

## ➤ Metsäojitettujen soiden vesistökuormitus

Mika Nieminen & Tapani Sallantaus

*Mika Nieminen, Luonnonvarakeskus, mika.nieminen@luke.fi;  
Tapani Sallantaus, Suomen ympäristökeskus, tapani.sallantaus@syke.fi*

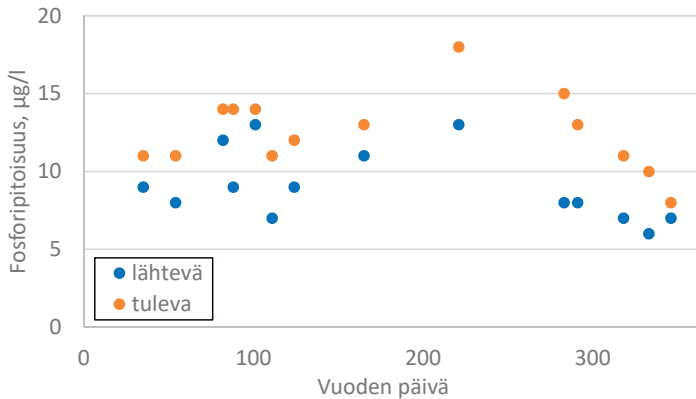
### Luonnontilaisten soiden ja kosteikoiden vaikutus vesistöihin

Luonnontilaisilla soilla ajatellaan olevan niin merkittävä vesiä puhdistava vaikutus, että niitä on kutsuttu jopa valuma-alueidensa munuaisiksi. Luonnontilaiset minerotrofiset, ympäröivältä alueelta vettä saavat suot voivatkin merkittävästi vähentää metsävaluma-alueiden huuhtoumia pidättämällä ympäröiviltä kangasmailta valuvia ravinteita. Ne voivat pidättää valuma-alueelta huuhtoutuvia ravinteita silloinkin, kun valuma-alueella ei tehdä toimenpiteitä ja tulevan veden pitoisuudet ovat alhaisia (kuva 1). Ombrotrofiset, vain sateesta vettä saavat suot voivat pidättää lähinnä laskeuman kautta tulevia ravinteita, eli niiden vaikutus valuma-alueensa ravinnekuormitukseen on selvästi pienempi.

Luonnontilaisten minerotrofisten soiden vaikutus valuma-alueensa vesistökuormitukseen riippuu ennen kaikkea siitä, missä muodossa ravinteet yläpuoliselta valuma-alueelta huuhtoutuvat. Luonnontilaisilla soilla, pintavalutuskentillä ja vesiensuojelukosteikoissa tehtyjen tutkimusten perusteella on ilmeistä, että valuma-alueen alaosissa sijaitsevat minerotrofiset luonnontilaiset tai ennallistetut suot voivat pidättää tehokkaasti yläpuolisilta metsäalueilta huuhtoutuvaa eroosioainesta ja partikkelimaisia yhdisteitä (Nieminen ym. 2005) sekä epäorgaanisessa muodossa huuhtoutuvia liuenneita ravinteita (Väänänen ym. 2008, Vikman ym. 2010).

Luonnontilaisen suon tai vesiensuojelukosteikon kyky pidättää näitä yhdisteitä yläpuoliselta alueelta valuvista vesistä riippuu ennen kaikkea suon tai kosteikon koosta ja sille kohdistuvan kuormituksen määrästä (Väänänen ym. 2008, Vikman ym. 2010). Hyvin pienissä kosteikoissa syntyy oikovirtauksia, jotka merkittävästi heikentävät ravinteiden pidättymistä. Usein suositellaan, että kosteikon tulisi kattaa vähintään 0,5–1,0 prosenttia yläpuolisen valuma-alueen pinta-alasta, jotta esimerkiksi kiintoaineen pidättyminen olisi tehokasta (Nieminen ym. 2005). Kosteikon kyky pidättää ravinteita ilmoitetaan yleensä suhteessa kosteikolle kohdistuvaan ravinnekuormaan. Tällöin on otettava huomioon, että kuormituksen ollessa hyvin vähäistä pidättyminen voi olla suhteellisesti suurta, vaikka absoluuttisesti ravinteita pidättyisikin hyvin vähän.

Liuenneita orgaanisia yhdisteitä suot ja kosteikat eivät todennäköisesti pidätä merkittävästi, vaan voivat jopa lisätä niiden huuhtoutumista (Kortelainen ym. 2006). Suokasvit, erityisesti rahkasammaleet tuottavat vesistöihin esimerkiksi orgaanista hiiltä ja orgaanisia happoja, eli tässä mielessä luonnontilaisilla soilla on myös vesistöjä kuormittavaa vaikutusta (Clymo 1963). Humuspitoiset, happamat ja tummat vedet ovatkin luonnollinen ilmiö suovaltaisilla alueilla, kuten Suomessa (esim. Kortelainen 1993). Mutkikkaaksi asian tekee se, että orgaanisen aineen huuhtoutumisessa vesistöihin on tapahtunut merkittäviä muutoksia viime vuosikymmeninä (esim. Monteith ym. 2007, Sarkkola ym. 2009).



Kuva 1. Luonnontilaiselle suolle kankaalta tulevan ja suolta lähtevän veden fosforipitoisuus eri vuodenaikoina. Lopen Karjusuo. Suon pinta-ala on 20 hehtaaria ja suolle valuu vettä 120 hehtaarin alueelta. Suon pinta-alasta pääosa on minerotrofisia, valuma-alueen vesistä riippuvaisia suotyyppejä, etupäässä sararämeitä ja hieman sitä kumpia suotyyppejä.

Hapan laskeuma vähensi aikoinaan orgaanisen aineen huuhtoutumista ja kirkasti vesistöjä. Tehostuneen savukaasujen puhdistuksen vuoksi hapan laskeuma on vähentynyt merkittävästi, minkä seurauksensa orgaanisen aineen huuhtoutuminen on alkanut palautua aiemmalle tasolle ja happaman laskeuman kirkastamat vesistöt ovat jälleen alkaneet tummua (Monteith ym. 2007). Tässä mielessä tummumisessa on kysymys vesistöjen palautumisesta ilman hapanta laskeumaa vallitsevalle tasolle. Toisaalta on viitteitä myös siitä, että ilmaston lämpeneminen voi entisestään lisätä orgaanisen aineen huuhtoutumista ja vesistöjen tummumista (Sarkkola ym. 2009).

Vesistöjen tummumista ja orgaanisen aineen huuhtoutumien kasvua soilta valuvissa vesissä on havaittu pohjoisilla leveysasteilla hyvin yleisesti, esimerkiksi Brittein saarilla, Pohjois-Amerikassa, Pohjoismaissa ja Venäjällä (Monteith ym. 2007). Tummumista lisää vielä se, että orgaanisen aineen lisäksi raudan huuhtoumat ovat olleet kasvussa (Sarkkola ym. 2013), ja rauta ja orgaaninen aine yhdessä voimistavat vesistön tummumista (Kortelainen ym. 1986). Viimeaikaiset tutkimukset viittaavat siihen, että myös metsäojitus on osaltaan voinut lisätä orgaanisen hiilen huuhtoutumista ja vesistöjen tummumista (Marttila ym. 2018, Asmala ym. 2019, Nieminen ym. 2020b).

## Suometsätalouden vaikutus vesistöihin

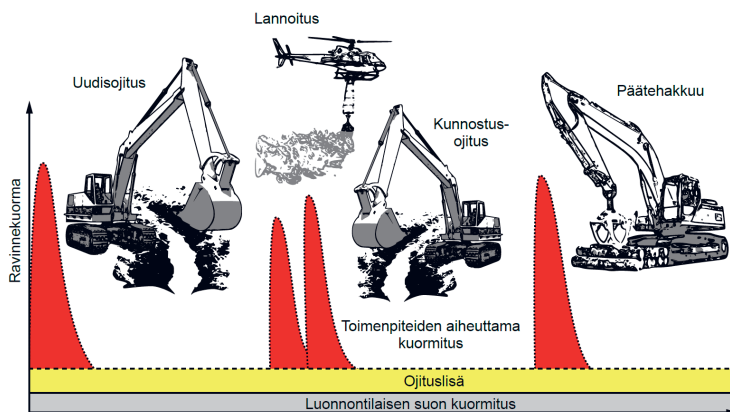
Minerotrofisen suon ojitus tuhoaa valuma-alueen munuaiset. Luonnontilaisen suon suodatus-

vaikutus lakkaa, kun yläpuolisten kangasmaiden vedet eivät enää virtaa suon läpi, vaan valuvat ojia pitkin suoraan vesistöihin. Myös ombrotrofisilla soilla näkyy välitön vaikutus valumaveden laadussa, kun suon pintakerrokset tyhjenevät luonnontilaiselle suolle tyypillisistä happamista ja humuspitoisista suovesistä ja eroosio huuhtoo orgaanista ainesta ja mineraalipartikkeleita suonon kaivetuista ojista.

Aina 1970-luvulta 2010-luvulle asti ajateltiin yleisesti, että metsäojituksen vaikutukset ravinteiden huuhtoutumiseen jäävät suhteellisen lyhytaikaisiksi. Yleinen käsitys oli, että vesistökuormitukset palautuvat ennen ensiojitusta vallinneelle tasolle 20–30 vuodessa. Tämän jälkeen kuormitusta syntyisi vain metsätaloustoimenpiteitä, kuten kunnostusojituksia, lannoituksia tai hakkuita seuraavien vuosien aikana (Finér ym. 2010). Tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että ravinnekuormitusta syntyy aiemmista käsityksistä poiketen silloinkin, kun ojitusalueilla ei ole vuosikymmeniin tehty mitään toimenpiteitä (Nieminen ym. 2017, 2018). Tätä nykyisistä metsätaloustoimenpiteistä riippumatonta, ensiojituksen ja metsätaloustoimenpiteiden pitkäaikaisvaikutuksena syntyvää kuormitusta on ryhdytty kutsumaan ojituslisäksi (kuva 2).

Vaikka kunnostusojitus, lannoitus ja hakkuit voivat paikallisesti olla merkittäviä ravinnekuormituksen lähteitä, koko maan tasolla niiden vaikutus on vähäinen. Tähän on syynä yksinkertaisesti se, että näitä toimenpiteitä tehdään vuosittain verraten vähän, yleensä alle kahdella prosentilla ojitettujen soiden kokonaisalasta.

Kuva 2. Nykykäsitys ravinnekuormituksen synnystä metsäojitusalueilla. Luonnontilaisten soiden kuormitusta suurempaa kuormitusta aiheuttavat ojituslisä sekä metsätaloustoimien, kuten kunnostusojituksen, lannoituksen ja hakkuiden synnyttämä kuormitus (Kuva: Nieminen ym. 2020a).



Ojituslisää sen sijaan syntyy joka vuosi koko ojitetulta pinta-alalta. Suometsätalouden aiheuttamaksi vuosittaiseksi typen kokonaiskuormitukseksi Suomessa on arvioitu noin 8 500 tonnia ja fosforin kuormitukseksi vastaavasti noin 590 tonnia (Nieminen ym. 2020a). Ojituslisän osuus kokonaiskuormituksesta oli typen osalta 8 000 tonnia ja fosforin osalta 500 tonnia. Ojituslisän huomioon ottaminen kasvatti arvion suometsien tyyppikuormituksesta 18-kertaiseksi ja fosforikuormituksesta 6–7-kertaiseksi aiempiin arvioihin nähden.

## Vesiensuojelu

Ojituslisän vallitsema vesistökuormitus tarkoittaa sitä, että vesiensuojelussa pitäisi nykyisen, lähinnä eri metsätaloustoimenpiteiden yhteydessä toteutettavan vesiensuojelun lisäksi panostaa jatkuvaan vesistökuormituksen hallintaan. Ongelmana tässä on kuitenkin se, että vielä ei tiedetä, missä muodossa ojituslisän tuottama kuormitus syntyy. Mikäli kuormitus on pääosin liuenutta orgaanista ainetta, sen vähentäminen on vaikeaa. Yleisesti käytetyt lietekuopat, laskeutusaltaat ja kaivukatkot ovat osoittautuneet tehostomiksi liuenneiden aineiden kuormituksen pidättäjiksi. Pintavalutuskentät ja vesiensuojelukosteikot ovat kustannustehokkaita, mutta nekin voivat pidättää lähinnä liuenneiden epäorgaanisten aineiden kuormitusta. Luonnontilaisia soita muistuttavina systeemeinä ne pikemminkin saattavat tuottaa vesiin liuenneita orgaanisia yhdisteitä kuin pidättää niitä.

Alustavat tarkastelut viittaavat siihen, että typen osalta ojituslisä olisi pääosin liuenneita orgaanisia yhdisteitä, mutta fosforista suuri osa voi olla partikkelimaista, ojaeroosion synnyttämää kuormitusta. Näin ollen fosforin kuormitusta voitaneen vähentää eroosion syntyä vähentävillä ja eroosioainesta pidättävillä vesiensuojeluratkaisuilla, kuten virtaamansäätöpadoilla ja pintavalutuskentillä, mutta typen kuormituksen vähentämiseen käytössä olevat vesiensuojelumenetelmät todennäköisesti soveltuvat huonosti.

Ongelmana kuormituksen torjunnassa on myös se, että vielä ei tiedetä sitä, mitkä prosessit aiheuttavat ojituslisän synnyn. Todennäköisin selitys on se, että turpeen hajotus kiihtyy sitä enemmän, mitä syvemmälle vedenpinta ojitetulla suolla painuu (Ojanen & Minkinen 2019). Puustot ojitusalueilla ovat kasvamassa yhä suuremmiksi, minkä seurauksena niiden haihdunta ja latvuspidentä kasvavat, suon vedenpinta laskee ja turpeen hajotus kiihtyy. Erityisesti syvällä sijaitsevien turvekerrosten hajotuksesta vapautuvat ravinteet eivät välttämättä ole tehokkaasti puuston ja muun kasvillisuuden pääasiassa lähellä maanpintaa sijaitsevien juurten käytettävissä, eli osa vapautuvista ravinteista todennäköisesti huuhtoutuu. Ongelmaa kärjistää se, että syvällä sijaitsevilla turvekerroksissa on tyypeä hyvin paljon, mutta erityisesti kaliumia vähän. Seurauksena on ravinnetalouden epätasapaino, mikä voi entisestään lisätä turpeesta mineraaliravinteisiin nähden liiallisesti vapautuvan typen huuhtoutumista. Lisäksi ilmaston lämpeneminen kiihdyttää turpeen hajoamista erityisesti ojitetuilla soilla, joilla hapettomuus ei estä hajotusta.

Näyttäisi siltä, että vesistökuormituksen torjumiseksi ojitetuilla soilla pitäisi panostaa erityisesti suon vedenpinnan säätelyyn ja tasapainoiseen ravinnetalouteen esimerkiksi lannoittamalla niin, että mineraaliravinteiden puute ei rajoita turpeesta vapautuvan typen käyttöä. Vedenpinta ei saisi laskea niin syvälle, että syvien maakerrosten turve alkaa hajota. Toisaalta suotavaa olisi myös, ettei suon vedenpinta äkillisesti nouse lähelle maanpintaa, koska tällöin käynnistyvät pelkistysreaktiot voivat aiheuttaa merkittävää pelkistykselle alttiiden aineiden, kuten raudan, fosforin ja orgaanisen aineen, huuhtoutumista (Kaila ym. 2014, 2016, Nieminen ym. 2015). Suon vedenpinnan äkillisen nousun torjumiseksi tulisi avohakkuista ojitetuilla soilla todennäköisesti luopua, eli soille tulisi hakkuissa jättää ainakin jonkin verran haihduttavaa puustoa.

Suon vedenpinnan laskua syviin turvekerrokseen voitaisiin torjua toisaalta padottamalla vesiä ja toisaalta vaikuttamalla puuston määrään. Näin puuston haihdunta ja latvuspäntä eivät kasva niin korkeiksi kuin tyypillisissä avohakkuuvaihetta lähentyvissä metsiköissä. Käytännössä tämä tarkoittaisi suurimpien ja eniten haihduttavien puiden poistoa hakkuissa eli siirtymistä pois alaharvennuksista ja tasaikäisrakenteisesta metsänhoidosta. Ilmaston lämmitessä ja viime vuosien kaltaisten hyvin kuivien ja kuumien kesien yleistyessä puuston haihdunnan säätely hakkuin ei välttämättä riitä estämään suon vedenpinnan painumista syvälle. Voidaan tarvita myös valumavesien padottamista erilaisilla patoratkaisuilla.

*Kommentoineet:* Hannu Hökkä, Pirkko Kortelainen, Hannu Marttila, Tuija Mattsson, Tiina M. Nieminen, Pekka Punttila, Juhani Päivänen, Sakari Sarkkola

## Kirjallisuus

Asmala, E., Carstensen, J. & Räike, A. 2019. Multiple anthropogenic drivers behind upward trends in organic carbon concentrations in boreal rivers. *Environmental Research Letters* 14(2): 124018. 10 s. Saatavissa: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4fa9>

- Clymo, R.S. 1963. Ion exchange in Sphagnum and its relation to bog ecology. *Annals of Botany, New Series* 27: 309–327. Saatavissa: <https://www.jstor.org/stable/42907700>
- Finér, L., Mattsson, T., Joensuu, S., Koivusalo, H., Laurén, A., Makkonen, T., Nieminen, M., Tattari, S., Ahti, E., Kortelainen, P., Koskiaho, J., Leinonen, A., Nevalainen, R., Piirainen, S., Saarelainen, J., Sarkkola S. & Vuollekoski, M. 2010. Metsäisten valumaluideiden vesistökuormituksen laskenta. *Suomen ympäristö 10/2010*. 33 s. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/37973>
- Kaila, A., Koskinen, M., Asam, Z., Uusitalo, R., Smolander, A., Kiikkilä, O., Sarkkola, S., O'Driscoll, C., Kitunen, V., Fritze, H., Nousiainen, H., Tervahauta, A., Xiao, L. & Nieminen, M. 2016. Impact of Re-wetting of forestry-drained peatlands on water quality – a laboratory approach assessing the release of P, N, Fe, and dissolved organic carbon. *Water, Air and Soil Pollution* 227: 292. 15 s. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2994-9>
- 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>
- Kortelainen, P. 1993. Content of total organic carbon in Finnish lakes and its relationship to catchment characteristics. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50(7): 1477–1483. Saatavissa: <https://doi.org/10.1139/f93-168>
- Kortelainen, P., Mannio, J. & Pennanen, V. 1986. Characteristics of the allochthonous organic matter in Finnish lakes and reservoirs. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 65: 88–97. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/35688>
- Kortelainen, P., Mattsson, T., Finér, L., Ahtiainen, M., Saukkonen, S. & Sallantaus, 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>

- Marttila, H., Karjalainen, S.-M., Kuoppala, M., Nieminen, M.L., Ronkanen, A.-K., Kløve, B. & Hellsten, S. 2018. Elevated nutrient concentrations in headwaters affected by drained peatland. *Science of the Total Environment* 643: 1304–1313. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.278>
- Monteith, D. T., Stoddard, J. L., Evans, C. D., de Wit H. A., Forsius, M., Høgåsen, T., Wilander, A., Skjelkvåle, B. L., Jeffries, D. S., Vuorenmaa, J., Keller, B., Kopáček, J. & Vesely, J. 2007. Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry. *Nature* 450: 537–541. Saatavissa: <https://doi.org/10.1038/nature06316>
- 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., Koskinen, M., Sarkkola, S., Laurén, A., Kaila, A., Kiikkilä, O., Nieminen, T.M. & Ukonmaanaho, L. 2015. Dissolved organic carbon export from harvested peatland forests with differing site characteristics. *Water, Air & Soil Pollution* 226: 181. 12 s. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2444-0>
- Nieminen, M., Sallantausta, 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., Hahti, K., Sallantausta, S., Koskinen, M. & Ojanen, P. 2020a. Metsäojitettujen soiden typpi- ja fosforikuormitus. *Suo* 71(1): 1–13. Saatavissa: <http://suo.fi/article/10398>
- Nieminen, M., Sarkkola, S., Hellsten, S., Marttila, H., Piirainen, S., Sallantausta, 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. 10 s. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3945-4>
- Nieminen, M., Sarkkola, S., Sallantausta, T., Hasselqvist, E. M., Laudon, H. 2020b. Peatland drainage – a missing link behind increasing TOC concentrations in waters from high latitude forest catchments? Käsikirjoitus lähetetty arvioitavaksi *Science of the Total Environment* -sarjaan.
- Ojanen, P. & Minkkinen, K. 2019. The dependence of net soil CO<sub>2</sub> emissions on water table depth in boreal peatlands drained for forestry. *Mires and Peat* 24: 27. 8 s. Saatavissa: <https://doi.org/10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1751>
- Sarkkola, S., Koivusalo, H., Laurén, A., Kortelainen, P., Mattsson, T., Palviainen, M., Piirainen, S., Starr, M. & Finér, L. 2009. Trends in hydrometeorological conditions and stream water organic carbon in boreal forested catchments. *The Science of the Total Environment* 408(1): 92–101. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.09.008>
- Sarkkola, S., Nieminen, M., Koivusalo, H., Laurén, A., Kortelainen, P., Mattsson, T., Palviainen, M., Piirainen, S., Starr, M. & Finér, L. 2013. Iron concentrations are increasing in surface waters from forested headwater catchments in eastern Finland. *Science of the Total Environment* 463–464: 683–689. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.072>
- Vikman, A., Sarkkola, S., Koivusalo, H., Sallantausta, S., Laine, J., Silvan, S., 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>
- 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>

(Julkaistu Suoseuran verkkosivuilla 25.11.2020)