen, H. & Martikainen, P.J. 1997. Importance of drainage ditches in emissions of methane from mires drained for forestry. *Canadian Journal of Forest Research* 27: 949–952.
- Minkkinen, K., Vasander, H., Jauhiainen, S., Karsisto, M. & Laine, J. 1999. Post-drainage changes in vegetation composition and carbon balance in Lakkasuo mire, Central Finland. *Plant and Soil* 207: 107–120.
- Minkkinen, K., Laine, J. & Hökkä, H. 2001. Tree stand development and carbon sequestration in drained peatland stands in Finland – a simulation study. *Silva Fennica* 35: 55–69. <http://www.silvafennica.fi/pdf/article603.pdf> [Cited 20 Mar 2014].
- Minkkinen, K., Laine, J., Shurpali, N., Mäkiranta, P., Alm, J. & Penttilä, T. 2007a. Heterotrophic soil respiration in forestry drained peatlands. *Boreal Environment Research* 12: 115–126.
- Minkkinen, K. & Ojanen, P. 2013. Pohjois-Pohjanmaan turvemaiden kasvihuonekaasutaset. *Metlan työraportteja* 258: 75–111. http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp258_3_75-111.pdf
- Minkkinen, K., Penttilä, T. & Laine, J. 2007b. Tree stand volume as a scalar for methane fluxes in forestry-drained peatlands in Finland. *Boreal Environment Research* 12: 127–132.
- Ojanen, P. 2014a. Estimation of greenhouse gas balance for forestry-drained peatlands. *Dissertationes Forestales* 176: 1–26. <http://dx.doi.org/10.14214/df.176>
- Ojanen, P., Minkkinen, K., Alm, J. & Penttilä, T. 2010. Soil–atmosphere CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in boreal forestry-drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 260: 411–421. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.036>

- Ojanen, P., Minkkinen, K., Lohila, A., Badorek, T. & Penttilä, T. 2012. Chamber measured soil respiration: A useful tool for estimating the carbon balance of peatland forest soils? *Forest Ecology and Management* 277: 132–140. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.04.027>
- Ojanen, P., Minkkinen, K. & Penttilä, T. 2013. The current greenhouse gas impact of forestry-drained boreal peatlands. *Forest Ecology and Management* 289: 201–208. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.008>
- Ojanen, P., Lehtonen, A., Heikkinen, J., Penttilä, T. & Minkkinen, K. 2014b. Soil CO₂ balance and its uncertainty in forestry-drained peatlands in Finland. *Forest Ecology and Management* 325: 60–73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.049>
- Seppälä, J., Kanninen, M., Vesala, T., Uusivuori, J., Kalliokoski, T., Lintunen, J., Saikku, L., Korhonen, R. & Repo, A. 2015. Metsien hyödyntämisen ilmastovaikutukset ja hiilinielujen kehittyminen. Ilmastopaneelin raportti 3/2015: 1–43. <http://www.ilmastopaneeli.fi/>
- Simola, H., Pitkänen, A. & Turunen, J. 2012. Carbon loss in drained forestry peatlands in Finland, estimated by re-sampling peatlands surveyed in the 1980s. *European Journal of Soil Science* 63: 798–807. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.2012.01499.x>
- Tilastokeskus 2015. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2014. Tilastokeskus, Helsinki. 65. s. http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/suominir_2015.pdf
- Turunen, J., Tomppo, E., Tolonen, K. & Reinikainen, A. 2002. Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland – application to boreal and subarctic regions. *Holocene* 121: 69–80.
- von Arnold, K., Nilsson, M., Hånell, B., Weslien, P. & Klemedtsson, L. 2005a. Fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O from drained organic soils in deciduous forests. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 1059–1071. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.11.004>
- von Arnold, K., Weslien, P., Nilsson, M., Svensson, B.H. & Klemedtsson, L. 2005b. Fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O from drained coniferous forests on organic soils. *Forest Ecology and Management* 210: 239–254. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.031>

Summary: Climatic impacts of forestry on drained boreal peatlands

Forestry-drainage substantially decreases methane emissions from peatlands. On the other hand, peatland soils in nutrient-rich meso-eutrophic sites turn into carbon dioxide (CO₂) sources due to peat loss. On drained nutrient-poor oligo-ombrotrophic sites, no significant peat loss has currently been detected. Due to the considerable CO₂ sink into increasing tree stand biomass, forestry-drained peatlands in Finland are currently a net sink of greenhouse gases.

In order to mitigate climate change during the following decades, the most appropriate land-use option for forestry-drained peatlands seems to be the continuation of forestry. By wide-ranging rewetting, the peat loss from nutrient-rich drainage-areas could be prevented. However, tree growth would also decrease and methane emissions increase. Thus, it would probably take decades or centuries before rewetting would have a climate-cooling effect. In the long run, rewetting would be better option for nutrient-rich peatlands, as the loss of just a few tens of centimeters of peat will release more carbon to the atmosphere than even the greatest tree stand can store.

During the recent years, knowledge on greenhouse gas emissions from forestry-drained peatlands has greatly increased. To discover the best future land-use options for these areas, comparison of greenhouse gas sink and source scenarios of different options are needed. Due to the huge area of forestry-drained peatlands in Finland, their future use can have a considerable impact on greenhouse gas emissions on national level.

Keywords: peat, greenhouse gases, carbon dioxide, methane, nitrous oxide, peatland forestry, ditching