

➤ Ojittamattomien ja ojittettujen soiden vesistökuormitus

Markku Koskinen

Markku Koskinen, Helsingin yliopisto, markku.koskinen@helsinki.fi

Soiden vesistökuormitus

Suot ovat sadannan ja veden virtausten määrittämiä ekosysteemejä. Ojittamatonta suota on helppo ajatella eräänlaisena suodattimena, joka puhdistaa lävitseen kulkevia vesiä. Tämä ajatus on kuitenkin yksinkertaistava: ojittamattomissakin soissa tapahtuu monenlaisia biologisia ja kemiallisia prosesseja, joiden vaikutuksesta turpeesta voi myös liueta veteen aineita, etenkin orgaanisia hiiliyhdisteitä. Ojittamattomille soille tyypillisissä hapettomissa oloissa fosforin sitoutuminen maaperän rautayhdisteisiin on heikkoa ja osa orgaanisista hiiliyhdisteistä on kiinnittynyt heikosti maahiukkasten pinnalle. Yläpuoliselta valuma-alueelta tuleva kiintoainekuormitus sen sijaan pidättyy suohon erittäin hyvin, kun veden virtaus hidastuu ja vesi suotautuu turvemaan pintakerroksen läpi. Myös epäorgaanisen typen pitoisuus voi vähentyä suon läpi kulkevassa vedessä, kun typpiyhdisteitä nitriittiä ja nitraattia käytetään hapen asemesta mikrobien energiantuotannossa. Typpikuormitusta yläpuoliselta valuma-alueelta voi tulla paljon esimerkiksi hakkuiden yhteydessä.

Ojittamattomat suot lisäävät veteen orgaanista hiiltä noin viisinkertaisesti ja tyyppäkin noin kaksin-kolminkertaisesti kivennäismaan metsään verrattuna (taulukko 1). Sen sijaan fosforin määrään valumavedessä ojittamattomalla suolla ei vaikuta olevan merkitystä. Ojittamattomien soiden tyyppi lisäävä vaikutus kuulostaa ristiriitaiselta sen ajatuksen kanssa, että kosteikkoja käytetään

vesien puhdistamiseen. Tämä ristiriita selittyy sillä, että kosteikoilla puhdistettavien hulevesien, maatalouden vesien ja yhteiskuntajätevesien nitraattitypen pitoisuus on merkittävästi häiriintymättömältä metsäiseltä kivennäismaalta valuvia vesiä suurempi. Metsäisillä kivennäismailla typen määrä on tyypillisesti puuston kasvua rajoittava tekijä, joten ylimääräistä, huuhtoutumiselle altista tyyppiä ei juuri esiinny. Sen sijaan metsätaloustoimenpiteiden, kuten hakkuiden, jälkeen tyyppiä voi väliaikaisesti vapautua runsaasti. Tällöin ojittamaton tai ennallistettu suo tai rakennettu kosteikko voi puhdistaa vettä poistamalla siitä tyyppiä etenkin, jos olosuhteet ovat sopivat ja vesi viipyy suolla riittävän pitkään. Osa tyypeistä pidättyy mikrobeihin ja kasvillisuuteen ja voi edelleen varastoitua kertyvään turpeeseen. Osa tyypeistä pelkistyy typpioksiduuliksi ja typpi-kaasuksi ja poistuu sitten kaasuina ilmakehään (Lee ym. 2009). Pidättyminen kasvillisuuteen edellyttää sitä, että kasvit ottavat ravinteita, eli että kasvukausi on meneillään. Pelkistymisreaktiot vaativat riittävän niukkahappisia oloja, eli käytännössä ojittamattoman tai ennallistetun suon tai kosteikon korkeaa vedenpintaa. Tällöin typen pelkistyksellä on merkittävä osuus mikrobien energiantuotannossa (esim. Smith & Tiedje 1979).

Aiemmin on ajateltu, että metsäojituksen vaikutus valumaveden laatuun on ohimenevä: ojitustoimenpiteitä seuraavien vuosien jälkeen veden laatu vastaa ojittamattomilta soilta tulevan veden laatua. Viime vuosina on ilmestynyt tätä käsitystä haastavia tutkimuksia (Nieminen ym.

Taulukko 1. Eri maankäytössä olevien soiden sekä vastaavien kivennäismaiden orgaanisen hiilen (TOC, liuennut ja partikkelimainen orgaaninen hiili), kokonaistypen (TN) ja kokonaisfosforin (TP) kuormitus vesistöihin. Suorat mittatulokset on lihavoitu, muut luvut perustuvat osin mallilaskelmiin.

TOC, kg/km ² /vuosi	
Ojittamaton suo	
10000–15000	Rantakari ym. 2010 (TOC-kuorma vuosina 2003 ja 2007, arvioitu kuvasta 7)
12000–14000	Nilsson ym. 2008 (kahden vuoden seuranta, oligotrofinen pohjoinen suo)
8700–43000	Urban ym. 1989 (DOC-kuorma, bog ja 2×fen Minnesotassa)
4200–11300	Jager ym. 2009 (DOC-kuorma, Salmisuo)
Metsäojitettu suo	
11000–15000	Rantakari ym. 2010 (TOC-kuorma vuosina 2003 ja 2007, arvioitu kuvasta 7)
Turvemaan pelto	
15100	Myllys 2019 (laskettu CODMn-arvon ja valunnan perusteella kaavalla TOC = CODMn/1,4; alkuperäinen viite Sallantaus 1986)
Turpeennostoalue	
10100–36600	Tattari ym. 2014 (laskettu CODMn-arvon ja valunnan perusteella kaavalla TOC = CODMn/1,4; alkuperäinen viite Sallantaus 1986)
Kivennäismaan metsä	
2253	Kortelainen ym. 2006 (kaavalla $\ln(\text{TOC}) = 7,72 + 0,027 \cdot \text{turvema} - \%, 0 \% \text{ turvemaalle}$)
940–2500	Kortelainen ym. 1999 (Katajavaara 8 ja 10 valuma-alueet, 0–4 % turvemaata)
Kivennäismaan pelto	
2500–6000	Manninen ym. 2018 (DOC-kuorma, kysytty: TOC-kuorma alle 10 000 kg/km ² /vuosi)
TN, kg/km ² /vuosi	
Ojittamaton suo	
100	Lepistö ym. 2006 (Etelä-Suomi, > 30 % turvemaata valuma-alueen pinta-alasta, kerroin turvemaan osuudelle valuma-alueen pinta-alasta)
140	Lepistö ym. 2006 (Pohjois-Suomi, kuten yllä)
240	Kortelainen ym. 2006 (kaavalla $N = 48,4 + 1,92 \cdot \text{turvema} - \%, 100 \% \text{ turvemaalle}$)
100	Kortelainen ym. 2006 (Kruunuojat, 88 % turvemaata)
Metsäojitettu suo	
230–500	Ahtiainen & Huttunen 1999 (Suopuro 7–10 vuotta ojituksen jälkeen, lisäkuorma luonnontilaan (otettu yltä) verrattuna 130–240 kg/km ² /vuosi)
310–430	Nieminen ym. 2018
Turvemaan pelto	
1800–3890	Huhta & Jaakkola 1994 (nurmi vs. ohra)
1800	Myllys 2019 (sama alue kuin Huhta & Jaakkola 1994, keskiarvo 1983–2000)
3800	Lemola ym. 2000, lysimetrikoe, kevätohra
Turpeennostoalue	
1073–1500	Kløve 2001
930	Lepistö ym. 2006 (huuhtoumakerroin taulukosta 2; alkuperäinen viite Sallantaus 1983)
Kivennäismaan metsä	
48	Kortelainen ym. 2006 (kaavalla $N = 48,4 + 1,92 \cdot \text{turvema} - \%, 0 \% \text{ turvemaalle}$)
29–88	Kortelainen ym. 1999 (Katajavaara 8 ja 10 valuma-alueet, 0–4 % turvemaata)
90–160	Lepistö ym. 2006 huuhtoumakertoimet taulukosta 2 (Pohjois-Suomi 90, Etelä-Suomi 160)
9–114	Ukonmaanaho & Starr 2002
Kivennäismaan pelto	
1400–2200	Rekolainen ym. 1995

TP, kg/km ² /vuosi	
<hr/>	
Ojittamaton suo	
4,1	Kortelainen ym. 2006 (Kruunuoja, 88 % turvemaata)
Metsäojitettu suo	
10	Ahtiainen & Huttunen 1999 (Suopuro 7–10 vuotta ojituksen jälkeen, lisäkuorma luonnontilaiseen (otettu yltä) verrattuna 6 kg/km ² /vuosi)
7–7,5	Kaila ym. 2014 (kuvasta arvioitu kahden kontrollivuoden keskimääräinen kuorma; karut metsäojitetut suot)
9,1–15,5	Nieminen ym. 2020 (ojituslisä lisätty Kortelainen ym. 2006 mittaustulokseen)
Turvemaan pelto	
130–300	Huhta & Jaakkola 1994 (nurmi vs. ohra)
90	Myllys 2019 (sama alue kuin Huhta & Jaakkola 1994, keskiarvo 1983–2000)
70–100	Riddle ym. 2018 (lysimetrikoetta kentällä, vehnä)
Turpeennostoalue	
16–38	Kløve 2001
Kivennäismaan metsä	
3,7–5,5	Kortelainen ym. 1999 (Katajavaara 8 ja 10 valuma-alueet, 0–4 % turvemaata)
Kivennäismaan pelto	
95–160	Rekolainen ym. 1995

2017, 2018). Nykyisen tiedon valossa ojitusalueilta huuhtoutuu aikaa myöten enemmän typpeä, fosforia ja orgaanista hiiltä kuin ojittamattomilta soilta, vaikka ojitusalueilla ei olisi pitkään aikaan tehty mitään toimenpiteitä (Finér ym. 2020, Nieminen ym. 2020).

Turvemaapeltojen aiheuttamasta vesistökuormituksesta on julkaistu vain vähän tutkimustietoa, vaikka turvemaapeltoja on Suomessa noin 10 % viljelysmaasta (ks. Soiden käyttö Suomessa, s. 115). Maanviljelyssä ravinnekuormitus voi olla kertaluokkaa suurempi kuin luonnontilaiselta tai metsäojitetulta suolta. Ojituksen lisäksi peltoa lannoitetaan, kalkitaan ja muokataan. Nämä viljelykasvien kasvua parantavat toimet parantavat myös turpeen hajottajamikrobien elinoloja, minkä takia turpeen hajoaminen ja ravinteiden vapautumien kiihtyy. Mikäli viljelykasvit eivät käytä kaikkia lannoitteena annettuja ja turpeen hajoamisen takia vapautuneita ravinteita, ne ovat alttiina huuhtoutumiselle, sillä turvemaapidättää huonosti ravinteita. Mitä sateisempaa on, sitä enemmän ravinteita huuhtoutuu. Myös viljelykasvin valinta vaikuttaa ravinnekuormitukseen. Monivuotisen nurmen viljely vähentää turvepellon typpikuormituksen noin puoleen

verrattuna yksivuotisten kasvien kuten viljojen viljelyyn. Fosforia puolestaan huuhtoutuu nurmelta hieman enemmän kuin viljapelloilta (Huhta & Jaakkola 1994, Myllys 2019). Peltokäytössä olevan turvemaan aiheuttama fosforikuormituksen on enimmillään mitattu olevan 10–30-kertainen ja typpikuormituksen jopa satakertainen ojittamattomaan tai metsäojitettuun suohon verrattuna. Orgaanisen hiilen kuormitus on samaa kokoluokkaa kuin ojittamattomalla tai metsäojitetulla suolla. Kivennäismaapeltoon verrattuna turvemaapelton hiilikuormitus on kuitenkin noin puolitoista kertaa suurempi, koska maaperän orgaanisen aineksen määrä on suurempi.

Turpeennostoalueilta ravinteita ja maaperän hiukkasia sitova kasvillisuus on poistettu kokonaan ja ne on ojitettu erittäin voimakkaasti. Tämä näkyy jopa kymmenkertaisena typpi- ja fosforikuormituksena ojittamattomiin soihin verrattuna ja kuusin–kymmenkertaisena kuormituksena metsäojitetuihin soihin verrattuna. Turvemaan peltoihin verrattuna turpeennostoalueet ovat ravinteiden osalta hieman pienempiä kuormittajia. Orgaanisen hiilen kuormitus on kaksin–kolminkertainen verrattuna ojittamattomaan tai metsäojitettuun tilanteeseen. Lisäksi on

otettava huomioon, että hiilen ja fosforin kuormitusarviot ovat todennäköisesti aliarvioita, koska hienojakoisen kiintoaineksen mukana syntyvän ravinnekuormituksen arvioiminen on vaikeaa.

Vesistökuormituksen määrittämisestä

Ojittamattoman suon tai ylipäätään minkään alueen aiheuttaman vesistökuorman määrittäminen ei ole yksiselitteistä. Sellaisia järjestelmiä, joissa saataisiin valuma-alue tarkasti rajattua ja mitattua kaikki alueelle tulevat ja sieltä poistuvat kuormat, ei ole olemassa. Tämän vuoksi monet taulukon 1 tiedot pohjautuvat empiiriseen mallinnukseen. Mallinnusta varten on mitattu vesistökuormitusta useilta valuma-alueilta ja laskettu kuormitukset valuma-alueiden ominaisuuksien ja kuormituksen välillä havaittujen riippuvuuksien avulla (esim. Kortelainen ym. 2006, Finér ym. 2020, Nieminen ym. 2020). Maatalouden ravinnekuormatiedot saadaan huuhtoutumiskentiltä, joilla koeruuduille tulevat ja poistuvat vesi- ja ravinnevirrat ovat helpommin mitattavissa kuin ojittamattomilla tai metsäojitetuilla soilla tehtävissä mittauksissa. Tulosten yleistettävyyttä haittaa kuitenkin se, että kalliita huuhtoutumiskenttiä voi perustaa vain harvoihin paikkoihin.

Erilaisten toimenpiteiden kuormituksen laskeminen on merkittävästi helpompaa kuin aluekohtaisten kuormitusten, koska toimenpiteiden kuormituksen määrittämiseen voidaan käyttää vertailualue menetelmää. Menetelmässä vertailaan tilannetta toimenpidettä ennen ja sen jälkeen toimenpide- ja kontrollialueella. Kontrollialueen kuormituksen perusteella päätellään, minkä verran kuormitusta toimenpidealueelta olisi tullut ilman toimenpidettä (niin kutsuttu taustakuormitus). Toteutuneen kuormituksen ja taustakuormituksen erotus on toimenpiteen aiheuttama kuormitus.

Valuma-alueen rajaamisen ohella kuormituksen arvioimista vaikeuttaa se, että kuormituksen laskemiseksi pitää tietää sekä kuormittavan aineen pitoisuus että valuma-alueelta valuvan veden määrä (valunta). Valunnan mittaamisen vaikeus on ollut julkisessa keskustelussa esillä erityisesti turpeennostoalueiden vesistökuormitusta arvioi-

taessa, mutta se koskee kaikkea vesistökuormituksen arviointia: on arveltu, että suuri osa kevätvalunnasta saattaa kiertää valuntaa mittaavan järjestelmän ohii. Vuoden valunnasta merkittävän osan muodostava kevätvalunta syntyy lumensulamamisvesistä, ja maan ollessa vielä jäässä vesi voi kiertää yllättäviäkin reittejä. Kevätvaluntaa voi myös olla niin paljon, ettei se kaikki mahdu ojaan vaan osa tulvii ojan ympärillä.

Kuormittavan aineen pitoisuus määritetään usein näytteenoton perusteella, ja pitoisuus saattaa valunnan muuttuessa muuttua nopeasti. Tämä ongelma on ollut esillä erityisesti turpeennostoalueiden kiintoainekuormitusta määritettäessä, mutta se pätee kaikkiin suon käyttömuotoihin, joissa maanpinta on ajoittain vailla kasvillisuutta. Kun kasvillisuus puuttuu, maanpinnalla ja ojissa oleva hienojakoinen kiintoainelähtee rankkasateiden yhteydessä valunnan noustessa nopeasti liikkeelle (Kløve ym. 2012, Marttila & Kløve 2008, 2009) ja pitoisuus laskee taas valunnan vähetessä. Pitoisuusnäytteitä pitäisi tällöin ottaa ennen sadetta, sateen aikana, ja sateen jälkeen, jotta saataisiin tarkka arvio valuntahuipun aiheuttamasta kuormituksesta. Mikäli suurimman valunnan ja pitoisuuden aikana ei saada näytettä, päädytään aliarvioimaan kuormitus; mikäli taas saadaan näyte suurimman pitoisuuden aikana, mutta ei valunnan ja samalla pitoisuuden vähenyntyä, päädytään yliarvioimaan kuormitus.

Kuormitustaulukkoon haettiin sellaisia tutkimustuloksia, joissa on suoraan arvioitu turvemaan ravinnekuormitus ja orgaanisen hiilen kuormitus. Pääpaino on annettu suorille mittaustuloksille, mutta niitä on tarpeen mukaan täydennetty mallien antamilla tuloksilla (esim. Kortelainen ym. 2006). Mikäli tuloksia pelkästään turvemaita sisältävältä valuma-alueelta ei ollut saatavissa, käytettiin tuloksia, jotka edustavat mahdollisimman paljon, yleensä yli 80 % pinta-alasta, turvemaita sisältäviä valuma-alueita.

Kommentoineet: Kaisu Aapala, Pirkko Kortelainen, Hannu Marttila, Tuija Mattsson, Merja Mylly, Mika Nieminen, Tiina M. Nieminen, Juhani Päivänen, Tapani Sallantaus, Sakari Sarkkola, Eila Turtola

Kirjallisuus

- Ahtiainen, M., & Huttunen, P. 1999. Long-term effects of forestry managements on water quality and loading in brooks. *Boreal Environment Research* 4: 101–114. Saatavissa: <http://www.borenv.net/>
- 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. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-826-7>
- Huhta, H. & Jaakkola, A. 1994. Viljelykasvin ja lannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen turvemaasta Tohmajärven huuhtoutumiskentällä v. 1983–87. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 20/93: 1–66. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014042925272>
- Jager, D.F., Wilmking, M. & Kukkonen, J.V.K. 2009. The influence of summer seasonal extremes on dissolved organic carbon export from a boreal peatland catchment: Evidence from one dry and one wet growing season. *Science of The Total Environment* 407: 1373–1382. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.10.005>
- Kaila, A., Sarkkola, S., Laurén, A., Ukonmaanaho, L., Koivusalo, H., Xiao, L., O’Driscoll, C., Asam, Z.-U.-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>
- Kløve, B. 2001. Characteristics of nitrogen and phosphorus loads in peat mining wastewater. *Water Research* 35: 2353–2362. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00531-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00531-5)
- Kløve, B., Tuukkanen, T., Marttila, H., Postila, H., Heikkinen, K., 2012. Turvetuotannon kuormitus – Kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arvio turvetuotannon vesistökuormitukseen vaikuttavista tekijöistä. Oulun yliopisto, Suomen Ympäristökeskus.
- Kortelainen, P., Mattsson, T., Finér, L., Ahtiainen, M., Saukkonen, S. & Sallantausta, T. 2006. Controls on the export of C, N, P and Fe from undisturbed boreal catchments, Finland. *Aquatic Sciences* 68: 453–468. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s00027-006-0833-6>
- Kortelainen, P., Ahtiainen, M., Finér, L., Mattsson, T., Sallantausta, T. & Saukkonen, S., 1999. Luonnonhuuhtouma metsävaluma-alueilta, teoksessa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.). *Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.–24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja 745: 9–13.* Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1694-7>
- Lee, C., Fletcher, T.D. & Sun, G. 2009. Nitrogen removal in constructed wetland systems. *Engineering in Life Sciences* 9: 11–22. Saatavissa: <https://doi.org/10.1002/elsc.200800049>
- Lemola, R., Turtola, E., Eriksson, C., 2000. Undersowing Italian ryegrass diminishes nitrogen leaching from spring barley. *Agricultural and Food Science in Finland* 9: 201–215. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201604069095>
- Lepistö, A., Granlund, K., Kortelainen, P. & Räike, A. 2006. Nitrogen in river basins: Sources, retention in the surface waters and peatlands, and fluxes to estuaries in Finland. *Science of The Total Environment, Monitoring and modelling the impacts of global change on European freshwater ecosystems* 365. 238–259. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.02.053>
- Manninen, N., Soinne, H., Lemola, R., Hoikkala, L., Turtola, E., 2018. Effects of agricultural land use on dissolved organic carbon and nitrogen in surface runoff and subsurface drainage. *Science of The Total Environment* 618, 1519–1528. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.319>
- Marttila, H., Kløve, B., 2008. Erosion and delivery of deposited peat sediment. *Water Resources Research* 44. Saatavissa: <https://doi.org/10.1029/2007WR006486>
- Marttila, H., Kløve, B., 2009. Retention of Sediment and Nutrient Loads with Peak Runoff Control. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 135: 210–216. Saatavissa: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2009\)135:3\(210\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2009)135:3(210))

- vissa: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2009\)135:2\(210](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2009)135:2(210)
- Myllys, M. 2019. Turvepeltojen ravinnehuuhtoumien vähentämismahdollisuudet. *Vesitalous* 60: 33–34. Saatavissa: <https://www.vesitalous.fi/>
- Nieminen, M., Sallantaus, T., Ukonmaanaho, L., Nieminen, T.M. & Sarkkola, S. 2017. Nitrogen and phosphorus concentrations in discharge from drained peatland forests are increasing. *Science of the Total Environment* 609: 974–981. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.210>
- Nieminen, M., Sarkkola, S., Hellsten, S., Marttila, H., Piirainen, S., Sallantaus, T. & Lepistö, A. 2018. Increasing and decreasing nitrogen and phosphorus trends in runoff from drained peatland forests – is there a legacy effect of drainage or not? *Water, Air, and Soil Pollution* 229: 286. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3945-4>
- Nieminen, M., Sarkkola, S., Hahti, K., Sallantaus, T., Koskinen, M., Ojanen, P. 2020. Metsäoijitettujen soiden typpi- ja fosforikuormitus Suomessa. *Suo* 71(1): 1–13. Saatavissa: <http://suo.fi/article/10398>
- Nilsson, M., Sagerfors, J., Buffam, I., Laudon, H., Eriksson, T., Grelle, A., Klemmedtsson, L., Westlin, P. & Lindroth, A. 2008. Contemporary carbon accumulation in a boreal oligotrophic minerogenic mire – a significant sink after accounting for all C-fluxes. *Global Change Biology* 14: 2317–2332. Saatavissa: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01654.x>
- Rantakari, M., Mattsson, T., Kortelainen, P., Piirainen, S., Finér, L. & Ahtiainen, M. 2010. Organic and inorganic carbon concentrations and fluxes from managed and unmanaged boreal first-order catchments. *Science of the Total Environment* 408: 1649–1658. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.12.025>
- Rekolainen, S., Pitkänen, H., Bleeker, A., Felix, S., 1995. Nitrogen and Phosphorus Fluxes from Finnish Agricultural Areas to the Baltic Sea. *Hydrology Research* 26, 55–72. Saatavissa: <https://doi.org/10.2166/nh.1995.0004>
- Riddle, M., Bergström, L., Schmieder, F., Kirchmann, H., Condron, L. & Aronsson, H. 2018. Phosphorus Leaching from an Organic and a Mineral Arable Soil in a Rainfall Simulation Study. *Journal of Environmental Quality* 47: 487–495. Saatavissa: <https://doi.org/10.2134/jeq2018.01.0037>
- Sallantaus, T., 1986. Soiden metsä- ja turvetalouden vesistövaikutukset: kirjallisuuskatsaus, Luonnonvarajulkaisuja. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki.
- Sallantaus T. 1983. Turvetuotannon vesistökuormitus. Kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosaston julkaisuja, sarja D, 29. 122 s.
- Smith, M.S., Tiedje, J.M., 1979. Phases of denitrification following oxygen depletion in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 11, 261–267. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(79\)90071-3](https://doi.org/10.1016/0038-0717(79)90071-3)
- Tattari, S., Koskiahho, J. & Kosunen, M. 2014. Turvetuotannon kuormituslaskentasuositus ja perustelut sen käyttöönnotolle. Suomen Ympäristökeskus. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B54969A0C-410B-4D80-B2D1-460FDFC9CD88%7D/96008>
- Ukonmaanaho, L., Starr, M., 2002. Major nutrients and acidity: budgets and trends at four remote boreal stands in Finland during the 1990s. *Science of The Total Environment* 297, 21–41. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00095-5](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00095-5)
- Urban, N.R., Bayley, S.E. & Eisenreich, S.J. 1989. Export of dissolved organic carbon and acidity from peatlands. *Water Resources Research* 25: 1619–1628. Saatavissa: <https://doi.org/10.1029/WR025i007p01619>

(Julkaistu Suoseuran verkkosivuilla 24.11.2020)