

## Suometsien kokonaisanalyysi

### Tutkijapaneeli 3

#### Suometsien monimuotoisuus, suojele ja vesikysymykset

Raportti 27.1.2020

Lauri Saaristo

Aulikki Alanen

Laura Härkönen

Leena Finér

Olli Salminen

Henry Schneider

Risto Päivinen



# Sisällys

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>METSÄTALouden PIIRISSÄ OlevIEN SuOMETSIErN MERKITYS LuONNON MONIMUOTOISUUDELLE</b> .....	<b>4</b>
2.1.	Tausta .....	4
2.2.	Suoluonnon monimuotoisuuden tilanne uhanalaistarkastelujen valossa .....	4
2.3.	Ojitetut suot uuselinympäristöinä .....	5
2.4.	Metsätalouden piirissä olevien, mutta metsätalouskäyttöön soveltumattomien ojitetujen suometsien merkitys monimuotoisuudelle .....	6
2.5.	Metsätalouskäytössä oleviin ojitusalueisiin rajautuvat luonnontilaiset suot .....	6
2.6.	Yhteenvedo .....	7
2.7.	Kirjallisuus .....	7
<b>3</b>	<b>SOIDEN SUOJELU</b> .....	<b>9</b>
3.1.	Yhteenvedo soiden suojelutilanteesta. ....	9
3.2.	Kirjallisuus .....	11
<b>4</b>	<b>SuOMETSIErN KÄSITTELYN VESISTÖVAIKUTUKSET JA VESIENSUOJELUN MENETELMÄT</b> .....	<b>12</b>
4.1.	Suometsien käsittely vaikuttaa valumavesiin sekä määrällisesti että laadullisesti .....	12
4.2.	Toimenpiteiden vaikutukset soiden hydrologiaan .....	12
4.3.	Toimenpiteiden vaikutukset vesistökuormitukseen .....	14
4.4.	Vaikutukset korostuvat, kun maanmuokkaustoimenpiteitä tehdään happamilla sulfaattimailla ..	16
4.5.	Vesistökuormitus heikentää vesien ekologista ja kemiallista tilaa .....	16
4.6.	Kiintoaine liettää ja samentaa vesistöjä .....	18
4.7.	Ravinnekuormitus lisää kasviplankton tuotantoa ja vesikasvillisuuden leviämistä .....	19
4.8.	Humuskuormitus vaikuttaa vesistön lämpötilaan ja happalouuteen .....	20
4.9.	Käytössä olevilla vesiensuojelumenetelmillä ehkäistään lähinnä kiintoaineen ja siihen sitoutuneiden ravinteiden kuormitusta .....	21
4.10.	Jatkuva kasvatus ojituksen vaihtoehtona .....	23
4.11.	Kirjallisuus .....	24
<b>5</b>	<b>TIIVISTELMÄ</b> .....	<b>32</b>
5.1.	Monimuotoisuus vaarassa etenkin rehevillä Etelä-Suomen soilla .....	32
5.2.	Monimuotoisuutta luonnonhoidolla, suojelulla ja ennallistamisella .....	32
5.3.	Soiden suojelu .....	33



5.4. Ojitus muuttaa hydrologiaa.....	33
5.5. Päätehakkuut lisäävät päästöjä, lannoituksen merkitys pienempi.....	33
5.6. Vesistökuormitus heikentää vesien ekologista ja kemiallista tilaa .....	34
5.7. Kiintoaine liettää ja samentaa vesistöjä .....	34
5.8. Ravinnekuormitus lisää kasviplankton tuotantoa ja vesikasvillisuuden leviämistä .....	34
5.9. Humuskuormitus vaikuttaa vesistön lämpötilaan ja happilouuteen.....	34
5.10. Käytössä olevilla vesiensuojelumenetelmillä ehkäistään lähinnä kiintoaineen ja siihen sitoutuneiden ravinteiden kuormitusta .....	35
5.11. Peitteinen metsänkasvatus ehkäisee eroosiota.....	35
5.12. Metsätaloudesta aiheutuva vesistökuormitus suurempaa kuin aiemmin on arvioitu .....	35



# 1 Johdanto

Tämä raportti on osa maa- ja metsätalousministeriön rahoittamaa ja Tapio Oy:n koordinoimaa Metsäpolitiikkafoorumia. Metsäpolitiikkaforumissa käsitellään vuosittain vaihtuvaa ajankohtaista metsäpolitiikan teemaa kokoamalla aiheesta olemassa olevaa tutkimustietoa, analysoimalla sitä tutkijoiden ja käytännön toimijoiden yhteistyönä sekä laatimalla analyysin perusteella politiikkasuosituksia ja tutkimustarpeita sisältävä loppuraportti.

Vuoden 2019 Metsäpolitiikkaforumin aihe on ”Suometsien kokonaisanalyysi” ja siihen kuuluu yhteensä kolme tutkijapaneelia. Tämä raportti on laadittu toisen tutkijapaneelin tulosten pohjalta. Paneelin aiheena oli suometsien uudistaminen ja kasvihuonekaasupäästöt. Ensimmäisen teemana oli metsävarat ja niiden hyödyntäminen ja kolmannessa keskitytään soiden metsänhoidon menetelmien vaihtoehtoihin sekä soiden suojele- ja vesiensuojelukysymyksiin.



## 2 Metsätalouden piirissä olevien suometsien merkitys luonnon monimuotoisuudelle

Lauri Saaristo, Tapio Oy

### 2.1. Tausta

Mikä merkitys suometsillä on luonnon monimuotoisuuden kannalta ja miten suometsiä hyödynnetään kestävästi ja viisaasti tulevaisuudessa luonnon monimuotoisuuden näkökulmasta? Puheenvuorossa pohditaan kysymystä luontotyyppien ja lajien uhanalaisuuden arviointien tuottaman tutkimustiedon valossa sekä k.o. raportteihin kirjoitettuihin koosteisiin pohjautuen. Näiden lisäksi keskeisenä lähteenä on käytetty ojitettujen soiden ennallistamisopasta (Aapala & al. 2013).

Metsätalouden piirissä olevien suometsien merkitystä luonnon monimuotoisuudelle tarkastellaan tässä katsauksessa kahdesta eri näkökulmasta. Ensimmäiseksi kysymystä tarkastellaan kuvio- tai metsätilatasolla eli millaisia merkityksiä ojitusalueiden metsätalouskuvioilla itsessään on luonnon monimuotoisuuden turvaamiselle. Toiseksi kysymystä tarkastellaan yksittäisen suoalueen mittakaavassa, sillä metsätalouskäytössä olevien ojitusalueiden toimenpiteillä on kohtalonyhteys saman suoalueen luonnontilaisten alueiden kykyyn ylläpitää niillä säilynyttä suoluonnon monimuotoisuutta.

### 2.2. Suoluonnon monimuotoisuuden tilanne uhanalaistarkastelujen valossa

Sekä suolajiston että -luontotyyppien uhanalaisuuden arviointi osoittaa, että suoluontoon liittyy selvä monimuotoisuuden vähenemisen riski, joka on voimakkain ravinteikkailla suoluontotyypeillä. Etelä-Suomen tilanne on selvästi Lappia heikompi.

Suoluontotyyppitasolla tarkasteltuna koko maan tasolla arvioituista 50 suoluontotyyppistä 27 eli 54 % arvioitiin uhanalaisiksi (VU, EN tai CR). Etelä-Suomessa eli hemi-, etelä- ja keskiborealisessa vyöhykkeessä tavattavista 46 suoluontotyyppistä 38 eli 83 % arvioitiin uhanalaisiksi. Korpien, neva- ja letto-korpien ja lettojen ryhmissä ei ole yhtään säilyväksi arvioitua tyyppiä.

Uhanalaisia suolajeja on 120 (4,5 % uhanalaisista lajeista). Kaikista arvioituista lajeista suolajien osuus on 5 % ja niistä uhanalaisia on 10,6 %. Suot ovat 280 Punaisen listan lajin ensisijainen elinympäristö, mikä on 4,2 % kaikista Punaisen listan lajeista. Lähes puolet (45,8 %) soiden uhanalaisista elää ensisijaisesti letoilla. Lukumääräisesti Punaisen listan suolajeissa on eniten perhosia ja kaksisiipisiä. Myös sammalissa ja putkilokasveissa on paljon suolajeja. Lisäksi suot ovat tärkeitä yhtenä elinympäristönä joillekin jäkälille ja linnuille.



Monimuotoisuuden köyhtymisen merkittävimpana syynä on soiden metsäojitus. Ojitus hävittää suon keskeisimmät toiminnalliset piirteet, luontaisen vesitalouden ja turpeenmuodostuksen ja aiheuttaa sukkession kohti metsäkasvillisuutta. Tarkemmin kuvattuna vedenpinnan lasku tasoittaa kasvupaikan sisäisiä ja kasvupaikkojen välisiä hydrologisia eroja.

Ojitettujen soiden ennallistamisoppaaseen (s. 77) koottujen tietojen mukaan ojituksen jälkeisen muutoksen nopeus riippuu mm. suon ravinteisuudesta ja märkyydestä sekä ojituksen tehosta ja puuston kasvusta. Kuivahkoilla ja karuilla soilla suolajistoa voi säilyä pitkäänkin ojituksen jälkeen, kun taas märemmät ja rehevämmät suot muuttuvat nopeammin ja perusteellisemmin. Myös muut metsätaloustoimet, kuten lannoitus ja puuston harvennukset, vaikuttavat kasvillisuuteen. Pelkän ojituksen vaikutus kasvillisuuteen on vähäisempi kuin ojituksen ja lannoituksen yhteisvaikutus. Ennallistamisoppaaseen on koottu tutkimuksiin perustuvia havaintoja sammal- ja putkilokasvilajiston sekä joidenkin niveljalkaisryhmien eläinlajiston kehityksestä ojitetuilla soilla.

### 2.3. Ojitetut suot uuselinympäristöinä

Ojitettuja soita on kuitenkin huomattava pinta-ala, ja niille on muodostunut uudenlaisia elinympäristöjä, joten niitä ei ole syytä kokonaan sivuuttaa luonnon monimuotoisuuden tarkastelussa. Turvekankaiden määrä on viime vuosikymmeninä kasvanut lähes kolmeen miljoonaan hehtaariin (Korhonen ym. 2017). Ne voidaan ajatella eräänlaisiksi metsäluonnon uusympäristöiksi, joiden perustietoja on tarpeen tuoda esiin kivennäismaiden metsien ominaisuuksien rinnalle.

Esimerkiksi luonnontilaisen kaltaisten puustorakenteiden ja lahoppuujatkumoiden kehittyminen voi tehdä turvekankaista monimuotoisuuden turvaamisen näkökulmasta kiinnostavia kohteita. Tosin VMI:n tietojen mukaan noin 93 % turvekankaista on puuston tilajärjestykseltään tasaisia ja puulaji- ja kokojakaumaltaan yksipuolisia esimerkiksi viljelyn tai harvennusten seurauksena. Lahoppuun osalta turvekankaat vaikuttavat VMI-aineiston valossa kivennäismaita niukkalahoppuustoisemmille ja lahoppuujatku löytyy vain pienellä osalla kohteista.

Metsämaan turvekankaiden puustoissa 101–120-vuotiaita on 7 % ja yli 120-vuotiaita 4 %. (VMI11 2015). Vain hyvin pienellä osalla (alle 1 %) turvekankaista puustorakenne on arvioitu luonnontilaiseksi tai luonnontilaisen kaltaiseksi.

Ruoho- ja mustikkaturvekankailla kuollutta puuta on selvästi enemmän (3,6...4,7 m<sup>3</sup>) kuin puolukka- ja varputurvekankailla (0,6...2,2 m<sup>3</sup>). Metsä- ja kitumaan kivennäismailla kuollutta puuta on yli kaksinkertainen määrä turvekankaisiin verrattuna, keskimäärin 6,5 m<sup>3</sup>/ha (Korhonen ym. 2017). Jonkin verran eri-ikäistä lahoppuustoa on runsaalla 3 %:lla turvekankaista.

Tutkimusten mukaan luonnontilaisten suo- tai kangasmetsien kaltaiset puustorakenteet eivät turvekankailla mitä ilmeisimmin säily ilman eri-ikäisrakenteisuuden tähtääviä metsänkäsittelytoimenpiteitä. Kehitys kohti homogeenisempia puustorakenteita on vääjäämätöntä. Soveltamalla talousmetsien luonnonhoidon keinovalikoimaa sekä monipuolisia metsänkasvatustapoja voidaan kuitenkin



ojitettujen turvemaiden talousmetsissä hoitaa ainakin metsäluonnon, muttei enää niinkään suoluonnon monimuotoisuutta.

Päivitetöissä metsänhoidon suosituksissa on tarkasteltu jatkuvaa kasvatusta suometsien erityispiirteiden näkökulmasta. Etuina nähdään muun muassa useimpien turvemaiden hyvä luontainen taimettuminen ja ojien kunnostusten välttäminen. Mikäli jatkuvan kasvatuksen käyttö yleistyy nimenomaan suometsissä, se tarkoittaa suometsille korostunutta roolia jatkuvapeitteisyydestä hyötyvän metsälajiston turvaajana. Metsäkanalinnut ovat hyvä esimerkki todennäköisistä hyötyjistä.

## 2.4. Metsätalouden piirissä olevien, mutta metsätaloukskäyttöön soveltumattomien ojitettujen suometsien merkitys monimuotoisuudelle

Arviot heikkotuottoisten ojitusalojen eli virheojitusten kokonaispinta-alasta vaihtelevat eri selvityksissä 5 000–10 000 km<sup>2</sup>:n välillä, joka vastaa noin 10–20 %:a ojitetuista suometsistä (Hotanen & al. 2018). Luonnonvarakeskuksen (Luke) koordinoima LIFEPEATLANDUSE 2013 – 2018 -hanke tuotti uutta tietoa ja ennustelaskelmia heikkotuottoisten ojitettujen soiden jatkokäytön vaikutuksista monimuotoisuuteen, vesistökuormitukseen ja kasvihuonepäästöihin.

Hankkeessa tarkasteltiin erilaisia jatkokäyttöskenaariota. Tulosten mukaan metsätaloukskäyttöön soveltumattomien ojitettujen soiden monimuotoisuus hyötyy eniten ennallistamisesta ja seuraavaksi eniten puubiomassan korjuusta. Myös nykytilaan jättäminen lisää suolajistolle sopivien elinympäristöjen määrää etenkin pitkällä aikavälillä. Metsätalouden tehostamisen skenaario heikentää selkeästi suokasveille sopivien elinympäristöjen määrää (Tolvanen ym 2018).

## 2.5. Metsätaloukskäytössä oleviin ojitusalueisiin rajautuvat luonnontilaiset suot

Suot ovat hydrologisia kokonaisuuksia, ja soidensuojelun tavoitteena on vesitaloudeltaan ehvien kokonaisuuksien säilyttäminen. Osa nykyisistä suojelualueista on suorajauksiltaan ekologisesti epätyydyttäviä. Jos suojelualue ei sisällä koko suoaluetta ja ulkopuolella olevat suon osat ovat ojitettuja, voi ulkopuolinen ojitus heikentää suojelualueidenkin soiden tilaa. Erityisen haitallinen on yläpuolinen ojitus, joka katkaisee vesien virtauksen sekä kuivattaa ja karuunnuttaa alapuolista suojelusuota. Suojelusuo alapuolella oleva ojitus nopeuttaa vesien poistumista suolta, mutta kuivattava vaikutus ei yleensä ulotu kovin laajalle, ellei ojituksella ole puhkaistu vettä suolla pidättävää valuntakynnystä. Esimerkiksi Pohjois-Pohjanmaan METSO-alueella on useita Natura-alueita, joiden ympärillä tehtävät toimenpiteet selvästi uhkaavat niitä suojeluarvoja (aapasuot, keidassuot, letot), joiden perusteella alue on otettu Natura-verkoston. (Aapala & al. 2013)

Luontotyyppien ja lajien uhanalaisarviot sisältävät toimenpidesuosituksia suoluonnon monimuotoisuuden tilan parantamiseksi. Soiden suojelutilanteen kohdennettu parantaminen ja suojelualueilla olevien soiden ennallistaminen nähdään molemmissa arvioinneissa keskeisenä työkaluna



uhanalaistumiskehityksen pysäyttämiseen. Suometsien käsittelyyn liittyvänä mahdollisuutena tuodaan esille erityisesti ojitusalueiden vesien johtamista kuivuneille soille (suojelualueet sekä niiden ulkopuoliset suot) silloin, kun ympärillä oleville ojitusalueille tehdään kunnostusojituksia. Vesien ohjauksen mahdollisuuksia kehoitetaan tutkimaan myös silloin, kun kunnostusojituksia ei ole suunnitella.

Lisäksi ehdotetaan kehittämään edelleen suometsänhoidon suunnittelua ja käytäntöä ojittamattomien soiden luonnonarvojen huomioon ottamiseksi. Metsätaloussuunnittelussa olevien ojittamattomien korpien ja rämeiden puuston hakkuissa tulisi toimia ilman maanmuokkauksia ja edistää jatkuvaa kasvatusuuteen uusimpiin tutkimustuloksiin. Ojitettujen soiden kunnostusojitukset, hakkuut ja maanmuokkaukset tulisi suunnitella siten, että vältetään muutokset ojittamattomien soiden vesitaloudessa.

## 2.6. Yhteenveto

Luonnon monimuotoisuuden turvaamisen näkökulmasta tarkasteltuna suometsien kestävässä hyödyntämisessä on tärkeää

- Edistää metsätaloustoimien rinnalla soiden suojelua ja ennallistamista
- Panostaa nykyistä enemmän toimenpidesuunnitteluun vesitaloudeltaan luonnontilaisten ja luonnontilaisen kaltaisten alueiden ympäristössä
- Hyödyntää jatkuvan kasvatuksen mahdollisuudet
- Edistää monimuotoisuudelle tärkeiden kangasmetsärakennepiirteiden kehittymistä talousmetsien luonnonhoidon keinoilla.

Näiden toimenpiteiden toteuttamiseen liittyy osaamistarpeita sekä kustannuksia, jotka olisi hyvä ottaa huomioon suometsätalouteen nojaavien alueiden puunhankinnassa ja hakkuumahdollisuuksien arvioinnissa.

## 2.7. Kirjallisuus

Aapala, K., Similä, M., ja Penttinen, J. (toim.). 2013. Ojitettujen soiden ennallistamisopas. Metsähallituksen luonnonuojelujulkaisuja. Sarja B 188.

Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. (toim.) 2019. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 704 s.

Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). 2018. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus ja ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. 388 s.

Hotanen, J-P., Kokko, A. & Mäkelä, K. 2018. Metsäojitetut suot. Julk.: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus & ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. s. 156–161.





Tolvanen, A. & al. 2018. Metsätaloukseen soveltumattomien ojitettujen soiden jatkokäyttö, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 48/2018. [http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/543379/luke-luobio\\_48\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/543379/luke-luobio_48_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)



## 3 Soiden suojele

*Henry Schneider, Tapio Oy*

### 3.1. Yhteenvedo soiden suojelelulanteesta.

Soiden metsätaloudekäyttö, turpeennoito ja pelloksi raivaus ovat vaikuttaneet suoekosysteemeihin. Suomen soista noin puolet on ojitettu, ja maamme eteläosassa noin neljäsosa on säilynyt ojittamattomana. Uhanalaisista kasvilajeista noin 10 % on suokasveja. Soiden luontotyypeistä yli puolet on arvioitu uhanalaisiksi (YM 2015).

Ensimmäiset soidensuojeluohjelmat valtion maille valmistuivat 1960 – luvulla. Valtionneuvoston hyväksymään soidensuojelun perusohjelmaan sisältyi noin 600 000 hehtaaria. Nykyään suoalasta on suojeltu noin 13 %. Suojele painottuu Pohjois-Suomeen. Koko soiden suojeleluala on tällä hetkellä noin 1,2 miljoonaa hehtaaria. Suojele on toteutettu soidensuojelun perusohjelman kautta 1980-luvulta alkaen kansallispuistoina, erämaa-alueiden perustamisen yhteydessä ja Natura 2000-ohjelman kautta (Taulukot 1 ja 2).

Soidensuojelun täydennysohjelmaehdotus valmistui vuonna 2015, mutta sen toteutus ei ole suuremmin edennyt yksityismaiden osalta. Ohjelman toteutuksen jatkaminen sisältyy kuitenkin nykyisen hallituksen hallitusohjelmaan (Valtioneuvosto 2019). Kuvassa 1 esitetään soiden suojelelutilanne kasvillisuusvyöhykkeittäin sekä tietoja soidensuojelun täydennysohjelmasta.

*Taulukko 1. Soiden suojelepinta-alat kasvillisuusvyöhykkeittäin (YM 2015)*

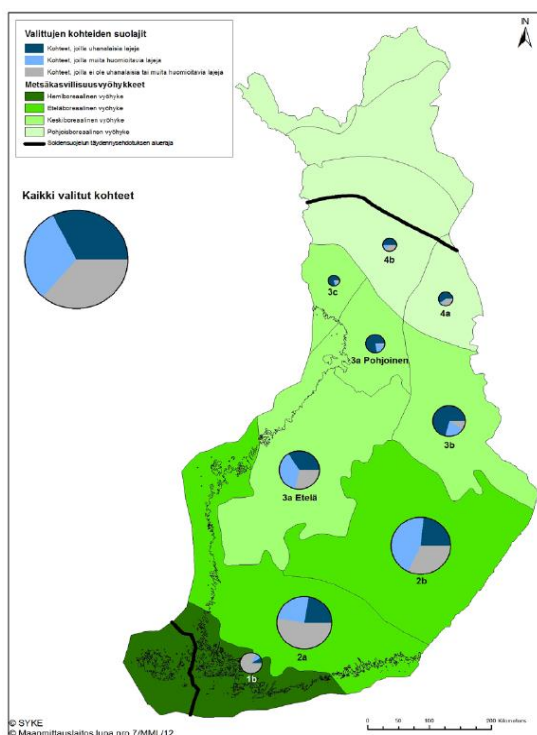


Metsäkasvillisuusvyöhyke	Suojeltu		Ei suojeltu		Yhteensä	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
1b+2a	393	8	4804	92	5197	100
2b	232	2	9551	98	9783	100
Hemi- ja Eteläboreaalinen yht.	625	4	14355	96	14980	100
3a	2003	8	23924	92	25928	100
3b	929	8	10900	92	11829	100
3c	422	11	3589	89	4011	100
Keskiboreaalinen yht.	3355	8	38414	92	41769	100
4a	547	11	4439	89	4987	100
4b eteläosa*	464	5	9072	95	9536	100
Pohjoisboreaalinen eteläosa yht.*	1012	7	13511	93	14523	100
<b>SSTE yhteensä</b>	4991	7	66280	93	71271	100
SSTE:n pohjoispuolinen alue	7575	47	8549	53	16124	100
Koko maa	12566	14	74828	86	87395	100

\* 4b/Pohjoisboreaalisen vyöhykkeen eteläinen, SSTE alueella oleva osa

Taulukko 2. Soidensuojelun täydennysehdotuksen kohteet (YM 2015)

Metsäkasvillisuusvyöhyke	Kohteita, kpl	Valtio		Muu omistaja		Yhteensä, Ha
		Ha	%	Ha	%	
1b	35	10	1	1247	99	1257
2a	209	475	3	13477	97	13952
2b	251	1109	7	15739	93	16848
3a etelä	111	4550	20	18771	80	23322
3a pohjoinen	26	4854	30	11460	70	16314
3a yhteensä	137	9405	24	30231	76	39636
3b	74	9498	51	9207	49	18705
3c	10	1645	28	4326	72	5971
4a	19	7760	71	3224	29	10984
4b	12	5903	61	3849	39	9751
Yhteensä	747	35803	31	81301	69	117104



Kuva 1. Soidensuojelun täydennysohjelman kohteet. Kartan aluejakoa on käytetty taulukoissa 1 ja 2.

## 3.2. Kirjallisuus

Soidensuojelun perusohjelma I, komiteamietintö 1977: 48. - Maa- ja metsätalousministeriön soidensuojeluryhmä. Helsinki.

Soidensuojelun perusohjelma II, komiteamietintö 1980: 15. - Maa- ja metsätalousministeriön soidensuojeluryhmä. Helsinki.

Valtioneuvosto 2019. Pääministeri Antti Rinteen hallituksen ohjelma 6.6.2019. Valtioneuvoston julkaisu 2019:23.

YM 2015. Soidensuojelutyöryhmän raportin tiivistelmä 4.11.2015, [www.ym.fi](http://www.ym.fi)



# 4 Suometsien käsittelyn vesistövaikutukset ja vesiensuojelun menetelmät

Laura Härkönen, Tapio Oy

## 4.1. Suometsien käsittely vaikuttaa valumavesiin sekä määrällisesti että laadullisesti

Turvemaiden metsätaloustoimenpiteet aiheuttavat vesistökuormitusta, joka on luonteeltaan hajakuormitusta. Toimenpiteiden vesistökuormitus koostuu pääasiassa ravinne-, kiintoaine-, humus- ja raskasmetallipäästöistä. Kuormituksen laatu ja määrä riippuu itse toimenpiteestä, toimenpidealueen laajuudesta, toimenpiteen ajankohdasta ja voimakkuudesta, käsiteltävän alueen hydrologiasta, maaperästä, topografiasta ja kasvillisuudesta. Vesistövaikutusten voimakkuuteen vaikuttaa lisäksi valuma-alueella toteutettavien eri toimenpiteiden samanaikaisuus tai perättäisyys sekä toimenpiteen etäisyys vesistöstä.

## 4.2. Toimenpiteiden vaikutukset soiden hydrologiaan

Suomessa perinteinen ja nykyisellään yleisin suometsien kasvatuserä on päätehakkuuseen päättyvä tasaikäisrakenteinen kasvatuserä (Nieminen ym. 2017a), johon sisältyy kiertoaikana tehtyjä harvennushakkuuta, lannoitusta ja ojien kunnostusta (Päivänen & Hännel 2012).

Soiden ojitus muuttaa merkittävästi niiden hydrologiaa. Etenkin uudisojitusten tiedetään vaikuttavan voimakkaasti valumavesien määrään, sillä vedenpinnan alenemisen ja turpeen pintakerroksen haihdunnan heikentymisen seurauksena sekä vuosivalunnat että rankkasateiden aikaiset valumahuiput voimistuvat (esim. Seuna 1981, Holden ym. 2006, Mannerkoski 2012). Hydrologiset vaikutukset riippuvat soiden ominaisuuksista, kuten puuston määrästä, turvelajista ja turpeen läpäisevyydestä, ojien syvyydestä ja sijoittumisesta, sekä ojitusalueen sijainnista valuma-alueella (Päivänen & Hännel 2012).

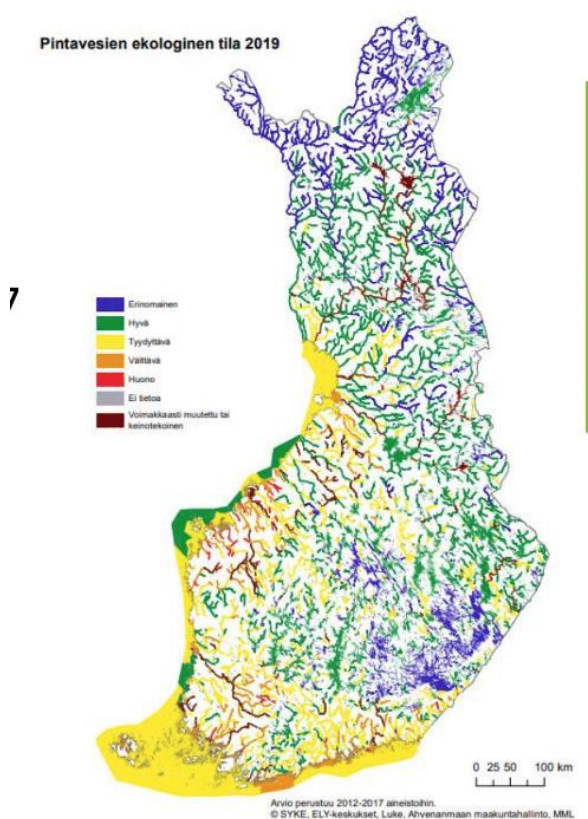
Vesitase palautuu uudisojituksen jälkeen vähitellen, kun kehittyvän puuston haihdunta alkaa säädellä pohjavedenpintaa (Ahti ym. 2005). Vuosivalunta on suurimmillaan ensimmäisinä vuosina uudisojituksen jälkeen ja palautuu ojitusta edeltäneelle tasolle noin 15–20 vuodessa, kun puuston haihdunta ja latvuksiin pidättyvän veden määrä lisääntyvät, ojat madaltuvat ja niiden kuivatusteho heikkenee (Seuna 1981, Mattsson ym. 2006, Rantakari ym. 2010, Mannerkoski 2012). Myös kevätylivalumat pienenevät, kun kehittyvä puusto hidastaa lumen sulamista.

Ojien kunnostamisen aiheuttamat muutokset hydrologiassa ja pohjaveden pinnantasossa ovat vähäisempiä kuin uudisojituksessa tapahtuvat muutokset. Muutokset ovat sitä pienempiä, mitä runsaampi on alueen puusto (Koivusalo ym. 2007). Alueilla, joilla puuston tilavuus on suuri, ojien kunnostamisella ei ole vaikutusta vedenpinnan tasoon, sillä puuston haihdunta ja latvuspidäntä ovat riittävän suuria pitämään vedenpinnan alhaisella tasolla, vaikka ojat tukkeutuisivat (Ahti ym. 2008, Sarkkola ym. 2010, 2013). Ojaston



kunnostamisen on havaittu alentavan pohjavedenpintaa 5–10 cm riippuen käsittelyn voimakkuudesta (Ahti & Päivänen 1997, Päivänen & Sarkkola 2000). Joissakin tutkimuksissa ojien perkausten on havaittu lisäävän valuntaa yhdestä neljään vuotta toimenpiteen jälkeen (Ahti ym. 1995, Manninen 1998, Koivusalo ym. 2008). Vedenpinta laskee selvimmin silloin, kun suo on ohutturpeinen ja ojat ulottuvat kivennäismaahan asti (Koivusalo ym. 2008). Pelkkä ojien perkauksen vaikutus valuntapiikkeihin on vähäinen. Täydennysojitus voi kuitenkin lisätä niitä uomatiheyden ja veden virtausnopeuden kasvaessa (Ahti ym. 1995).

Ojien kunnostukset tehdään yleensä kasvatus- ja uudistushakkuiden yhteydessä. Päätehakkuut nostavat merkittävästi pohjavedenpintaa estämällä puuston haihdunnan. Puuston poistaminen vähentää haihduntaa ja latvuspidenttää, nostaa pohjaveden pinnantasoa ja lisää lumen kertymistä alueelle, mikä voi johtaa valunnan lisääntymiseen (Mannerkoski 2012, Päivänen & Hånell 2012). Päätehakkuiden vaikutusten on todettu säilyvän voimakkaimmillaan kolmesta neljään vuotta toimenpiteen jälkeen (esim. Heikurainen & Päivänen 1970). Lisäksi ajourat ja muokkauksessa syntyvä uraverkosto voivat toimia uomien tavoin valunnan virtausreitteinä (Piirainen 2007).



Kuva 2. Sisävesien laatu säilynyt ennallaan, rannikon tila heikentynyt



### 4.3. Toimenpiteiden vaikutukset vesistökuormitukseen

Ojien kunnostaminen: Vesistövaikutusten kannalta ojien kunnostaminen on metsätaloustoimenpiteistä haitallisin, ja merkittävin ojituksen aiheuttama valumavesien laatuun vaikuttava tekijä on kiintoainekuormitus (Finér ym. 2010).

Vesistöihin kulkeutuva kiintoaine koostuu sekä orgaanisesta että epäorgaanisesta aineksestä. Vain osassa tutkimuksista on eroteltu, mikä osa huuhtoutuvasta kiintoaineesta on orgaanista ja mikä epäorgaanista (Manninen 1998, Marttila & Kløve 2010). Kiintoainekuormituksen on päätelty olevan pääasiassa epäorgaanista mineraaliainesta alueilla, joilla ojat ulottuvat turpeen alapuoliseen mineraalimaahan, ja pääosin orgaanista niillä kohteilla, joilla ojat ovat turvepohjaisia (Ahtiainen 1990, Joensuu 2002). Myös sellaisilla alueilla, joilla ojat ulottuvat mineraalimaahan, voi kuitenkin huuhtoutua orgaanista kiintoainetta ojapenkkojen sortuessa (Joensuu 2002, Marttila & Kløve 2010).

Kiintoaineen pitoisuus valumavesissä lisääntyy ojitusten jälkeen, koska ojapinnat altistuvat eroosiolle (Hyninen & Sepponen 1983, Ahtiainen 1990, Joensuu 2002, Marttila & Kløve 2010). Eroosion ja kiintoaineen huuhtoutumisen riski on suuri etenkin valtaojissa, jotka keräävät valumavesiä laajemmalla alueella (Joensuu 2002). Kiintoaineen huuhtoutuminen on suurta varsinkin ohutturpeisilla soilla, joilla ojat ulottuvat hienojakoiseen kivennäismaahan ja vähäisempää alueilla, joilla ojien pohjat ovat karkeajakoista mineraalimaata tai turvetta (Joensuu 2002). Etenkin ojien kunnostamisen jälkeen aiempaa suurempi osa ojista ulottuu kivennäismaahan saakka, mikä lisää ojien syöpymisalttiutta (Joensuu 2002). Kunnostusten vaikutus kiintoainepitoisuuksiin vaihtelee eri alueiden välillä riippuen kaltevuudesta, topografiasta, maalajista ja sääoloista (Joensuu ym. 2002, Nieminen ym. 2010, Marttila & Kløve 2010). Kiintoaineen huuhtoutumisen on arvioitu olevan suurimmillaan ensimmäisinä vuosina ojien perkausten jälkeen, ja vaikutusten on arvioitu tasaantuvan lähelle ojitusta edeltävää tilannetta vuosikymmenen kuluessa toimenpiteen suorittamisesta (Finér ym. 2010). Kohonneita kiintoainepitoisuuksia on kuitenkin havaittu valumavesissä paikoin vielä 20 vuotta ojitusten jälkeen (Joensuu ym. 2012).

Kivennäismaan paljastuminen lisää kiintoaineen eroosiota ja samalla myös kiintoaineeseen sitoutuneen fosforin kuormitusta (Päivänen ja Hånell 2012). Vaikka ojien kunnostaminen ei lisää liukoisen fosforin huuhtoutumista, vesistöön voi huuhtoutua sekä orgaanista että epäorgaanista fosforia kiintoaineen mukana. Siitä osa on vesistöjen kannalta haitallista (Ekholm 1998, Ekholm ym. 2006). Vedenpinnan alenemisen ja hapellisten olosuhteiden muodostumisen myötä turpeen mikrobiaktiivisuus ja ravinteiden mineralisaatio voimistuu. Sen seurauksena ravinteita voi huuhtoutua valumavesiin (Nieminen ym. 2017b). Ojien kunnostaminen nostaa erityisesti epäorgaanisen tyyppien kuormitusta, vaikka vaikutukset kokonaistyyppien huuhtoumiin on arvioitu vähäisiksi (Joensuu ym. 2001, 2002). Viimeaikaisissa tutkimuksissa on esitetty kohonneita ravinnepitoisuuksia myös vanhojen ojitusalueiden valumavesissä (Nieminen ym. 2017c, 2018, Finér ym. 2018). Soiden ojitusten on havaittu lisänneen etenkin Perämereen laskevien jokien typpikuormitusta (Räike ym. 2019).

Useissa tutkimuksissa sekä uudisojituksen että ojien kunnostamisen on todettu vähentävän valumaveden liukoisen hiilen pitoisuutta (Lundin & Bergquist 1990, Ahti ym. 1995, Åström ym. 2001, Joensuu ym. 2006, Nieminen ym. 2010, Rantakari ym. 2010). Kuitenkin myös vastakkaisia havaintoja on, ja osassa tutkimuksia



on raportoitu ojitusten myös nostavan valumavesien orgaanisen hiilen (TOC, DOC) pitoisuutta (Wallage ym. 2006).

Pohjavedenpinnan aleneminen tehostaa hajotusta, jolloin suurempi osa hiilestä vapautuu hiilidioksidina ilmakehään (Nieminen ym. 2010). Ojitus kuitenkin kiihdyttää orgaanisen aineen hajoamista, mikä voi myös lisätä humuksen huuhtoutumista (Päivänen 2007). Ojituksen seurauksena voimistuva valunta kompensoi valumaveden liunneen orgaanisen hiilen pitoisuuden alenemistä, ja vesistöihin kohdistuva humuskuormitus on arviolta kuitenkin samaa suuruusluokkaa luonnontilaisten soiden kanssa (Kenttämies 1980, Rantakari ym. 2010). Humuskuormitus palautuu luontaiselle tasolle, kun uudisojituksesta on kulunut 20–30 vuotta (Joensuu 2002, Rantakari ym. 2010).

Hakkuut ja maanmuokkaukset: Vesistöjen läheisyydessä tapahtuvat päätehakkuut ja niiden yhteydessä tehtävä maanmuokkaus lisäävät väliaikaisesti vesistöihin kohdistuvaa kiintoaine- ja ravinnekuormitusta. Harvennushakkuiden on sen sijaan oletettu vaikuttavan melko vähän kiintoaine- ja ravinnehuuhtoumiin (Kenttämies & Mattsson 2006). Puutavaran korjuun huono ajoitus voi kuitenkin aiheuttaa haitallista maanpinnan rikkoutumista, puun juurien vaurioitumista ja syöpymiselle alttiita ajopainaumia.

Hakkuiden seurauksena turvemaan ravinnekierrossa tapahtuu muutoksia, kun pohjavedenpinta nousee. Päätehakkuun seurauksena typen ja fosforin huuhtoutuminen voi lisääntyä (Mattsson ym. 2006). Etenkin karuilla soilla tehtävien hakkuiden jälkeen tähteistä vapautuva fosfori huuhtoutuu herkästi vesistöihin (Nieminen & Ahti 2005). Fosforin vapautuminen lisää kuormitusta, jos hakkuualueelta lähtevä vesi ei ole koskeuksissa kivennäismaan kanssa tai fosfori ei pidäty suojavyöhykkeelle (Piirainen 2007). Rehevämmillä soilla hakkuutähteistä vapautuvaa fosforia sitoutuu maaperän raudan ja alumiinin kanssa vaikealiukoiseksi oksideiksi ja hydroksideiksi. Mikäli hakkuualue kuitenkin pääsee vettymään haihdunnan pienentymisen ja ojasen toimimattomuuden takia, rautaan sitoutunut fosfori voi vapautua ja huuhtoutua vesistöihin. Niemisen (2004) mukaan turvemaiden uudistamishakkuiden ja maanmuokkauksen aiheuttama fosforikuormitus on ainakin kolmena ensimmäisenä vuonna hakkuun jälkeen suurempi kuin kangasmaiden uudistamishakkuiden kuormitus.

Turvemaiden avohakkuut lisäävät merkittävästi myös liunneen orgaanisen hiilen (DOC) ja typen eri fraktioiden (liuennut orgaaninen tyyppi, ammoniumtyyppi, nitraattityyppi) huuhtoutumista valumavesiin (Nieminen 2004). Erityisesti ravinnerikkaiden korpisoiden hakkuut voivat lisätä humuksen huuhtoutumista (Lundin 1999, Nieminen 2004). Koska kasvillisuuden määrä päätehakkuualueella on alussa vähäinen, myös ravinteidenotto on pientä. Typen huuhtouma humuskerroksesta kivennäismaahan kasvaa hakkuun jälkeen (Rosén ja Lundmark-Thelin 1987, Piirainen ym. 2002). Tyyppi on todennäköisesti peräisin karikkeesta ja kuolleesta pintakasvillisuudesta, sillä hakkuutähteistä ei ensimmäisten vuosien aikana vapaudu tyyppiä (Palviainen ym. 2004).

Maanmuokkauksella pyritään tekemään uuden metsän syntymiselle mahdollisimman hyvät olosuhteet niin lämmön, ravinteiden kuin vesitaloudenkin suhteen. Kiintoaine- ja ravinnekuormitusta voi aiheutua, jos toimenpiteisiin liittyy vesien johtamista pois muokkausalueelta. Maanmuokkaus muuttaa metsämaan kosteus- ja lämpöoloja, paljastaa kivennäismaata sekä kasaa orgaanista ainesta mättäisiin. Muutoksilla voi olla vaikutusta hajotukseen ja ravinteiden vapautumiseen (Piirainen 2007). Jos hakkuun ja maanmuokkauksen välillä on viivettä, varsinkin typen huuhtoutuminen voi kasvaa. Maanmuokkaus vähentää pintakasvillisuuden määrää, jolloin hakkuutähteistä vapautuva tyyppi ei pidäty kasvillisuuteen (Piirainen 2007).





#### 4.4. Vaikutukset korostuvat, kun maanmuokkaustoimenpiteitä tehdään happamilla sulfaattimailla.

Lannoitukset: Lannoitusten avulla pystytään tehostamaan puuston kasvua etenkin turvemilla, joilla typpipitoisuus on luonnostaan korkea. Viljavuudeltaan karuilla soilla, joilla turpeen fosforinpidätyskyky on heikko, lannoitusta ei nykyisin suositella (Nieminen ja Jarva 1999, Nieminen 2000, Piirainen ym. 2013). Silfverbergin (1996) mukaan tuhkalannoitus lisää ojitetun, typpirikkaan suon puuston vuotuista kasvua jopa  $2,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , ja vaikutusten on arvioitu kestävän vuosikymmeniä. Tuhkalannoitusten ei ole todettu aiheuttavan fosforin, typen, raskasmetallien tai orgaanisen hiilen merkittävää huuhtoutumista valumavesiin (Piirainen ym. 2013). Rikin, kaliumin, natriumin, kloridin ja mangaanin pitoisuudet valumavesissä on kuitenkin todettu lannoittamattomia alueita korkeammiksi vielä 10 vuoden päästä tuhkalannoituksista (Piirainen ym. 2013).

Tuhka sisältää runsaasti rautaa ja alumiinia, mikä voi vaikuttaa siihen, ettei tutkimuksissa ole havaittu fosforin huuhtoutumista vesistöihin (Piirainen 2000, Tulonen ym. 2000, 2003, Nieminen 2003, Piirainen ym. 2013). Ravinteiden ja raskasmetallien hidasliukoisuus tuhkassa merkitsee kuitenkin sitä, että tuhkalannoituksen ympäristövaikutusten selvittämiseksi tarvitaan pitkäaikaisia tutkimuksia (Nieminen 2003). Vaikka ravinteiden ja raskasmetallien huuhtoutuminen tuhkalannoitetuista metsistä on ollut vähäistä (Piirainen 2000, Tulonen ym. 2000, 2003), lannoitettujen alueiden alapuolisissa järvissä on havaittu tuhkalannoituksen jälkeen lievää perustuotannon nousua (Tulonen ym. 2000). Lisäksi Tulonen ym. (2000) raportoivat tuhkalannoituksen jälkeisestä rataseläinten runsastumisesta ja siten muutoksista eläinplanktonlajistossa. Välitöntä raskasmetallien kertymistä ravintoketjussa ei havaittu. Tulonen ym. (2000) päättelivät, että tuhkalannoituksesta ei ollut selvää välitöntä vaikutusta vesistölle, kun pienten latvajärvien valuma-alueesta käsiteltiin alle 20 %. Vähäinen fosforin huuhtoutuminen tuhkalannoitetuilta alueilta voi kuitenkin jatkua pitkään, sillä tuhkalannoitettujen alojen maaperän ravinnepitoisuuksien ja pH-arvojen on todettu pysyvän korkealla tasolla kymmeniä vuosia (Moilanen & Issakainen 2000). Tuhkan nopeasti liukenevat ainesosat (kalium, sulfaatti, kloridi) huuhtoutuvat helpommin turvemailta verrattuna kivennäismaihin (Tulonen ym. 2000). Pitkäaikaisen ja korkean kuormituksen vaikutuksia järviökosysteemiin ei tunneta.

Turvemaiden lannoitteena on käytetty myös RautaPK:ta, johon on lisätty valmistusprosessissa rautaa. Rautayhdisteet sitovat fosforia, eikä tutkimuksissa ole saatu viitteitä fosforin huuhtoutumisesta erilaisista RautaPK-lannoitteista (Nieminen 2005). Lannoitteet on viime vuosiin asti levitetty ilmasta helikopterilevityksenä, jossa Silverin ja Saarisen (2007) tekemän laajan levitystasaisuustutkimuksen mukaan keskimäärin hie-man alle 3 % lannoitteesta päätyy ojiin.

#### 4.5. Vesistökuormitus heikentää vesien ekologista ja kemiallista tilaa

Vesistöjen ekologisen tilan luokittelussa tarkastellaan ihmistoiminnan vaikutusta vastaanottavan vesistön eliöstöön, kasvillisuuteen, ravinteisuuteen, happamuuteen, näkösyvyyteen sekä hydromorfologiaan tekijöihin kuten talvialenemaan ja vaellusesteisiin. Kemiallisen tilan arvioinnissa verrataan vesissä olevien



vaarallisten ja haitallisten aineiden pitoisuuksia lainsäädännössä asetettuihin ympäristölaatunormeihin. Metsätalouden aiheuttamat muutokset valumavesien laadussa voivat vaikuttaa sekä vastaanottavien vesistöjen ekologiseen että niiden kemialliseen tilaan aiheuttamalla liettymistä, vesien samenumista ja tummumista, rehevöitymistä, happiongelmiä sekä raskasmetallien kertymistä. Metsätalouden aiheuttaman kuormituksen vaikutukset korostuvat latvavesissä, joihin kohdistuu yleensä vain vähän muuta ihmistoiminnasta peräisin olevaa kuormitusta (Åström ym. 2001, Kauppila ym. 2016).

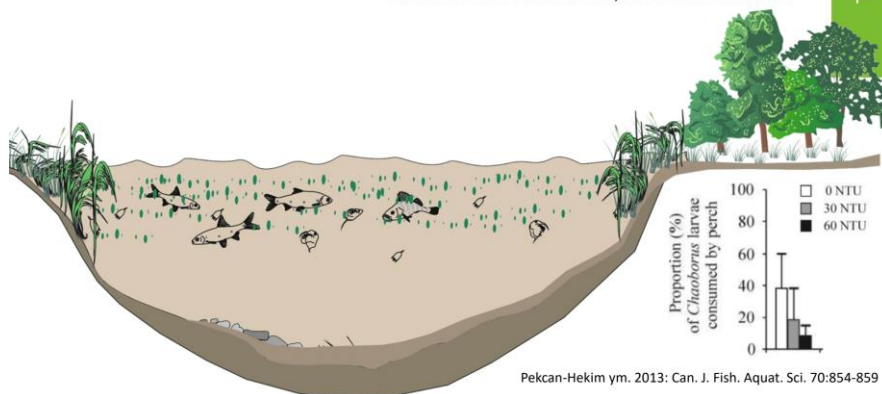
Kuormitus vaikuttaa vesistöjen ja pienvesien kemialliseen ja biologiseen tilaan, kuten happamuuteen, biologiseen hapenkulutukseen, kasviplanktonin määrään, pohjaeläimiin, vesikasveihin sekä kalastoon (esim. Wahlström ym. 1996). Ojitusten aiheuttama kiintoaine- ja ravinnekuormitus vaikuttaa luonnon monimuotoisuuteen lajisto- ja ekosysteemitasolla, sillä se aiheuttaa elinympäristöjen liettymistä ja rehevöitymistä. Hakkuut muuttavat rantametsien rakennetta, sillä ne vähentävät puuston varjostusta ja nostavat veden lämpötilaa. Muutokset virtavesien valo- ja lämpöympäristössä sekä kiintoainepitoisuudessa vaikuttavat pohjalevästöön, -eläimistöön ja kalastoon (Holopainen ja Huttunen 1998, Jutila ym. 1999, Liljaniemi ym. 2002).



## Kuormituksen erityispiirteet: kiintoaine

- Kutualueita, poikastuotantoalueita ja pohjaeläinten elinympäristöjä peittyi
  - Ongelmat lisääntymisessä, kuoriutumisessa
- Kalojen, pohjaeläinten ja eläinplanktonin saalistus heikentyy
  - Valon siroaminen, visuaaliset haasteet
  - Ravinnon suodattaminen, ruokailun haasteet

TAPIO



Pekcan-Hekim ym. 2013: Can. J. Fish. Aquat. Sci. 70:854-859

Kuva 3. Kiintoainekuormituksen erityispiirteet

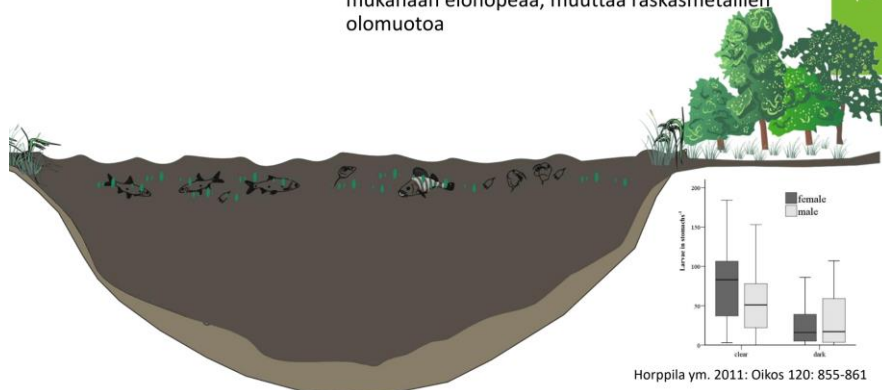
## 4.6. Kiintoaine liettää ja samentaa vesistöjä

Samentuminen voi aiheutua sekä epäorgaanisesta että orgaanisesta kiintoaineksestä (Evans 1994, Horppila & Nurminen 2003, Lind 2003) ja toisaalta myös runsaasta kasviplanktonituotannosta (Anderson ym. 2002). Samentuminen muuttaa merkittävästi järviökosysteemin toimintaa, sillä se vaikuttaa pohjien liettymisen lisäksi ravinteiden kiertoon, perustuotantoon, valaistun kerroksen syvyyteen sekä eläinplanktonin ja kalojen saalistustehokkuuteen (esim. Kirk & Gilbert 1990, Hellström 1991, Lind 2003, Pekcan-Hekim 2007). Samentuminen vaikuttaa vesistöjen peto-saalissuhteisiin, sillä useimmat kalat saalistavat näön avulla (Guthrie & Muntz 1993). Savisameissa vesissä särkikalat yleensä runsastuvat muiden lajien kustannuksella, sillä niiden saalistustekniikka suosii heikompia valaistusolosuhteita (Lammens ym. 1987). Muutokset kalastossa heijastuvat usein alemmas ravintoketjussa, sillä planktivoriset (eläinplanktonia saalistavat) kalat säätelevät eläinplanktonin runsautta, jotka puolestaan säätelevät kasviplanktonbiomassan määrää (Carpenter ym. 1985).



## Kuormituksen erityispiirteet: humus

- Vesi tummuu → valo sammuu ja veden lämpötila nousee
- Veden lämpötilakerrostuneisuus jyrkkenee → alusveden happiongelmat lisääntyvät
- Eliöstön elintila kaventuu → kilpailu voimistuu → eliöstön kasvu hidastuu
  - Valon sammuminen, visuaaliset haasteet saalistuksessa
- Alentaa veden alkaliniteettia ja pH-arvoa, tuo mukanaan elohopeaa, muuttaa raskasmetallien olomuotoa



Kuva 4: Humuskuormituksen erityispiirteitä

Ojitusten on todettu vähentäneen pohjaeläinten määrää johtuen enimmäkseen kiintoaineen pohjia liettävästä vaikutuksesta, joka estää pohjaeläinten liikkumista, ruokailua ja hapen saantia (Vuori ym. 1995). Samat vaikutukset ulottuvat myös kalojen poikastuotantoon, ja kiintoaineen on todettu tuhoavan pohjakuutiusten kalojen lisääntymisalueita (Jutila ym. 1999). Samentuminen voi johtaa häiriöihin vesieliöiden lisääntymisessä, poikasten kuoriutumisessa sekä erilaisten tautien vastustamisessa (Coen 1995). Pitkittynyt altitus kiintoaineelle saattaa myös vaurioittaa kalojen kidusrakenteita (Au ym. 2004).

Veteen liuennut kiintoaine absorboi auringonsäteiden lämpöenergiaa ja nostaa veden lämpötilaa (Reid 1961, Ryder & Pesendorfer 1989). Sameus voi vähentää valon tunkeutumista vesipatsaan läpi ja vaikuttaa vesikasvien yhteyttämiseen ja välillisesti liuenneen hapen pitoisuuksiin (Berry ym. 2003). Valaistusolosuhteiden muuttuminen saattaa samalla johtaa leväbiomassan lisääntymiseen.

## 4.7. Ravinnekuormitus lisää kasviplanktontuotantoa ja vesikasvillisuuden leviämistä

Ihmistoiminnan aiheuttama ravinnekuormitus ja siitä seuraava rehevöityminen ovat suurimpia makean veden ekosysteemejä uhkaavia ongelmia (Smith 2003, Schindler 2006). Typpi ja etenkin fosfori ovat tärkeimmät ravinteet, jotka säätelevät järvien perustuotannon tasoa (esim. Healey & Hendzel 1979, Hecky & Kilham 1988). Rehevöityminen on järvien luontainen kehityssuunta, mutta rehevöityminen on kiihtynyt ihmistoiminnan takia. Vesistön vaste ulkoisen ravinnekuormituksen lisääntymiseen on usein välitön



perustuotannon tason kohoaminen, mikä näkyy voimistuneina leväkukintoina ja vesikasvillisuuden runsastumisena (esim. Wetzel 2001).

Rehevöityneessä vesistössä korkean perustuotannon takia suuri määrä orgaanista ainesta myös hajoaa ja kuluttaa hajotessaan happea. Rehevöitymisestä johtuva biologisen hapenkulutuksen lisääntyminen voi johtaa happikatoihin, mikä vaikuttaa niin pohjaeläimiin, kaloihin kuin ravinnekiertoihinkin (Correl 1998, Ludsin ym. 2009, Foley ym. 2012). Fosfori sitoutuu rauta- ja alumiiniyhdisteisiin ja voi hapellisissa olosuhteissa pidentyä sedimenttiin. Hapettomissa olosuhteissa sidokset kuitenkin katkeavat ja fosforia vapautuu sedimentistä. Sedimentoitunut kiintoaine ja siihen sitoutuneet ravinteet voivat myös sekoittua uudelleen (resuspendoitua) vesimassaan aallokon, erilaisten virtausten ja eliöiden vaikutuksesta (Evans 1994). Tuulille alttiissa järvissä sedimentin resuspension aiheuttama ravinnekuormitus voi olla monikertainen ulkoiseen kuormitukseen nähden (Niemistö 2008). Toisaalta vähäinenkin ulkoinen kuormitus on tällaisissa järvissä merkittävää. Kerran järveen päätyneet ravinteet jäävät resuspension takia pitkäksi aikaa biologiseen kiertoon.

## 4.8. Humuskuormitus vaikuttaa vesistön lämpötilaan ja happitalouteen

Humuksen ja orgaanisen hiilen huuhtoutuminen on sitä suurempaa, mitä suurempi on turvemaiden osuus valuma-alueen pinta-alasta (Kortelainen & Saukkonen 1998, Mattsson ym. 2003, Kortelainen ym. 2006, Rantakari ym. 2010). Valumaveden orgaanisen kokonaishiilen (TOC) pitoisuudet ovat korkeampia havumetsävaltaisilla kuin lehtimetsävaltaisilla alueilla (Kortelainen 1999a), ja kuusivaltaisilla alueilla korkeampia kuin mäntyvaltaisilla alueilla (Mattsson 2010). Pääosa hiilestä huuhtoutuu vesistöihin joko keväisin lumien sulassa tai syksyisin rankkasateiden aikana, jolloin myös suurin osa vuotuisesta valunnasta tapahtuu (Kortelainen 1999a, Laudon ym. 2004). Ilmastonmuutoksen ennustetaan johtavan kasvukauden pidentymiseen ja sateisuuden lisääntymiseen, mikä voi lisätä vesistöjen humuskuormitusta (Sarkkola ym. 2009).

Vain pieni osa liikkeelle lähtevästä orgaanisesta kiintoaineesta sedimentoituu ojitusalueen rakenteisiin, sillä orgaanisten kiintoainepartikkeleiden sedimentaatio on vähäistä niiden alhaisen tiheyden vuoksi (Marttila & Kløve 2010). Kun orgaaninen kiintoaine hajoaa ojitusalueen alapuolisessa vesistössä, siitä muodostuu liukoista hiiltä (DOC) (Koelmans & Prevo 2003). Orgaaniset hapot, joita humus pääasiassa sisältää, voivat alentaa vastaanottavan vesistön alkaliniteettiä (puskurikykyä) ja pH-arvoa (Kortelainen 1999b).

Humusyhdisteiden ja liunneen orgaanisen hiilen aiheuttama veden tummuminen vaikuttaa sekä suorasti että epäsuorasti kaikkiin järvissä eläviin eliöihin. Humus muuttaa veden valaistusolosuhteita ja sitä kautta vaikuttaa vastaanottavan vesistön veden lämpötilaan ja happipitoisuuteen (Weyhenmeyer ym. 2016, Sepp ym. 2018, Pilla ym. 2018). Humusyhdisteet absorboivat voimakkaasti valoa, ja humuspitoisissa vesistöissä valo sammuu nopeasti (Kirk 1994). Pienissä humusjärvisissä hapettunut veden pintakerros voi olla niin ohut, että se voi vaikeuttaa kalojen ravinnonhankintaa ja kutupaikkojen löytymistä (Rask ym. 1999). Vähähappinen alusvesi vaikeuttaa kalojen menestymistä (Rask ym. 1999) ja voi muuttaa suuriakin pohja-alueita kaloille elinkelvottomiksi (Sutela ym. 2007). Valaistuksen muutokset vaikuttavat huomattavasti kalojen ravinnonkäyttöön ja kasvuun (Estlander ym. 2010, 2012).

Humuskuormitus vaikuttaa myös vesien raskasmetallipitoisuuksiin ja raskasmetallien esiintymismuotoon. Valtaosa vesistöihin huuhtoutuvasta elohopeasta kulkeutuu humukseen sitoutuneena (Bishop ym. 2009),



joten humuskuormituksen torjuminen vähentäisi myös vesistöjen elohopeakuormitusta. Humusyhdisteet voivat aiheuttaa elohopean metyloitumista valuma-alueella ja vesistöissä (Rask ym. 1999). Metyylielohopea on orgaanisessa muodossa olevaa liukoista elohopeaa, jota muodostuu alkuaine- ja ionimuodossa olevasta elohopeasta prosessissa, jota kutsutaan metyloitumiseksi. Sen lisäksi mikrobien aikaansaamaa elohopean metylaatiota tapahtuu humusyhdisteiden hajotessa vedessä. Elohopea rikastuu tehokkaasti humusjärvien ravintoketjuissa ja humuspitoisten järvien kaloista on mitattu korkeita elohopeapitoisuuksia (Rask ym. 1999, Porvari 2003).

Happipitoisessa vedessä rauta ja alumiini ovat sitoutuneena humukseen, eivätkä aiheuta haitallisia vaikutuksia kalastolle (Vuori ym. 1995). Veden voimakas tummuminen voi kuitenkin heikentää vesistön happiloutta ja vapaana vedessä esiintyvä epäorgaaninen rauta ja alumiini ovat eliöille myrkyllisiä (Vuorinen ym. 1995). Alumiini heikentää esimerkiksi kalojen kasvua ja kidusten kaasunvaihtoa (Vuorinen ym. 1995).

## 4.9. Käytössä olevilla vesiensuojelumenetelmillä ehkäistään lähinnä kiintoaineen ja siihen sitoutuneiden ravinteiden kuormitusta

### Laskeutusaltaat

Laskeutusaltaassa veden virtausnopeus hidastuu ja kiintoainetta laskeutuu painovoiman vaikutuksesta altaan pohjalle. Laskeutusaltaat toimivat tehokkaimmin silloin, kun veden virtausnopeus on pieni ja kiintoainepitoisuudet ovat korkeita.

Laskeutusaltailla voidaan poistaa kiintoaineesta keskimäärin 30 % (Joensuu ym. 1999). Ensimmäisenä ojien kunnostamisen jälkeisenä vuonna laskeutusaltaat poistavat keskimäärin 18 % kiintoaineesta (Joensuu ym. 1999). Altaiden pidätysteho on heikoin paksurupesilla ojitusalueilla (Manninen 1998, Joensuu ym. 1999, Hahti ym. 2018), tai alueilla, joilla ojat ulottuivat hienojakoiseen kivennäismaahan saakka (Joensuu ym. 1999). Kaikkein hienojakoisimpien, massaltaan pienien lajitteiden pidättäminen laskeutusaltaisiin ei onnistu. Etenkin orgaanista kiintoainetta on vaikea pidättää laskeuttamalla, koska se on kevyttä ja laskeutuu huonosti (Marttila & Kløve 2010). Tutkimuksissa on myös havaittu, että riittävällä virtaamalla laskeutusaltaista saattaa erodoitua kiintoainesta takaisin valumavesiin (Kløve 2000).

Laskeutusaltailla on saatu pidätettyä osa kiintoaineeseen sitoutuneesta kokonaisfosforista ja -typestä (Kløve 2000, Joensuu 2002). Liukoisiin ravinteisiin ja liukoisen orgaanisen hiilen pidätykseen niillä ei kuitenkaan ole vaikutusta (Joensuu 2002).

### Lietekuopat

Lietekuoppien tavoitteena on pidättää pohjakulkeumana liikkuvaa karkeaa kiintoainetta. Suositusten mukaan niitä kaivetaan syvennyksinä tai levennyksinä sarkaojiin vähintään 100 m välein. Lietekuopat perustetaan kohtiin, joissa veden virtaus hidastuu luontaisesti.

Lietekuoppien tehosta vesiensuojelurakenteena ei ole tutkimusnäyttöä. Sen sijaan Haahdin ym. (2018) mallinnustutkimusten perusteella lietekuopat saattavat paksurupesilla aloilla jopa lisätä kiintoainekuormitusta.

### Kaivu- ja perkauskatkot



Toiminnallisesti kaivu- ja perkauskatkot ovat pienimuotoisia pintavalutuskenttiä. Ne ovat muutaman metrin pituisia kaivamattomia/perkaamattomia osuuksia, jotka hidastavat virtausnopeutta ja suodattavat kuormitusta. Haahdin ym. (2018) mukaan kaivu- ja perkauskatkoilla voidaan ehkäistä pohjaeroosiota melko tehokkaasti. Lisäksi Wallage ym. (2006) on esittänyt, että ojien tukkimisen avulla olisi mahdollista pidättää myös liuenneen orgaanisen hiilen kuormitusta.

#### Virtaamansäätö putki- ja pohjapatojen avulla

Putki- ja pohjapatojen avulla voidaan hidastaa virtausnopeutta ja ehkäistä siten eroosiota. Putkipatojen tarkoituksena on viivyttää ja varastoida vettä ojasossa väliaikaisesti. Niiden on havaittu pidättävän tehokkaasti (81–90 %) turvemailta ojitusten seurauksena vapautuvaa kiintoainesta (Marttila & Kløve 2010). Samalla pystytään poistamaan tehokkaasti kiintoaineeseen sitoutunutta fosforia ja typpeä (Marttila & Kløve 2010). Myöskään padottavat rakenteet eivät kuitenkaan merkittävästi poista valumavesistä liukoisia ravinteita tai liuennutta orgaanista hiiltä.

Putkipatorakenteen yhteydessä tapahtuva väliaikainen vesien varastointi ei nosta ympäröivän alueen pohjavedenpintaa tai vaikuta puuston kasvuun (Hökkä ym. 2011).

#### Pintavalutuskentät

Ojitusalueilla voidaan käyttää vesiensuojelukeinona pintavalutuskenttiä, joiden kautta metsänkäsittelyalueiden vedet johdetaan vesistöön (Hynninen ym. 2010). Tavoitteena on pidättää valumavesiin huuhtoutunut kiintoaine ja ravinteet pintavalutuskentän maaperään ja kasvillisuuteen. Erityisesti soille perustetut pintavalutuskentät ovat osoittautuneet tehokkaiksi valumavesien puhdistajiksi (esim. Heikkinen ym. 1994, Heikkinen ym. 2018). Pintavalutuksella kiintoaineesta voitaisiin poistaa jopa 70–100 %, mutta käytännön vesiensuojelutoimenpiteenä pintavalutusta käytetään vielä toistaiseksi melko vähän (Nieminen ym. 2005). Kiintoaineen lisäksi pintavalutuskentät poistavat valumavesistä myös liukoisia ravinteita (Hynninen ym. 2010). Pintavalutuskenttien pidätyskyky kuitenkin vaihtelee eri ravinteiden osalta (Heikkinen ym. 2018). Jos kentät ovat pienialaisia tai niissä on merkittäviä oikovirtauksia, osasta kentistä saattaa myös vapautua enemmän liukoisia ravinteita kuin ne pidättävät (Hynninen ym. 2010).

Pintavalutuskentät eivät poista humusta, vaan usein jopa lisäävät sen kuormitusta vesistöihin, sillä pintavalutuskentästä voi vapautua orgaanista hiiltä (Nieminen ym. 2005, Kantonen 2011). On myös havaittu, että pintavalutuskentillä humusyhdisteet voivat kilpailla maaperässä samoista pidätyspaikoista fosfaatin kanssa (Nieminen ym. 2008). Metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama orgaanisen aineen huuhtoutumisen lisääntyminen voi siten johtaa pintavalutuskentällä fosforin pidätyskyvyn huononemiseen.

#### Suojavyöhykkeet

Suojavyöhykkeitä voidaan jättää uudistamishakkuissa, maanmuokkauksissa, kulotuksessa, kantojen nostossa, ojien kunnostuksessa sekä lannoituksessa.

Metsätaloustoimenpiteet ovat aiheuttaneet merkittäviä muutoksia purojen levä- ja bakteerituotannolle (Holopainen & Huttunen 1995). Ravinnekuormituksen ohella valaistusolojen muutos avohakkuun jälkeen voi lämmittää purovettä ja sitä kautta lisätä uoman perustuotantoa. Suojavyöhykkeen jättäminen metsänkäsittelyalueen ja vesistön tai pienvesikohteen väliin on tärkein päätehakkuihin liittyvä



vesiensuojelumenetelmä (esim. Heinonen ym. 2005). Puustoisien suojavyöhykkeen jättäminen puron ja toimenpidealueen väliin voi ehkäistä perustuotannon kasvua ja ravinnepitoisuuksien nousun aiheuttamia muutoksia levälajistossa.

Valumavesien ravinteet pidättyvät suojavyöhykkeillä sekä maaperään että kasvillisuuteen (Sallantaus ym. 1998; Silvan ym. 2003; Väänänen ym. 2007). Suojavyöhyke estää ravinteiden pidättämisen ohella maanpinnan rikkoutumisen aiheuttamaa kiintoaineshuutoutumaa vesistöihin. Suojavyöhykkeet voivat kuitenkin lisätä liukoisen hiilen huuhtoutumista ojitusalueelta (Nieminen 2004, Nieminen ym. 2005). On myös havaittu, että suojavyöhykkeet eivät välttämättä pidätä fosfaattifosforia (Haapanen ym. 2006; Sallantaus ym. 1998; Väänänen ym. 2007). Tähän voi vaikuttaa valumavesien hydrologisten reittien muuttuminen suojavyöhykkeen jättämisen seurauksena (Haapanen ym. 2006; Sallantaus ym. 1998). Suojavyöhykkeen ajouriin saattaa muodostua ohivirtauksia, jolloin ravinteet ja kiintoaine pääsevät suoraan vesistöihin ilman kontaktia suojavyöhykkeen maaperän kanssa, jolloin pidättymistä ei tapahdu.

### Kosteikot

Metsätaloudessa kosteikkojen käyttö on vielä hajanaista. Kosteikon mitoitus valuma-alueeseen ja virtaamaan nähden on tärkeä. Joensuu ym. (2013) tekemän, metsätalouden vesiensuojelukosteikkoihin liittyvän selvityksen perusteella parhaiten kiintoainetta sitovat kosteikot, joissa on sekä syvänteitä että matalia osia ja kasvillisuutta. Fosfaattifosforin, kokonaisfosforin, kaliumin ja typen pidätykseen kosteikoilla ei kuitenkaan kyseisessä selvityksessä havaittu huomattavaa vaikutusta.

### Uusia menetelmiä tutkitaan ja kehitetään

Käytössä olevilla menetelmillä ei vielä pystytä tehokkaasti poistamaan turvemaiden valumavesistä liukoisia ravinteita ja liuennutta orgaanista hiiltä. Uusi menetelmiä on kuitenkin kehitteillä.

### Puumateriaalin hyödyntäminen valumavesien puhdistuksessa

Helsingin ja Itä-Suomen yliopistojen yhteishankkeessa tutkitaan biohiilen tehoa turvemaiden hakkuiden aiheuttamien ravinnepäästöjen hallinnassa. Alustavien tulosten perusteella biohiili on potentiaalinen keino vähentää metsätalouden valumavesien ravinnepitoisuuksia. Tutkimuksissa on havaittu, että biohiilen avulla pystytään poistamaan valumavedestä typpeä silloin, kun sen pitoisuus valumavedessä on korkea (M. Palviainen, suullinen tiedonanto).

Lisäksi SYKE:n, Suomen Metsäkeskuksen, Jyväskylän yliopiston, Luonnonvarakeskuksen ja Pohjoisen Keski-Suomen ammattioiston PuuMaVesi-yhteishankkeessa tutkitaan puuta hyödyntävän biologisen vesiensuojelumenetelmän tehoa useilla metsätalousalueilla.

## 4.10. Jatkuva kasvatus ojituksen vaihtoehtona

Koska vesiensuojelurakenteet pystyvät poistamaan vain osan kiintoaineksesta, vesiensuojelun tehostamiseksi on tärkeää jättää ojat perkaamatta tapauksissa, jolloin puuston haihdunta riittää ylläpitämään riittävää kuivatustilaa (Sarkkola ym. 2012, Haahti ym. 2018). Puuston kasvuille sopivaksi kuivatustilaksi on arvioitu loppukesän keskimääräisillä sääolosuhteilla 30–40 cm syvyydellä oleva pohjavedenpinnantaso, jolloin





puusto ei kärsi liiasta kosteudesta ja hapettomista olosuhteista (esim. Sarkkola ym. 2012). On arvioitu, että 120–150 m<sup>3</sup>/ha puusto riittäisi ylläpitämään vesitaloutta, vaikka ojat olisivat huonossa kunnossa (Sarkkola ym. 2013). Luonnonvarakeskuksessa on käynnissä kokeita, joilla tutkitaan peitteisen metsänkasvatuksen vesistövaikutuksia.

Myös Itä-Suomen yliopistossa pyritään selvittämään eri metsänkasvatus- ja käsittelymenetelmien vaikutusta metsien hiilivirtoihin ja selvittämään peitteisen kasvatuksen vaikutuksia turvemaiden metsien liuenneen orgaanisen aineksen ja ravinteiden huuhtoutumiseen.

## 4.11. Kirjallisuus

Ahti, E., Alasaarela, E., & Ylitolonen, A. 1995. Kunnostusojituksen vaikutus ojitusalueen hydrologiaan ja valumavesien ainepitoisuuksiin. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.) Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2: 157–168.

Ahti, E. & Päivänen, J. 1997. Response of stand growth and water table level to maintenance of ditch networks within forest drainage areas. Teoksessa: C. Trettin, M. Jurgensen, D. Grigal, M. Gale, & J. Jeglum (toim.), Northern forested wetlands: Ecology and management, s. 449–457. Boca Raton: CRC Press, Lewis Publishers.

Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. 2005. Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947. 376 s.

Ahti, E., Kojola, S., Nieminen, M., Penttilä, T. & Sarkkola, S. 2008. The effect of ditch cleaning and complementary ditching on the development of drained Scots pine-dominated peatland forests in Finland. Teoksessa: C. Farrell, & J. Feehan (toim.). Proceedings of the 13th International Peat Congress. After Wise Use – The Future of Peatlands. Tullamore, Ireland, 8-13 June 2008 (ss. 457–459), Volume 1, Oral Presentations. International Peat Society.

Ahtiainen, M. 1990. Avohakkuun ja metsäojituksen vaikutukset purovesien laatuun. Vesi- ja Ympäristöhallinnon julkaisuja -sarja A 45: 1–122.

Anderson, D.M., Glibert, P.M., & Burkholder, J.M. 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries* 25: 704–726.

Au, D. W. T., Pollino, C. A., Wu, R., Shin, P., Lau, S.T.F. & Tang, J.Y.M. 2004. Chronic effects of suspended solids on gill structure, osmoregulation, growth, and triiodothyronine in juvenile green grouper *Epinephelus coioides*. *Marine Ecology-progress Series* 266. 255–264. 10.3354/meps266255.

Berry, W., Rubinstein, N., Melzian, B., Hill, B. 2003. The biological effects of suspended and bedded sediment (SABS) in aquatic systems: a review. US Environment Protection Agency, National Health and Environmental Health Effects Laboratory, Rhode Island, USA, p 58

Bishop, K., Allan, C., Bringmark, L., Garcia, E., Hellsten, S., Högböm, L., Johansson, K., Lomander, A., Meili, M., Munthe, J., Nilsson, M., Porvari, P., Skyllberg, U., Sørensen, R., Zetterberg, T. & Åkerblom, S. 2009. The effects of forestry on Hg bioaccumulation in nemoral/boreal waters and recommendations for good silvicultural practice. *Ambio* 38 (7): 373–380.

Carpenter, S.R., Kitchell, J.F. & Hodgson, J.R. 1985. Cascading Trophic Interactions and Lake Productivity. *BioScience* 35: 634–639.



- Coen, L.D. 1995. A review of the potential impacts of mechanical harvesting on subtidal and intertidal shellfish resources. South Carolina Division of Natural Resources, Marine Resources Research Institute, James Island, South Carolina, pp 46
- Correll, D. L. 1998. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. *J Environ Qual* 27: 261–266.
- Ekholm, P. 1998. Algal-available phosphorus originating from agriculture and municipalities. *Monographs of the Boreal Environment Research* 11: 1–60.
- Ekholm, P., Kenttämies, K. & Haapanen, M. 2006. Fosforin käyttökelpoisuus valumavesissä. Teoksessa: Kenttämies, K. & Mattsson, T. (toim.). *Metsätalouden vesistökuormitus: MESUVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö* 816: 93–100.
- Estlander, S., Nurminen, L., Olin, M., Vinni, M., Immonen, S., Rask, M., Ruuhijärvi, J., Horppila, J. & Lehtonen, H. 2010. Diet shifts and food selection of perch (*Perca fluviatilis*) and roach (*Rutilus rutilus* (L.)) in humic lakes of varying water colour. *Journal of Fish Biology* 77: 241-256.
- Estlander, S., Horppila, J., Olin, M., Vinni, M., Lehtonen, H., Rask, M. & Nurminen, L. 2012. Troubled by humics - effects of water colour and interspecific competition on the feeding efficiency of planktivorous perch. *Boreal Environment Research* 17: 305-312.
- Evans, R.D. 1994. Empirical evidence of the importance of sediment resuspension in lakes. *Hydrobiologia* 284: 5-12.
- Finér, L., Mattsson, T., Joensuu, S., Koivusalo, H., Laurén, A., Makkonen, T., Nieminen, M., Tattari, S., Ahti, E., Kortelainen, P., Koskiaho, J., Leinonen, A., Nevalainen, R., Piirainen, S., Saarelainen, J., Sarkkola S. & Vuollekoski, M. 2010. Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta. *Suomen ympäristö* 10/2010. 33 s.
- Finér, L., Tuukkanen, T., Mattsson, T., Nieminen, M., Piirainen, S. & Tattari, S. 2018. Metsätalouden vesistökuormituksen seurantaverkko tuottaa uutta tietoa hajakuormituksesta. *Vesitalous* 2/2018:10-12.
- Foley, B., Jones, I. D., Maberly, S. C. & Rippey, B. 2012. Long-term changes in oxygen depletion in a small temperate lake: effects of climate change and eutrophication. *Freshwat Biol* 57: 278–289.
- Guthrie, D.M. & Muntz, W.R.A. 1993. Role of vision in behaviour. In: *Behaviour of teleost Fishes*, 2nd edn. Pitcher TJ Ed. Chapman and Hall, London, pp 89-128.
- Haapanen, M., Kenttämies, K., Porvari, P. & Sallantausta, T. 2006: Kivennäismaan uudistushakkuun vaikutus kasvinravinteiden ja orgaanisen aineen huuhtoutumiseen; raportti Kurussa ja Janakkalassa sijaisevien tutkimusalueiden tuloksista. s. 43-62. Teoksessa: Kenttämies, K. & Mattsson, T. (toim.): *Metsätalouden vesistökuormitus. MESUVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö* 816, Suomen ympäristökeskus. Dark Oy, Vantaa.
- Healey, F. P. & Hendzel, L. L. 1979. Indicators of phosphorus and nitrogen deficiency in five algae in culture. *J Fish Res Board Can* 36: 1364–1369.
- Hecky, R. E. & Kilham, P. 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnol Oceanogr* 33: 796–822.
- Heikkinen, K., Ihme, R. & Lakso, E. 1994. Ravinteiden, orgaanisten aineiden ja raudan pidättymiseen johtavat prosessit pintavalutuskentällä. *Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A. Nro. 193. Helsinki*
- 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. *Ecol. Engineering* 117: 153-164.
- Heikurainen, L. & Päivänen, J. 1970. The effect of thinning, clear cutting, and fertilization on the hydrology of peatland drained for forestry. *Acta Forestalia Fennica* 104. 23 s



- Heinonen, P., Karjalainen, H., Kaukonen, M. & Kuokkanen, P. (toim.) 2005. Metsätalouden ympäristöopas. Metsähallitus. Edita Prima Oy. -159 s.
- Hellström, T. 1991. The effect of resuspension on algal production in a shallow lake. *Hydrobiologia* 213: 183-190.
- Holden, J., Evans, M.G., Burt, T.P., Horton, M., 2006. Impact of Land Drainage on Peatland Hydrology. *J. Environ. Qual.* 35, 1764–1778. doi:10.2134/jeq2005.0477
- Holopainen, A.-L. & Huttunen, P. 1995. Avohakkuun, maanmuokkauksen ja ojituksen hydrobiologiset vaikutukset ja niiden kesto Nurmes-tutkimusalueella. s. 185-197. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.): Metsätalouden vesistövaikutuksen ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 2. Suomen ympäristökeskuksen monistamo, Helsinki. -420 s.
- Holopainen, A.-L. & Huttunen, P. 1998. Impact of forestry practices on ecology of algal communities in small brooks in the Nurmes experimental forest area, Finland. *Boreal Environment Research* 3: 63–73.
- Horppila, J., & Nurminen, L. 2003. Effects of submerged macrophytes on sediment resuspension and internal phosphorus loading in Lake Hiidenvesi (southern Finland). *Wat. Res.* 37: 4468-4474.
- Hynninen, P. & Sepponen, P. 1983. Erään suoalueen ojituksen vaikutus purovesien laatuun Kiiminkijoen vesistöalueella, Pohjois-Suomessa. *Silva Fennica* 17 (1): 23–43.
- Hynninen, A., Saari, P., Nieminen, M. & Alm, J. 2010. Pintavalutus metsätaloustoimien valumavesien puhdistamisessa – kirjallisuustarkastelu. *Suo* 61 (3-4): 77–85.
- Hökkä, H., Hyttinen, H., Marttila, H., Jämsen, J. & Kløve, B., 2011. Effect of peak runoff control method on growth of Scots pine stands on drained peatlands in central Finland. *Silva Fenn.* 45, 331–339. doi:10.14214/sf.106
- Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1999. The effects of peatland ditch maintenance of suspended solids in runoff. *Boreal Environment Research* 4: 343–355.
- Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 2001. Long-term effects of maintaining ditch networks on runoff water quality. *Kunnostusojituksen pitkän ajan vaikutus valumaveden ominaisuuksiin. Suo - Mires and Peat* 52(1): 17–28.
- 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.
- Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 2002. Effects of ditch network maintenance on the chemistry of run-off water from peatland forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17: 238–247.
- Joensuu, S., Vuollekoski, M. & Karosto, K. 2006. Kunnostusojitusten pitkäaikaisvaikutuksia. Kenttämies, K. & Mattsson, T. (toim.) *Metsätalouden vesistökuormitus. MESUVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö* 816: 83–90.
- Joensuu, S., Vuollekoski, M. & Kauppila, M., 2012. Valumaveden kiintoaine- ja fosforipitoisuuden kehityksestä kunnostusojituksen jälkeen. *Vesitalous* 4/2012, 30–34.
- Joensuu, S., Kauppila, M., Tenhola, T., Lindén, M. & Vuollekoski, M. 2013. Kosteikot metsätaloudessa – selvitys. *Taso-hankkeen raportti*, 14 s.
- Jutila, E., Ahvonen, A., Laamanen, M. & Koskiniemi, J. 1999. Adverse impact of forestry on fish and fisheries in stream environments of the Isojoki basin, western Finland. *Boreal Environment Research* 3: 395–404.
- Kanttonen, S. 2011. Turvetuotannon valumavesien ympärivuotinen käsittely pintavalutuskentillä ja muilla kosteikoilla. *DI-työ. Oulun Yliopisto* 2011. 116 s.



- Kauppila, T., Ahokas, T., Nikolajev-Wikström, L., Mäkinen, J., Tammelin, M.H. & Meriläinen, J.J., 2016. Aquatic effects of peat extraction and peatland forest drainage: a comparative sediment study of two adjacent lakes in Central Finland. *Environ. Earth Sci.* 75, 1473. doi:10.1007/s12665-016-6278-x
- Kenttämies, K. 1980. The effects on water quality of forest drainage and fertilization in peatlands. The influence of man on the hydrological regime with special reference to representative and experimental basins. *Proceedings of the Helsinki symposium, June 1980. IAHS-AISH Publications No. 130: 277–284.*
- Kenttämies, K. & Mattsson, T. 2006. Metsätalouden vesistökuormitus. MESUVE-projektin loppuraportti. *Suomen ympäristö* 186. 160 s.
- Kirk, K. L. & Gilbert, J. J. 1990. Suspended Clay and the Population Dynamics of Planktonic Rotifers and Cladocerans. *Ecology* 71(5): 1741-1755.
- Kirk, J. T. O. 1994. *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems.* Cambridge University Press, Cambridge, toinen painos.
- Kløve, B. 2000. Retention of suspended solids and sediment bound nutrients from peat harvesting sites with peak runoff control, constructed floodplains and sedimentation ponds. *Boreal Environment Research* 5: 81-94.
- Koelmans, A.A. & Prevo, L. 2003. Production of dissolved organic carbon in aquatic sediment suspensions. *Water Research* 37 (9): 2217–2222.
- Koivusalo, H., Ahti, E., Laurén, A., Kokkonen, T., Karvonen, T. & Finér, L. 2007. Hydrological impacts of forest management in peatlands - a case of drainage network maintenance. *Geophysical Research Abstracts, Vol. 9, 07553, 2007.*
- 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.
- Kortelainen, P. & Saukkonen, S. 1998. Leaching of nutrients, organic carbon and iron from Finnish forestry land. *Water, Air and Soil Pollution* 105: 239–250.
- Kortelainen, P. 1999a. Occurrence of humic waters. – Teoksessa: Keskitalo, J. & Eloranta, P. (toim.) *Limnology of Humic Waters: 43–57.* Backhuys Publishers, Leiden. 284 s.
- Kortelainen, P. 1999b. Acidity and buffer capacity. – Teoksessa: Keskitalo, J. & Eloranta, P. (toim.) *Limnology of Humic Waters: 95–115.* Backhuys Publishers, Leiden. 284 s.
- Kortelainen P., Mattsson T., Finér L., Ahtiainen A., 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.
- Lammens, E.H.R.R., Geursen, J. & MacGillavry, P.J. 1987. Diet shifts, feeding efficiency, and coexistence of bream (*Abramis brama*), roach (*Rutilus rutilus*) and white bream (*Blicca bjoerkna*) in hypertrophic lakes. *Proc. V. Congr. Europ. Ichtyol. Stockholm 1985: 153-162.*
- Laudon, H., Hedtjärn, J., Schelker, J., Bishop, K., Sørensen, R. & Ågren, A. 2009. Response of dissolved organic carbon following forest harvesting in a boreal forest. *Ambio* 38 (7): 381–386.
- Liljaniemi, P., Vuori, K.-M., Ilyashuk, B. & Luotonen, H. 2002. Habitat characteristics and macroinvertebrate assemblages in boreal forest streams: relations to catchment silvicultural activities. *Hydrobiologia* 474: 239–251.
- Lind, O.T. 2003. Suspended clay's effect on lake and reservoir limnology. *Archiv fur Hydrobiologie* 139(3): 327-360.



- Ludsin, S. A., Zhang, X., Brandt, S. B., Roman, M. R., Boicourt, W. C., Mason, D. M. & Costantini, M. 2009. Hypoxia-avoidance by planktivorous fish in Chesapeake Bay: Implications for food web interactions and fish recruitment. *J Exp Mar Biol Ecol* 381: 121–131.
- Lundin, L. 1999. Effects on hydrology and surface water chemistry of regeneration cuttings in peatland forests. *International Peat Journal* 9: 118–126.
- Lundin, L. & Bergquist, B. 1990. Effects on water chemistry after drainage of a bog for forestry. *Hydrobiologia* 196: 167–181.
- Mannerkoski, H. 2012. Metsien ilmastolliset ja hydrologiset suojavaikutukset. *Silva Carelica* 57. Itä-Suomen yliopisto, Metsätieteiden osasto. Saarijärven Offset Oy, Saarijärvi. 296 s.
- Manninen, P. 1998. Effects of forestry ditch cleaning and supplementary ditching on water quality. *Boreal Environment Research* 3: 23–32.
- Mattsson, T., Finér, L., Kortelainen, P. & Sallantausta, T. 2003. Brook water quality and background leaching from unmanaged forested catchments in Finland. *Water, Air and Soil Pollution* 147: 275–297.
- Mattsson, T., Ahtiainen, M., Kenttämies, K. & Haapanen, M. 2006. Avohakkuun ja ojituksen pitkäaikaisvaikutukset valuma-alueen ravinne- ja kiintoainehuuhtoumiin. *Suomen Ympäristö* 816: 73–82.
- Mattsson, T. 2010. Export of organic matter, sulphate and base cations from boreal headwater catchments downstream to the coast: impacts of land use and climate. *Monographs of the Boreal Environment Research* No. 36. 45p.
- Marttila, H., & Kløve, B. 2010. Dynamics of erosion and suspended sediment transport from drained peatland forestry. *Journal of Hydrology* 388: 414–425.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 2000. Tuhkalannoituksen metsävaikutukset. *Metsätehon Raportti* 93. 38 s.
- Nieminen, M. & Jarva, M. 1999. Lannoitefosforin huuhtoutumiseen vaikuttavat tekijät ojitetuilla turvemilla: esimerkki fosforitaseesta kolme vuotta raakafosforilannoituksen jälkeen. Teoksessa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. *Metsätalouden ympäristökuormitus. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonanto* 745: 101–108.
- Nieminen, M. 2000. Phosphorus fertilizer leaching from drained ombrotrophic peatland forests: empirical studies and modelling. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonanto* 756: 1–50 + 4 liitettä.
- Nieminen, M. 2003. Ravinteiden ja raskasmetallien vapautuminen tuhkalannoitteista. *Metsätehon raportti* 155: 1–20.
- Nieminen, M. 2004. Export of Dissolved Organic Carbon, Nitrogen and Phosphorus Following Clear-Cutting of Three Norway Spruce Forests Growing on Drained Peatlands in Southern Finland. *Silva Fennica* 38(2): 123–132.
- Nieminen, M. 2005. Suometsien lannoituksen vaikutus fosforin huuhtoutumiseen. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). *Suosta metsäksi - Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947: 259–265.
- Nieminen, M. & Ahti, E. 2005. Hakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus huuhtoumiin. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M., Murtovaara, I. (toim.). *Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947: 254–258.
- Nieminen, M., Ahti, E., Nousiainen, H., Joensuu, S. & Vuollekoski, M. 2005. Does the use of riparian buffer zones in forest drainage sites to reduce the transport of solids simultaneously increase the export of solutes? *Boreal Environment Research* 10: 191–201.



- Nieminen, M., Ahti, E., Joensuu, S., Koivusalo, H., Piirainen, S. & Tattari, S. 2008. Fosforin huuhtoutumista säätelevät prosessit metsävaluma-alueilla. *Vesitalous* 6: 9–11.
- Nieminen, M., Ahti, E., Koivusalo, H., Mattsson, T., Sarkkola, S. & Laurén, A., 2010. Export of suspended solids and dissolved elements from peatland areas after ditch network maintenance in South-Central Finland. *Silva Fenn* 44, 39–49. doi:10.14214/sf.161
- Nieminen, M., Sarkkola, S. & Laurén, A., 2017a. Impacts of forest harvesting on nutrient, sediment and dissolved organic carbon exports from drained peatlands: A literature review, synthesis and suggestions for the future. *For. Ecol. Manag.* 392, 13–20. doi:10.1016/j.foreco.2017.02.046
- Nieminen, M., Sallantausta, T., Ukonmaanaho, L., Nieminen, T.M. & Sarkkola, S., 2017b. Nitrogen and phosphorus concentrations in discharge from drained peatland forests are increasing. *Sci. Total Environ.* 609, 974–981. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.07.210
- Nieminen, M., Sallantausta, T., Ukonmaanaho, L., Nieminen, T.M. & Sarkkola, S. 2017c. Nitrogen and phosphorus concentrations in discharge from drained peatland forests are increasing. *Science and Total Environment* 609:974-981.
- 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.
- Niemistö, J. 2008. Sediment resuspension as a water quality regulator in lakes. Helsingin yliopisto, väitöskirja.
- Palviainen, M., Finér, L., Kurka, A.-M., Mannerkoski, H., Piirainen, S. & Starr, M. 2004. Decomposition and nutrient release from logging residues after clear-cutting of mixed boreal forest. *Plant and Soil* 263: 53–67.
- Pekcan-Hekim, Z. 2007. Effects of turbidity on feeding and distribution of fish. Helsingin yliopisto. ISBN 978-952-92-2127-1
- Piirainen, S. 2000. Huuhtoumat tuhkalannoitetuilta turvemailta. *Metsätehon raportti* 90: 1–20 + 2 liitettä.
- Piirainen, S., Finér, L., Mannerkoski, H. & Starr, M. 2002. Effects of forest clear-cutting on the carbon and nitrogen fluxes through podzolic soil horizons. *Plant and Soil* 239: 301–311.
- Piirainen, S. 2007. Päätehakuun ja maanmuokkauksen vaikutus metsän vesi- ja ravinnevirtoihin. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2007: 302-306.
- Piirainen, S., Domisch, T., Moilanen, M. & Nieminen, M. 2013. Long-term effects of ash fertilization on runoff water quality from drained peatland forests. *Forest Ecology and Management* 287: 53-66.
- Pilla, R. M., Williamson, C. E., Zhang, J., Smyth, R. L., Lenters, J. D., Brentrup, J. A., ... & Fisher, T. J. 2018. Browning-related decreases in water transparency lead to long-term increases in surface water temperature and thermal stratification in two small lakes. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 123(5), 1651-1665.
- Porvari, P. 2003. Sources and fate of mercury in aquatic ecosystems. *Monographs of the Boreal Environment Research* No. 23, p. 52.
- Päivänen, J. 2007. Suot ja suometsät – järkevän käytön perusteet. *Metsäkustannus* 368 s.
- Päivänen, J. & Sarkkola, S. 2000. The effect of thinning and ditch network maintenance on the water table level in a Scots pine stand on peat soil. *Suo – Mires and Peat* 51: 131–138.
- Päivänen, J. & Hånell, B., 2012. *Peatland Ecology and Forestry – a Sound Approach*. University of Helsinki Department of Forest Sciences Publication 3, Helsinki, Finland.



- 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.
- Rask, M., Viljanen, M. & Sarvala, J. 1999. Humic lakes as fish habitats. –Teoksessa: Keskitalo, J. & Eloranta, P. (toim.) *Limnology of humic waters*, 209-224. Backhyus Publishers, Leiden.
- Reid, G.K. 1961. *Ecology of inland waters and estuaries*. Reinhold Publishing Corporation, New York, p 375
- Rosén, K. & Lundmark-Thelin, A. 1987. Increased nitrogen leaching under piles of slash – a consequence of modern forest harvesting techniques. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2: 21–29.
- Ryder, R.A. & Pesendorfer, J. 1989. Large rivers are more than flowing lakes: a comparative review. In: Dodge DP (ed) *Proceedings of the international large river symposium*. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Science, vol 106, pp 65–85
- Räike, A., Taskinen, A. & Knuuttila, S. 2019. Nutrient export from Finnish rivers into the Baltic Sea has not decreased despite water protection measures. *Ambio* (2019). <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01217-7>
- Sallantausta, T., Vasander, H. & Laine, J. 1998: Metsätalouden vesistöhaittojen torjuminen ojitetuista soista muodostettujen puskurivyöhykkeiden avulla. –*Suo* 49(4): 125–133.
- 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. *Science of the Total Environment* 408: 92–101.
- Sarkkola, S., Hökkä, H., Koivusalo, H., Nieminen, M., Ahti, E., Päivänen, J., ym. 2010. Role of tree stand evapotranspiration in maintaining satisfactory drainage conditions in drained peatlands. *Canadian Journal of Forest Research* 40:1481–1496.
- Sarkkola, S., Hökkä, H., Ahti, E., Koivusalo, H. & Nieminen, M. 2012. Depth of water table prior to ditch network maintenance is a key factor for tree growth response. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27, 1–10.
- Sarkkola S., Hökkä, H., Jalkanen, R., Koivusalo, H. & Nieminen, M. 2013. Kunnostusojitustarpeen arviointi tarkentuu – puuston määrä tärkeä ojituskriteeri. *Metsätieteen aikakauskirja* 2: 159-166.
- Schindler, D.W. 2006. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnology and Oceanography* 51: 356–363.
- Sepp, M., Kõiv, T., Nõges, P. & Nõges, T. 2018. Do organic matter metrics included in lake surveillance monitoring in Europe provide a broad picture of brownification and enrichment with oxygen consuming substances? *Science of the Total Environment* 610-611: 1288-1297.
- Seuna, P., 1981. Long-term influence of forestry drainage on the hydrology of an open bog in Finland. *Vesihallitus*. National Board of Waters.
- Silfverberg, K. 1996. Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized drained peatlands in Finland. *Finn. Forest Res. Inst. Res. Pap.* 588, 27.
- Silvan, N., Vasander, H., Karsisto, M. & Laine, J. 2003. Microbial immobilization of added nitrogen and phosphorus in constructed wetland buffer. –*Applied Soil Ecology* 24: 143-149.
- Silver, T. & Saarinen, M. 2007. Lentoleivityksen tarkkuus ojitusalueiden terveyslannoituksissa (Summary: The accuracy of aerial spreading of repair fertilization on drained peatlands). *SUO* 58: 63–70.
- Smith, V. H. 2003. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems – a global problem. *Environmental Science and Pollution Research* 10: 126–139.



- Sutela, T., Olin, M., Vehanen, T. & Rask, M. 2007. Hajakuormituksen vaikutukset järvien ja jokien kalastoon ja ekologiseen tilaan. Kala- ja riistaraportteja 411. 36 s.
- Tulonen, T., Ollila, S. & Arvola, L. 2000. Tuhkalannoituksen vesistövaikutukset. Metsätehon raportti 87. 43 s.
- Tulonen, T., Arvola, L., Pihlström, M., Mäkinen, A., Rummukainen, P. & Rask, M. 2003. Tuhkalannoituksen vaikutus metsäjärvisä. Metsätehon raportti 146. 31 s.
- Vuori, K.-M., Joensuu, I. & Latvala, J. 1995. Metsäojitusten vaikutukset veden laatuun, pohjaeläimistöön ja taimenen ravintoon Isojoen vesistössä. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.) Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2: 265–279.
- Vuorinen, P.J., Vuorinen, M., Peuranen, S. & Tigerstedt, C. 1995. Veden rauta-, alumiini- ja humuspitoisuuden sekä happamuuden vaikutukset harjukseen ja taimeneen laboratoriokeissa. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.) Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE projektin loppuraportti. Suomen Ympäristö 2: 297–312.
- Väänänen, R., Kenttämies, K., Nieminen, M. & Ilvesniemi, H. 2007. Phosphorus retention of forest humus layer in buffer zones and clear-cut areas in southern Finland. –Boreal Environment Research 12: 601-609.
- Wahlström, E., Hallanaro, E.-L. & Manninen, S. 1996: Suomen ympäristön tulevaisuus. Edita, Suomen Ympäristökeskus, Helsinki.
- Wallage, Z.E., Holden, J. & McDonald, A.T. 2006. Drain blocking: An effective treatment for reducing dissolved organic carbon loss and water discolouration in a drained peatland. *Sci. Total Environ.* 367, 811–821. doi:10.1016/j.scitotenv.2006.02.010
- Wetzel, R. G. 2001. *Limnology. Lake and River Ecosystems*. Elsevier Academic Press, kolmas painos, 1006 s.
- Weyhenmeyer, G. A., Muller, R. A., Norman, M. & Tranvik, L. J. 2016. Sensitivity of freshwaters to browning in response to future climate change. *Climate Change* 134: 225-239.
- Åström, M., Aaltonen, E.-K. & Koivusaari, J., 2001. Effect of ditching operations on stream-water chemistry in a boreal forested catchment. *Sci. Total Environ.* 279, 117–129.





## 5 Tiivistelmä

### 5.1. Monimuotoisuus vaarassa etenkin rehevillä Etelä-Suomen soilla

Sekä suolajiston että -luontotyyppien uhanalaisuuden arviointi osoittaa, että suoluontoon liittyy selvä monimuotoisuuden vähenemisen riski, joka on voimakkain ravinteikkailla suoluontotyypeillä. Etelä-Suomen tilanne on selvästi Lappia heikompi. Uhanalaisia suolajeja on 120, joista lähes puolet elää ensisijaisesti letoilla. Lukumääräisesti Punaisen listan suolajeissa on eniten perhosia ja kaksisiipisiä.

Monimuotoisuuden köyhtymisen merkittävimpanä syynä on soiden metsäojitus, jonka seurauksena vedenpinnan lasku tasoittaa kasvupaikan sisäisiä ja kasvupaikkojen välisiä hydrologisia eroja. Ojitus hävittää suon keskeisimmät toiminnalliset piirteet, luontaisen vesitalouden ja turpeenmuodostuksen ja aiheuttaa sukkession kohti metsäkasvillisuutta.

Ojituksen jälkeisen muutoksen nopeus riippuu mm. suon ravinteisuudesta ja märkyydestä sekä ojituksen tehosta ja puuston kasvusta. Kuivahkoilla ja karuilla soilla suolajistoa voi säilyä pitkäänkin ojituksen jälkeen, kun taas märemmät ja rehevämmät suot muuttuvat nopeammin ja perusteellisemmin.

### 5.2. Monimuotoisuutta luonnonhoidolla, suojelulla ja ennallistamisella

Turvekankaat ovat metsäluonnon uusympäristö, joiden määrä on viime vuosikymmeninä kasvanut lähes kolmeen miljoonaan hehtaariin. Vain hyvin pienellä osalla (alle 1 %) turvekankaista puustorakenne on arvioitu luonnontilaiseksi tai luonnontilaisen kaltaiseksi. Soveltamalla talousmetsien luonnonhoidon keinovalikoimaa sekä monipuolisia metsänkasvatustapoja voidaan kuitenkin ojitetujen turvemaiden talousmetsissä hoitaa ainakin metsäluonnon, muttei enää niinkään suoluonnon monimuotoisuutta.

Mikäli jatkuvan kasvatuksen käyttö yleistyy nimenomaan suometsissä, se tarkoittaa suometsille korostunutta roolia jatkuvapeliteisyydestä hyötyvän metsälajiston turvaajana. Metsäkanalinnut ovat hyvä esimerkki todennäköisistä hyötyjistä.

Metsätaloustalouteen soveltumattomien ojitetujen soiden monimuotoisuus hyötyy eniten ennallistamisesta ja seuraavaksi eniten puubiomassan korjuusta. Myös nykytilaan jättäminen lisää suolajistolle sopivien elinympäristöjen määrää etenkin pitkällä aikavälillä. Metsätalouden tehostamisen skenaario heikentää selkeästi suokasveille sopivien elinympäristöjen määrää

Soidensuojelun tavoitteena on vesitaloudeltaan ehyiden kokonaisuuksien säilyttäminen. Erityisen haitallinen on yläpuolinen ojitus, joka katkaisee vesien virtauksen sekä kuivattaa ja karuunnuttaa alapuolista suojelusota. Ojitetujen soiden kunnostusojitukset, hakkuut ja maanmuokkaukset tulisi suunnitella siten, että vältetään muutokset ojittamattomien soiden vesitaloudessa.



### 5.3. Soiden suojeleminen

Ensimmäiset soidensuojeluohjelmat valtion maille valmistuivat 1960 – luvulla. Soidensuojelun perusohjelmaan (Soidensuojelun perusohjelma I ja II, 1977 ja 1980) sisältyi noin 600 000 hehtaaria. Tänäpäin suoalasta on suojeltu noin 13 %, pääosin Pohjois-Suomessa. Koko soiden suojelualue on tällä hetkellä noin 1,2 miljoonaa hehtaaria. Suojelu on toteutettu soidensuojelun perusohjelman kautta 1980-luvulta alkaen kansallispuistoina, erämaa-alueiden perustamisen yhteydessä ja Natura 2000-ohjelman kautta.

Soidensuojelun täydennysohjelmaehdotus valmistui vuonna 2015, mutta sen toteutus ei ole merkittävästi edennyt yksityismaiden osalta (toteutettu 4000 ha, tavoite 80 000 ha). Ohjelman toteutuksen jatkaminen sisältyy kuitenkin Suomen nykyisen hallituksen ohjelmaan. Soiden suojelualueet Suomessa (13%)

Ennallistamisella on tarkoitus turvata soiden monimuotoisuutta sekä suojelualueilla että niiden ulkopuolella. Ennallistaminen toteutetaan pääosin puiden poistamisella ja ojien patoamisella ja tukkimisella. Suojelualueiden soita on ennallistettu n. 27 000 ha, tavoitteena on ennallistaa 15 000 lisähehtaaria.

Soiden suojelun tavoitteena on turvata luonnontilaisten soiden säilyminen ja toteuttaa suometsien luonnonhoitoa avohakkuita välttämällä.

### 5.4. Ojitus muuttaa hydrologiaa

Uudisojituksen hydrologiset vaikutukset riippuvat soiden ominaisuuksista, kuten puuston määrästä, turvelajista ja turpeen läpäisevyydestä, ojien syvyydestä ja sijoittumisesta, sekä ojitusalueen sijainnista valuma-alueella. Vesitase palautuu uudisojituksen jälkeen vähitellen, kun kehittyvän puuston haihdunta alkaa säädellä pohjaveden pintaa.

Ojien kunnostamisen aiheuttamat muutokset ovat vähäisempiä. Merkittävin tekijä on kiintoainekuormitus. Kunnostusten vaikutus kiintoainepitoisuuksiin vaihtelee riippuen topografiasta, maalajista ja sääoloista.

### 5.5. Päätehakkuit lisäävät päästöjä, lannoituksen merkitys pienempi

Päätehakkuit ja niiden yhteydessä tehtävä maanmuokkaus lisäävät väliaikaisesti vesistöihin kohdistuvaa kiintoaine- ja ravinnekuormitusta. Harvennushakkuiden on sen sijaan oletettu vaikuttavan melko vähän kiintoaine- ja ravinnehuuhtoumiin

Turvemaiden avohakkuit lisäävät merkittävästi liuenneen orgaanisen hiilen ja typen eri fraktioiden huuhtoutumista. Päätehakkuiin seurauksena typen ja fosforin huuhtoutuminen voi lisääntyä etenkin



karuilla soilla. Rehevämmillä soilla hakkuutähteistä vapautuvaa fosforia sitoutuu maaperän raudan ja alumiinin kanssa.

Tuhkalannoitusten ei ole todettu aiheuttavan fosforin, typen, raskasmetallien tai orgaanisen hiilen merkittävää huuhtoutumista valumavesiin Rikin, kaliumin, natriumin, kloridin ja mangaanin pitoisuudet valumavesissä on kuitenkin todettu lannoittamattomia alueita korkeammiksi. Turvemailla on käytetty PK-lannoitetta, johon on lisätty rautaa. Rautayhdisteet sitovat fosforia ja estävät sen huuhtoutumista. Yleisimmin käytetyssä helikopterileivityksessä vajaat 3 % lannoitteesta päätyy ojiin.

## 5.6. Vesistökuormitus heikentää vesien ekologista ja kemiallista tilaa

Vesistöjen ekologisen tilan luokittelussa tarkastellaan ihmistoiminnan vaikutusta vastaanottavan vesistön eliöstöön, kasvillisuuteen, ravinteisuuteen, happamuuteen, näkösyvyyteen sekä hydromorfologisiin tekijöihin kuten talvialenemaan ja vaellusesteisiin. Kemiallisen tilan arvioinnissa verrataan vesissä olevien vaarallisten ja haitallisten aineiden pitoisuuksia lainsäädännössä asetettuihin ympäristölaatuunormeihin.

## 5.7. Kiintoaine liettää ja samentaa vesistöjä

Samentuminen muuttaa merkittävästi järviökosysteemin toimintaa, sillä se vaikuttaa pohjien liettymisen lisäksi ravinteiden kiertoon, perustuotantoon, valaistun kerroksen syvyyteen sekä eläinplanktonin ja kalojen saalistustehokkuuteen. Veteen liuenut kiintoaine absorboi auringonsäteiden lämpöenergiaa ja nostaa veden lämpötilaa.

## 5.8. Ravinnekuormitus lisää kasviplanktonituotantoa ja vesikasvillisuuden leviämistä

Ihmistoiminnan aiheuttama ravinnekuormitus ja siitä seuraava rehevöityminen ovat suurimpia makean veden ekosysteemejä uhkaavia ongelmia. Typpi ja etenkin fosfori ovat tärkeimmät ravinteet, jotka säätelevät järvien perustuotannon tasoa.

## 5.9. Humuskuormitus vaikuttaa vesistön lämpötilaan ja happitalouteen

Humuksen ja orgaanisen hiilen huuhtoutuminen on sitä suurempaa, mitä suurempi on turvemaiden osuus valuma-alueen pinta-alasta. Humusyhdisteiden ja liunneen orgaanisen hiilen aiheuttama veden tummuminen vaikuttaa kaikkiin järvissä eläviin eliöihin. Humus muuttaa veden valaistusolosuhteita, lämpötilaa ja happipitoisuutta.



## 5.10. Käytössä olevilla vesiensuojelumenetelmillä ehkäistään lähinnä kiintoaineen ja siihen sitoutuneiden ravinteiden kuormitusta

Laskeutusaltaassa veden virtausnopeus hidastuu ja kiintoainetta laskeutuu altaan pohjalle. Altailla voidaan poistaa kiintoaineesta keskimäärin 30 %. Etenkin orgaanista kiintoainetta on vaikea pidättää laskeuttamalla, koska se on kevyttä. Lietekuoppien tavoitteena on pidättää pohjakulkeumana liikkuvaa karkeaa kiintoainetta. Suojavyöhykkeillä valumavesien ravinteet pidättyvät sekä maaperään että kasvillisuuteen. Pintavalutuskentillä pidätetään valumavesiin huuhtoutunut kiintoaine ja ravinteet maaperään ja kasvillisuuteen. Kaivu- ja perkauskatkot ovat pienimuotoisia pintavalutuskenttiä, muutaman metrin pituisia kaivamattomia osuuksia. Putkipatojen on havaittu pidättävän tehokkaasti (81–90 %) ojitusten seurauksena vapautuvaa kiintoainesta.

## 5.11. Peitteinen metsänkasvatus ehkäisee eroosiota

Koska vesiensuojelurakenteet pystyvät poistamaan vain osan kiintoaineksestä, vesiensuojelun tehostamiseksi on tärkeää jättää ojat perkaamatta tapauksissa, jolloin puuston haihdunta riittää ylläpitämään riittävää kuivatustilaa. Puuston kasvulle sopivaksi kuivatustilaksi on arvioitu loppukesän keskimääräisillä sääolosuhteilla 30–40 cm syvyydellä oleva pohjavedenpinnantas, jolloin puusto ei kärsi liiasta kosteudesta ja hapettomista olosuhteista. On arvioitu, että 120–150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> puusto riittäisi ylläpitämään vesitaloutta, vaikka ojat olisivat huonossa kunnossa.

## 5.12. Metsätaloudesta aiheutuva vesistökuormitus suurempaa kuin aiemmin on arvioitu

Metsätalouden kuormitus on viimeisimmissä tutkimuksissa havaittu suuremmaksi, kun verrataan ominaiskuormituslukujen perusteella arvioituun kuormitukseen. Aiemmissa laskelmissa ei ole huomioitu mm. uudisojituksen vaikutusta.

Metsistä ja soilta tulevassa typpikuormituksessa on havaittu myös nouseva trendi johtuen todennäköisesti ilmaston lämpenemisestä ja ojituksista sekä muista metsätalouden toimenpiteistä. Typpipitoisuuden nousu korreloi orgaanisen hiilen pitoisuuksien kanssa. Orgaanisen hiilen pitoisuuksissa trendi on ollut kasvava lähes kaikilla näytealueilla.

Lämpötila on noussut keskimäärin 2 °C muutamassa vuosikymmenessä kaikilla kohteilla, mikä on kiihdyttänyt hajoamisprosesseja ja typen ja hiilen vapautumista orgaanisesta aineesta.

Metsätalouden typpihuuhtouma on kuitenkin vain vajaat 20 % luonnonhuuhtoumasta.



Maistraatinportti 4 A

00240 Helsinki

[tapio@tapio.fi](mailto:tapio@tapio.fi)

[www.tapio.fi](http://www.tapio.fi)