



# Turvetuotannon kuormitus

Kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arvio turvetuotannon vesistökuormitukseen vaikuttavista tekijöistä



## **Turvetuotannon kuormitus -**

*Kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arvio turvetuotannon vesistökuormitukseen vaikuttavista tekijöistä*

Björn Klöve<sup>1</sup>, Tapio Tuukkanen<sup>1</sup>, Hannu Marttila<sup>1</sup>, Heini Postila<sup>1</sup> ja Kaisa Heikkinen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Oulun yliopisto,  
Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorio  
[www oulu.fi/poves](http://www oulu.fi/poves)

<sup>2</sup>Suomen ympäristökeskus (SYKE),  
Vesikeskus/Vesienhoitoyksikkö, Oulu  
[www syke.fi](http://www syke.fi)

Kansikuva: Björn Klöve / Sanginjoki  
Ulkoasu ja taitto: Juha Paakkolanvaara  
Paino: Kopijyvä, Jyväskylä 2012

ISBN 978-952-257-505-0 (PDF)  
ISBN 978-952-257-506-7 (painettu)

# Alkusanat

Tässä raportissa selvitetään jo olemassa olevan tiedon avulla turvetuotantoalueen vesistökuormitukseen vaikuttavia tekijöitä. Raportti on pääasiassa yhteenveto aiemmista tutkimuksista. Katsauksessa kuormitukseen vaikuttavia tekijöitä ja niiden merkitystä arvioidaan raportin laatineiden tutkijoiden aiempien töiden ja näkemysten pohjalta. Raportin tavoitteena on koota yhteen aiempaa tietoa ja analysoida tämä uudestaan, ja siten tuottaa uutta tietoa.

Tehdyn yhteenvedon rahoittaa Keski-Suomen ELY-keskuksen koordinoima TASO-hanke (tässä esitetyn katsauksen laajuus on 1-2 henkilötyökuukautta). Tässä esitettyjä aiempia tutkimuksia ovat rahoittaneet mm. Vapo Oy (TuVeKu-hanke), Suomen Akatemia (tutkijakoulu RYM-TO ja ModStream hanke) ja Euroopan aluekehitysrahasto (TuKos-hanke).

Oulussa, 21.12.2011

# Sisällysluettelo

Alkusanat.....	3
1 Johdanto.....	5
2 Ilmasto-olosuhteiden ja maatieteellisen sijainnin vaikutus kuormitukseen.....	6
3 Turvetuotannon ojituksen aiheuttamat muutokset	
suon hydrologiassa ja kuormituksessa.....	8
3.1 Ojituksen vaikutukset suon hydrologiaan.....	8
3.2 Ojituksen vaikutukset kuormituksen syntyyn.....	10
3.2.1 Kiintoainekuormitus.....	10
3.2.2 Ravinnekuormitus.....	12
3.2.3 Liuennut orgaaninen aines.....	14
3.2.4 Raudan huuhtoutuminen.....	15
3.2.5 Turvetuotantoalueiden valumavesien happamuus.....	16
4 Suotyypin, turpeen fysikaalisten ominaisuuksien	
ja pohjamaan laadun vaikutukset kuormitukseen.....	17
4.1 Luonnontilaisen suon humusaineiden huuhtoutumismekanismi.....	17
4.2 Pohjamaan laadun vaikutus huuhtoumaan.....	17
4.3 Turpeen laadun vaikutus huuhtoumaan.....	18
5 Turpeennoston eri toimenpiteiden vaikutukset kuormitukseen.....	20
6 Turvetuotannon vesienkäsittelymenetelmien vaikutus kuormitukseen.....	22
Lähdeluettelo.....	24

# 1 Johdanto

Turvetuotanto kuormittaa vesistöjä ravinteilla, raudalla, kiintoaineella ja humuksella. Kuormituksen suuruus vaihtelee paikallisesti ja ajallisesti suon ominaisuuksien, ilmaston ja hydrologisten tekijöiden johdosta. Kuormitus johtuu useista tekijöistä, joista kaikkia ei vielä tunneta riittävän hyvin. Tässä raportissa tarkastellaan erityisesti:

1. Suomen erilaisten ilmasto-olojen (Pohjois-Suomi verrattuna Etelä-Suomi) vaikutusta hydrologiaan ja kuormitukseen,
2. kuormituksen muodostumiseen vaikuttavia tuotantoalueen ja maaperän ominaisuuksia,
3. turvetuotantotapojen vaikutusta kuormitukseen sekä
4. vesiensuojelumenetelmien vaikutusta suolta lähtevään kuormitukseen. Esitetyt arviot perustuvat aiempiin tutkimustuloksiin sekä tutkijaryhmän arviointeihin.

## 2 Ilmasto-olosuhteiden ja maantieteellisen sijainnin vaikutus kuormitukseen

Turvetuotantoalueen maantieteellisellä sijainnilla ja alueen ilmasto-olosuhteilla on vaikutusta turvetuotannon kuormituksen muodostumiseen. Alueen sijainti vaikuttaa mm. siihen, miten turvetuotantoalueiden valunta ja kuormitus jakaantuvat eri vuodenajoille. Etelä-Suomessa vuotuisesta valumasta tulee talvella suurempi osuus kuin Pohjois-Suomessa. Pöyry Environment Oy:n (Pekkala 2009) tekemän vesistökuormitusselvityksen mukaan Etelä-Suomen turvetuotantoalueiden valumasta miltei puolet tulee talvella. Tämä johtuu mm. siitä, että Etelä-Suomessa talvikautena suurempi osa sadanasta tulee vetenä kuin Pohjois-Suomessa. Pohjois-Suomessa vastaavasti kevätvalunnan osuus on selvästi suurempi kuin Etelä-Suomessa. Tulevaisuudessa yhä suurempi osa valumasta ja siten myös kuormituksesta saattaa tulla myöhäissyksyllä ja talvella, koska ilmastonmuutosskenaarioiden mukaan sekä syysvalunnan että talvivalunnan ennustetaan kasvavan (Pirkanmaan ympäristökeskus 2009).

Pohjois-Suomessa vuosivalunnat ovat Pekkalan (2009) tekemän tarkastelun mukaan kokonaisuudessaan jonkin verran suurempia kuin Etelä-Suomessa, mikä selittyy sillä, että vuosihaihdunta on pohjoisessa selvästi vähäisempää. Kantosen (2011) tekemän tarkastelun perusteella, jossa mukana oli kohteita Pohjois-Suomen alueelta ja Etelä-Suomeen sisältyvän Länsi-Suomen alueelta, ei vastaavaa eroa havaittu, vaan vuoden keskivaluma oli Länsi-Suomessa jopa hieman suurempi. Tähän eroon eri selvitysten välillä vaikuttanee osaltaan mm. se, että mukana on ollut eri kohteita ja eri tarkkailuvuosia. Vuosikuormituksessa on Pekkalan (2009) selvityksen mukaan havaittavissa sama ilmiö kuin valunnassakin. Eli Etelä-Suomessa suurempi osa vuosikuormituksesta tulee talvella kuin

Pohjois-Suomessa ja Pohjois-Suomessa taas kevään osuus vuosikuormituksesta on selvästi suurempi kuin Etelä-Suomessa. Perustason vesienkäsittelyllä (laskeutusaltaat) varustettujen tuotantovaiheen kohteiden keskimääräiset kuormitukset ovat tehdyn selvityksen (Pekkala 2009) mukaan suurempia Pohjois-Suomessa kuin Etelä-Suomessa. Suurempaa ravinnekuormitusta selittänee suurempi valunta, sillä lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuudet ovat olleet samalla tasolla sekä Pohjois- että Etelä-Suomessa ja kokonaistyyppipitoisuudet Etelä-Suomessa keskimäärin jopa korkeampia kuin Pohjois-Suomessa. Kiintoainepitoisuudet ovat kuitenkin Pohjois-Suomessa olleet Etelä-Suomea korkeampia perustason vesienkäsittelyllä varustetuilla turvetuotantoalueilla.

Etelä-Suomen korkeammat tyyppipitoisuudet selittyvät osaltaan suuremmalla ilmaperäisellä typpilaskeumalla (Pekkala 2009). Tuukkasen ym. (2011) tutkimuksessa turvetuotantoalueen valumaveden  $COD_{Mn}$  ja kokonaisfosforipitoisuudet olivat 22 suota käsittävässä aineistossa keskimäärin suurempia Etelä-Suomessa kuin Pohjois-Suomessa. Fosforin ja humuksen ( $COD_{Mn}$ ) huuhtoutumiseen voivat maantieteellisen sijainnin taustalla vaikuttaa alueelliset erot lämpötilassa, valumaveden happamuudessa, valunnan muodostumisessa sekä soiden geologiassa.

Niillä tuotantovaiheen turvetuotantoalueilla, joilla on käytössä pintavalutuskenttä, kuormitukset ovat pienempiä Pohjois-Suomessa kuin Etelä-Suomessa, vaikka keskivalumat ovat Pohjois-Suomessa keskimäärin korkeampia, sillä Pohjois-Suomen pintavalutuskentällisiltä alueilta lähtevän veden pitoisuudet ovat pienempiä (Pekkala 2009). Myös Kantosen (2011) tekemän tilastollisen tarkastelun perusteella näyttäisi siltä,

että pintavalutuskentiltä tai muilta kosteikoilta lähtevät kuormitukset pienenevät pohjoiseen päin mentäessä. Tähän tilanteeseen osaltaan vaikuttaa se, että Pohjois-Suomessa pintavalutuskenttäkäyttöön on voitu ottaa soveltuvampia alueita, kun Etelä-Suomen alueella on jouduttu useammin tyytymään esim. metsälannoitettuihin, ojitettuihin tai suositusta pienempiin alueisiin (Pekkala 2009). Kantosen (2011) käyttämässä aineistossa kyseinen perustelu ei kuitenkaan suoraan päde, sillä Pohjois-Suomen vesiensuojelukosteikoista suurempi osuus on suositusta pienempiä ja toisaalta Pohjois-Suomen tarkastelussa mukana olevista kosteikoista suurempi osuus on perustettu ojitetulle alueelle kuin tarkastelussa mukana olevista Länsi-Suomen kohteista. Tietoa siitä, mitkä kohteet on perustettu aiemmin metsälannoitetulle alueelle, ei ole.

*Savalonnevan turvetuotantoalueen pumppausallas syksyllä 2010. Kuva: Heini Postila*



# 3 Turvetuotannon ojituksen aiheuttamat muutokset suon hydrologiassa ja kuormituksessa

Tässä osiossa läpikäydään ojituksen aiheuttamat muutokset suon hydrologiassa ja kuormituksessa. Osio perustuu kirjallisuudesta saatavaan tietoon sekä asiantuntija-arvioon tuotantoalueella tapahtuvista prosesseista. Pääpaino on turvetuotannon vaikutuksissa, mutta kirjallisuustietoja etenkin suometsätalouden hydrologisista vaikutuksista käytetään hyväksi arvioitaessa turvetuotannon vaikutuksia.

## 3.1 Ojituksen vaikutukset suon hydrologiaan

Luonnontilaisten soiden pintaturve on usein vedellä kyllästynyt; veden pinta ulottuu suon ylimpiin kerroksiin eikä pohjavedenkorkeus vaihtelee suuresti. Johtuen elävästä ja vähän maatuneesta turpeesta, suon ylimmässä kerroksessa veden johtavuus on suurimmillaan ja valumavedet purkautuvat nopeasti pintakerroksia pitkin vesistöihin. Valuntahuiput luonnontilaiselta suolta ovat tavallisesti suuria syksyisin ja keväisin kun haihdunta on vähäistä ja suo on vedellä kyllästynyt. Luonnontilaiset suot toimivat harvoin varsinaisina vesivarastoina sateiden yhteydessä (Clymo 1987). Soiden vesivarasto tasaa alivaluntaa (Kværner ja Klöve 2008).

Turvemaiden ojituksilla on lyhyt- ja pitkäaikaisvaikutuksia suon hydrologiaan siten, että paikalliset ominaisuudet määrittelevät vaikutusten suuruuden ja keston. Yleisesti ottaen ojitus aiheuttaa suon hydrologiassa kaksi suurta muutosta (Holden 2009): 1) veden suotautuminen maaperässä ohjautuu kuivatusojiin ja pohjaveden pinta laskee suon maatuneisiin kerroksiin lisäten maaperän varastokapasiteettia; 2) valunta kulkeutuu nopeammin pois ojitusalueelta, koska pintavalunta ohjautuu suoraan ojiin ja osa sadan-

nasta sataa suoraan ojaverkostoon. Ojituksen vaikutukset eri alueilta tuleviin valuntapiikkeihin ovat seurausta näiden prosessien yhteisvaikutuksista. Suon pintakerroksen kuivuminen lisää suon vedenvarastointikykyä, pienentäen kuivalla kaudella valuntahuippuja. Toisaalta haihdunta kuivalta tuotantopinnalta on vähäisempää, jolloin vuosivalunta voi kasvaa. Ojituksen vaikutukset kokonaisvesitaseeseen ovat kuitenkin yleensä pieniä. Suurin muutos suon hydrologiassa kuivatuksen jälkeen ovat veden muuttuneet suotautumisreitit (Francis & Taylor 1989 Burt 1995, Dunn & Mackay 1996, Klöve 1997).

Itse vesitaseessa tapahtuu harvoin muutoksia, elleivät kuivatusojat ulotu turpeen alla oleviin mineraalimaakerrostumiin (Hynninen 1988, Rossi ja & Klöve 2009). Ojituksen ulottuminen mineraalimaahan voi johtaa mm. runsaampaan pohjaveden purkautumiseen suoalueella. Lumen sulantaan ojitukset vaikuttavat nopeampien sulantareittien kautta. Lisäksi kasvillisuuden ja puuston poistaminen turvetuotantoalueelta voi aiheuttaa lumen sulannan aikaistumista. Kevätvalunta alkaa turvetuotantoalueelta aikaisemmin, mikä voi osittain tasata valuma-alueen kevätylivaluntaa.

Soiden kuivatustoimet synnyttävät suoraa kulkuväyliä valumavesille (Conway & Miller 1960, Korkalainen ym. 2006) ja muuttavat pintaturvekerrosten ominaisuuksia. Aikaisemmissa tutkimuksissa turveojitusten on havaittu kasvattavan valuma-alueelta tulevia valuntapiikkejä (Conway & Millar 1960, Mustonen 1964, Mustonen & Seuna 1972, Ahti 1980, Hyvärinen & Vehviläinen 1981, Seuna 1981, Robinson 1986, Sirin ym. 1991, Stewart 1991, Krug 1993, Holden ym. 2006). Toisaalta myös päinvastaisia tuloksia on raportoitu (Burke 1967, Heikurainen ym. 1978,



Newson & Robinson 1983, Burt ym. 1990, Coulson ym. 1990, Kenttämies & Saukkonen 1996). Jossain tutkimuksissa ojituksella ei ole havaittu olevan mitään vaikutusta (Prévost ym. 1998) tai vaikutukset valuntaan ovat vaihdelleen vuosittain ja valuma-alueittain (Moklyak ym. 1975, Lundin 1988). Suo-ojituksen ja kuivatuksen vaikutukset valuntaan riippuvat myös haihdunnan muutoksesta, turvelajista, hydraulisesta johtavuudesta, ennen sadantaa olevasta maakosteudesta, kuivatusojien kuljetuskapasiteetista, sadannan suuruudesta, ojitustiheydestä sekä ojitusalueen sijainnista valuma-alueella (Seuna 1981, Starr & Päivänen 1981, Robinson 1985, Kenttämies & Saukkonen 1996, Silins & Rothwell 1998, Klöve & Bengtsson 1999, Holden ym. 2004, Koivusalo ym. 2006, Ahti & Hökkä 2006).

Iritz ym. (2004) havaitsivat, että ojitusalueen pohjaveden pinnankorkeudella on suurempi vaikutus valuntaan kuin ojien lisääntyneellä kuljetuskapasiteetilla. Pohjaveden pinnan tasoon vaikuttaa puolestaan ojitustiheys siten, että sarkaleveyden pienentyessä pohjaveden pinnan etäisyys maanpinnasta kasvaa (Päivänen 1974, Hillman 1988). Valuntahuiput vesistöissä lisääntyvät, jos ojitusalue sijaitsee valuma-alueen latvoilla (Sirin ym. 1991) ja vastaavasti pienenevät ojitusalueen sijaitessa lähellä valuma-alueen purkautumiskohtaa (Mustonen & Seuna 1971). Tämän lisäksi valuma-alueen muoto vaikuttaa valuntapiikkeihin. Ojituksen vaikutukset alivirtaamiin ovat selkeämmät. Tyypillisesti suo-ojitukset lisäävät kesäisiä ja talvisia alivirtaamia (Mustonen & Seuna 1971, Heikurainen ym. 1978, Ahti 1980, Prévost ym. 1998). Toisaalta ojitukset voivat johtaa valumien äärevöitymiseen ja kuivina kausia alivirtaamien pienenemiseen esim. latvapuroissa.

Lisääntynyt riski ylivirtaamien piikikkyyteen ojitusalueilla aiheuttaa lisääntyntä riskiä etenkin eroosiolle ja kiintoaineen kulkeutumiselle alapuolisiin vesistöihin. Ojitusalueiden valunta reagoi nopeasti äkillisiin suuriin sadantoihin, mikä johtuu niiden pienestä varastotilavuudesta sekä lyhyistä valunta reiteistä. Tuotannon edistyessä turvetuotantoalueilla, turvekerroksen pienenemässä sekä turpeen tiivistyessä ja kuivuessa alivalumat ja kokonaisvalunta vähenevät ja pintavalunta lisääntyy, jolloin huomattavan suuret ylivalumat ovat mahdollisia (Sallantaus 1983). Aikaisempia mittauksia valunnasta on käsiteltävä varoen, sillä ylivirtaamien mittaaminen suolla on vaikeaa, koska valuma-alue voi muuttua rankasateiden aikana ja mittapadot voivat padottaa. Valuntaan turvetuotantoalueelta vaikuttaa voimakkaasti suon pinnan ja turveprofiilin vedenläpäisevyys, mihin puolestaan vaikuttaa turpeen kosteus, turvelaji, tiheys sekä maatumisaste. Uusilla turvetuotantoalueilla suurimmat valunnat tapahtuvat yleensä lumensulannan yhteydessä, kun vanhoilla alueilla kesäsateetkin aiheuttavat suuria valumia. Vastaavasti minimivalunnat ovat uusilla tuotantoalueilla suurempia kuin vanhoilla, mikä johtuu turpeen suuremmasta vedenjohtavuudesta ja -varastointikyvystä, ja näiden valunta tasaavasta vaikutuksesta (Klöve 2000).

Kansallinen suostrategia ohjaa turvetuotantoa aikaisemmin ojitetuille alueille (Maa- ja metsätalousministeriö 2011). On oletettavaa, että näillä alueilla muutokset valuma-alueen hydrologiaan eivät ole niin radikaaleja kuin luonnontilaiselle suolle perustettavan turvetuotantoalueen vaikutukset. Suometsätalouden tutkimuksista on selvinnyt, että kunnostusojituksen aiheuttamat muutokset suon hydrologiaan ovat pääosin pieniä (Ahti ym. 1995, Päivänen & Sarkkola 2000, Åström ym. 2001a, 2002, Joensuu 2002,

Koivusalo ym. 2008), mutta paikallisia eroja on kuitenkin esiintynyt. Aikaisemmin ojitetun alueen hyödyntäminen turvetuotantoon muuttaa alueen ominaisuuksia huomattavasti enemmän kuin suometsätalouden kunnostusojitus. Pintakasvillisuuden poistaminen, tiheämpi kuivatusojitus ja muut turvetuotannon toimenpiteet aiheuttavat todennäköisesti vastaavat muutokset suon hydrologiaan kuin aikaisemmissa kappaleissa on kuvattu. Kuitenkin verrattuna luonnontilaiseen suohon, tuotannon käynnistämisen hydrologiset vaikutukset voivat olla hieman pienempiä, koska suon turvekerrokset ovat jo muuttuneet aikaisempien ojitus-toimenpiteiden seurauksena.

## 3.2 Ojituksen vaikutukset kuormituksen syntyyn

Turvetuotannon kuormituksen määrään ja laatuun vaikuttavat useat tuotantokentän paikalliset ja alueelliset ominaisuudet, kuten suon geologinen historia, turpeen geokemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet, tuotantoalueen kosteusolosuhteet, alueen ilmasto sekä kuivatusojien kaltevuudet ja syvyydet. Vesistöön kulkeutuvan kuormituksen määrään vaikuttavat lisäksi käytettävät vesienpuhdistusmenetelmät. Tyypillisesti turvetuotannolla voi olla lisäävä vaikutus kiintoaineen, ravinteiden, orgaanisen aineksen ja raudan huuhtoumaan. Lisäksi turvetuotanto voi vaikuttaa veden happamuuteen (pH-arvoon).

### 3.2.1 Kiintoainekuormitus

Kiintoaineella tarkoitetaan vedessä hiukkasmuodossa (yli 0,45 µm) olevaa ainetta, joka koostuu sekä orgaanisesta että epäorgaanisesta aineksesta. Siitä aiheutuvaa kuormitusta on pidetty turvetuotannon keskeisimpänä ympäristöhaittana. Tuotantoalueilta tulevat kiintoaineen kuormitusmäärät vaihtelevat huomattavasti tuotantokentän ominaisuuksien, sääolosuhteiden ja valuntatapahtumien mukaan. Keskimääräinen kiintoainepitoisuus tuotantovaiheen turvetuotantoalueilta lähtevässä vedessä on ollut perustason vesiensuojelulla (laskeu-

tusaltaat) varustetuilta soilta 12 mg l<sup>-1</sup>, virtaaman säädöllä ja perustason vesiensuojelulla varustetuilta soilta 9,1 mg l<sup>-1</sup> ja pintavalutuskentällisiltä tuotantoalueilta 4,4 mg l<sup>-1</sup> (Pekkala 2009). Tyypillisesti kiintoainekuormitusta mitataan turvetuotantoalueiden valumavesistä käyttämällä 1,2 µm suodatinta, mikä voi johtaa hienojakoisimman kiintoaineen kulkeuman aliarviointiin verrattuna suodatuksiin, joissa käytetään 0,4 µm suodatinta. Tietoa näiden fraktioiden välisestä erosta turvetuotantoalueiden valumavesissä on kuitenkin vielä vähän, ja sitä tulisi jatkossa tarkentaa.

Turvetuotannon aiheuttama kiintoainekuormitus on seurausta turpeen eroosiosta ja kulkeutumisesta valumaveden mukana vastaanottavaan vesistöön. Myös turvekerroksen alapuolinen mineraalimaa voi erodoitua, jos kuivatusojat ulottuvat mineraalimaahan. Ojien yltäminen mineraalimaahan ja ojikaltevuuden kasvu lisäävät eroosiota ja erityisesti kiintoaineen huuhtoutumista (Marja-aho & Koskinen 1989). Alustavat tulokset TuVeKu-projektista (Tuukkanen ym. 2011) viittaavat siihen, että valumaveden kiintoainepitoisuus on verrannollinen mineraalimaan hienoainepitoisuuteen ja kääntäen verrannollinen keskimääräiseen partikkelikokoon (d-50 raekoko) niillä tuotantoalueilla, joilla ojat ulottuvat mineraalimaahan. Suurimmat valuntahuiput kuljettavat suurimman osan kiintoaineesta (Marttila & Klöve 2008) ja yksittäisen rankkasadetapahtuman osuus vuosittaisesta kuormituksesta voi olla useita prosentteja (Marttila & Klöve 2009). Pääosa kiintoainekuormituksesta tuleekin varsin lyhyenä aikana. Kuormitusta voivat myös aiheuttaa kuntoonpanovaiheen kuivatus-toimenpiteet, ojien kunnostus- ja syventämistoimenpiteet sekä työkoneet (Selin & Koskinen 1985, Klöve 1998).

Turvetuotannossa kiintoaine on yleensä peräisin paljaasta tuotantopinnasta. Tuotantokentältä kiintoaine kulkeutuu työkoneiden ja tuotannon takia ojiin. Myös sade ja pintavalunta irrottaa turvetta kentiltä. Sateen intensiteetti, pintaturpeen ominaisuudet ja veden imeytyminen pintaturpeeseen määrittävät eroosio-olosuhteet (Klöve 1998) ja siten huuhtoutuvan kiintoaineen



*Virtaamansäätöpato toiminnassa rankkasadejakson jälkeen. Kuva: Hannu Marttila*

määrän. Eroosio on yleensä voimakkaimmillaan sateen alussa. Tuotantopinnan ominaisuudet, kuten orgaanisen aineen määrä (Ekwue 1992) ja turpeen maatuneisuus (Svahnäck 2007), vaikuttavat myös eroosioon. Kiintoaineen kulkeutumiseen tuotantopinnalla vaikuttaa pinnalle pintavalunnasta muodostuvien pienten uurteiden kuljetuskapasiteetti (Holden & Burt 2002). Kiintoainekuormitus on suurimmillaan kesän sadantahuippujen aikana, kun turve on kuivaa, kevyttä ja osittain hydrofobista (Klöve 1997, Marttila & Klöve 2008). Syksyn sateiden ja kevään lumen sulannan aiheuttamat valuntahuiput aiheuttavat myös suuria kiintoainekuormituksia (Sallantaus 1983).

Tuotantopinnalta kiintoaine kulkeutuu oja-verkostoon ja osa siitä laskeutuu ojan pohjalle (Klöve 1998). Ojien pohjalle laskeutunut kiintoaine erodoituu helposti uudelleen valuntahuippujen aikana. Tästä johtuen valuntahuippujen aikana kiintoaineen pääasiallinen lähde on oja-

verkostoon laskeutunut ja pidättynyt turvesedimentti (Marttila & Klöve 2008). Kuivatusojaston syvyydellä ja pituuskaltevuudella on merkittävä rooli tuotantoalueiden kiintoainekuormituksen ja ylivaluntojen hallinnassa. Ojasedimentin liikkeelle lähtemisessä ja kulkeutumisessa sedimentin ominaisuuksilla on suuri rooli. Kiintoainepartikkelien ominaisuudet vaikuttavat myös kulkeutuvan sedimentin uudelleen laskeutumiseen. Orgaaninen kiintoaine on tyypillisesti kevyttä pienen tilavuuspainonsa takia ja laskeutuu siten hitaasti. Orgaaninen sedimentti (turve) on osittain kohesii- vistä ja stabiloituu ajan kanssa, jolloin eroosioriski pienenee (Marttila & Klöve 2008). Kiintoaine lähtee liikkeelle sedimentin pintaan kohdistuvan leikkausjännityksen ylittäessä sedimentille ominaisen kriittisen arvon. Tähän vaikuttavat monet tekijät, kuten laskeutuneiden partikkelien ominaisuudet (mm. koko), orgaanisen/epäorgaanisen aineksen määrä, vesipitoisuus, vedenläpäisevyys, biologinen aktiivisuus, kaasutiheys ja sedimentin tiheys (Marttila 2010).

Uomaeroosion riski kasvaa suurilla tuotantoalueilla virtaaman kasvun myötä, mutta myös pienillä valuma-alueilla ojat voivat syöpyä voimakkaasti etenkin kaltevilla ja eroosioherkillä alueilla. Eroosiota voi tapahtua myös ojapenkoissa, pääasiallisesti törmän romahtamisen seurauksena, mihin vaikuttavat törmän maatu-neisuus, turvelaji, kosteus ja uomaston virtausolosuhteet. Uomaeroosio on usein merkittäväintä tuotantoalueen reuna- ja laskuojissa, joissa vesimäärät ovat suurimpia ja ojien pohjat voivat ulottua kivennäismaahan asti. Tuotannon edetessä syvempiin ja maatuneempiin kerroksiin voi eroosio lisääntyä, koska maatunut turve saattaa olla eroosiolle herkempää kuin vähän maatunut turve (Sallantaus 1983).

Kiintoaineen eroosio ja huuhtoutuminen lisääntyvät yleensä valunnan kasvaessa ja ylivalumajaksojen merkitys kiintoainekuormitukseen etenkin huuhtoutumisherkillä alueilla on erittäin suuri (Sallantaus 1983, Marttila & Klöve 2008). Helposti erodoituvan sedimentin määrä voi toimia ilmiötä rajoittavana tekijänä, jolloin suurimmat ainepitoisuudet ja kuormitukset esiintyvät virtaaman nousuvaiheessa. Keväällä lumen sulannan alkuvaiheessa kiintoainepitoisuudet ovat yleensä pieniä, mutta kohoavat sulannan edistyessä, mikä johtuu suojaavan routakerroksen sulamisesta tuotantopinnoilta. Vesiensuojelurakenteiden tulisikin pidättää kiintoainetta tehokkaasti sateen alkaessa, jolloin uomaeroosio ja kiintoaineen kulkeutuminen ovat suurimmillaan.

### 3.2.2 Ravinnekuormitus

Turvetuotantoon ojitetulta suolta muodostuva fosfori- ja typpikuormitus on yleensä suurempaa kuin vastaava kuormitus luonnontilaiselta suolta. Ravinnekuormitusta aiheuttavat mm. tuotantoalueen ojituksen seurauksena kiihtyvä turpeen hajoaminen ja ravinteiden vapautuminen sekä lisääntynyt valunta pitemmälle maatuneiden turvekerrosten läpi (luonnontilassa vesi virtaa pääasiassa elävässä kasvustossa). Kuormitus on suurimmillaan tuotantoon tulevan suon peruskuivatuksen aikana, jolloin luonnontilaisen

suon vesivarasto tyhjenee. Toisaalta viimeisimpien tutkimusten mukaan tuotannon edetessä syvempiin ja maatuneisiin kerroksiin tuotantoalueelta tuleva kuormitus voi lisääntyä (Karjalainen ym. julkaisematon).

Fosfori huuhtoutuu turvesuolta joko liukoisesa muodossa, ts. fosfaattifosforina ja liukoisena orgaanisena fosforina, tai kiintoainepartikkeleihin sitoutuneena. Tavallisesti valumaveden fosfori- ja kiintoainepitoisuuden välillä esiintyy erittäin selvä positiivinen korrelaatio (Sallantaus 1983, Komiteamietintö 1987, Marttila & Klöve 2009, Tuukkanen ym. 2010). Eri prosessien vaikutuksesta partikkeleihin sitoutunut fosfori voi muuttua takaisin liukoiseen muotoon. Fosforia pidättyy kemiallisesti vain rauta- ja alumiinipitoiseen turpeeseen. Näitä metalleja vähän sisältävillä soilla suurin osa turpeen fosforista on orgaanisesti pidättynyttä. Minerotrofisilla soilla turpeen fosforipitoisuus vaihtelee välillä 0,1-0,3 %, kun karuilla ombrotrofisilla soilla turpeen fosforipitoisuus on noin 0,02-0,03 % (Laine & Vasander 1986).

Keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus tuotantovaiheen turvetuotantoalueilta lähtevässä vedessä on ollut perustason vesiensuojelulla (laskeutusaltaat) varustetuilta soilta  $88 \mu\text{g l}^{-1}$ , virtaaman säädöllä ja perustason vesiensuojelulla varustetuilta soilta  $69 \mu\text{g l}^{-1}$  ja pintavalutuskentällisiltä tuotantoalueilta  $47 \mu\text{g l}^{-1}$  (Pekkala 2009). Luonnontilaisten soiden fosforihuuhtouman on arvioitu olevan  $0,053 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Mattsson ym. 2003, Kortelainen ym. 2006), joka vastaa pitoisuutta  $17 \mu\text{g l}^{-1}$  olettamalla valunnaksi 300 mm. Nämä tulokset perustuvat puroista mitattuihin vesinäytteisiin pienvalluma-alueilta, joiden turve maiden osuus on yli 30 %.

Typpi huuhtoutuu turvetuotantoalueelta liukoisesa muodossa, ts. ammonium- ja nitraattityypinä ja liukoisena orgaanisena tyypinä, tai kiintoaineeseen sitoutuneena. Toisin kuin luonnontilaisten soiden valumavesissä turvetuotantosoiden valumavesien typpi on suurelta osin epäorgaanista (Sallantaus 1983, 1986,

Heikkinen 1990). Typen eri muotojen suhteelliset osuudet voivat vaihdella esim. vuodenajan ja valuntaolojen mukaan. Tämän vaihtelun keskeisiä taustatekijöitä ovat nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosesseihin vaikuttavat veden liikkeet maaperässä ja tuotantoalueen ojustossa, hapellisten ja hapettomien olosuhteiden esiintyminen sekä lämpötila. Keskimääräinen typen pitoisuus turvetuotantoalueelta lähtevässä vedessä perustason vesienkäsittelyn jälkeen on ollut 2120  $\mu\text{g l}^{-1}$  (Pekkala 2009). Luonnontilaisilta soilta epäorgaanisen typen huuhtoumat ovat pieniä ja pääosa huuhtoutuvasta tyypestä on orgaanista tyypeä (Sallantaus 1986). Typpihuuhtouma luonnontilaisilta soilta on arvioitu olevan 1,52  $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  Etelä-Suomessa ja 0,93  $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  Pohjois-Suomessa (Mattsson ym. 2003, Kortelainen ym. 2006), joka vastaa pitoisuuksia 500  $\mu\text{g l}^{-1}$  ja 310  $\mu\text{g l}^{-1}$ . Karuilla luonnontilaisilla soilla on vähän tyypeä ja rehevillä paljon. Tuotantoalueilta kulkeutuvaa epäorgaanista tyypeä voidaan siis pitää turvetuotannon aiheuttamana kuormituksena.

Hydrologiset tekijät vaikuttavat keskeisesti turvetuotanto-alueelta tuleviin valumaveden typpi- ja fosforipitoisuuksiin ja sitä kautta kuormituksen suuruuteen sekä myös alapuoliseen vesistöön huuhtoutuvien ravinteiden esiintymismuotoihin.

Valumaveden fosforipitoisuuksien on havaittu lisääntyvän pienten valumien aikaan, jolloin vesimäärän aiheuttama pitoisuuksien laimenneminen on vähäisintä. Pienten valumien aikana vesi on peräisin syvempien turvekerroksien pohjavesistä, mikä on ns. ”vanhaa”, pitkään turvekerroksessa ollutta vettä (Sallantaus 1983, Klöve 2001).

Tämä on todennäköisesti yksi keskeisimmistä tekijöistä, joka vaikuttaa siihen, missä muodossa fosforia alapuoliseen vesistöön huuhtoutuu. Pienten valumien aikana fosforin huuhtoutuminen liukoisessa muodossa, ts. liukoisena orgaanisena fosforina, todennäköisesti lisääntyy. Veden humuspitoisuus on usein suurimmillaan juuri vanhassa pohjavedessä, eli turpeessa pitkään seisonneessa vedessä. Fosforipitoisuuksien on havaittu kasvavan pohjaveden pinnan laskiessa, mikä myös viittaa vanhan veden suurempiin pitoisuuksiin (Klöve 2001). Vastaavasti fosforipitoisuuksien on havaittu laskevan valunnan kasvaessa, jolloin valumavesi on lähtöisin turpeen kyllästymättömästä pintakerroksesta (”uusi vesi”) (Klöve 2001). Pohjaveden fosforipitoisuuksien on havaittu olevan suurempia kuin tuotantoalueelta lähtevän veden, mikä viittaa fosforin pidättymiseen ojissa. Kuivatusojissa fosforia sitoutuu kiintoaineeseen, sedimenttiin ja leviin (Dorioz 1996).

*Hakasuon turvetuotantoalue talvella 2009. Kuva: Heini Postila*



Ojasedimentin huuhtoutuessa fosforia kulkeutuu kiintoaineeseen sitoutuneena. Tyypillisesti fosfori pidättyy pienten valuntojen aikana ja huuhtoutuu virtaaman kasvaessa (Dorioz 1996). Hapettomissa oloissa ojasedimenttiin sitoutunutta fosforia voi liueta takaisin veteen, mikä on tyypillistä esim. Hollannin turvemailla ja sitä on havaittu myös turvetuotantoalueilla (Klöve 2001).

Turvetuotannon valumavesien keskimääräiset typpipitoisuudet ensiojitusvaiheessa ovat pieniä, alle 1000 µg/l (Sallantaus 1983, Selin & Koskinen 1985). Epäorgaanisen typen pitoisuudet kasvavat valmistelun edetessä ja tuotantovaiheessa. Typpikuormituksen on havaittu olevan pieni lumen sulannan aikana, jolloin myös ammoniumtyyppiä esiintyy tavanomaista vähemmän (Klöve 2001). Loppukeväällä kokonaistypen pitoisuus valumavedessä nousee (Sallantaus 1983, Klöve 2001). Kesällä keskimääräinen typpipitoisuus on 3000 - 4000 µg/l ja syksyllä pitoisuudet kohoavat. Kesäisin pienten virtaamien aikaan noin puolet tyyppistä on ammoniumtyyppiä ja loput orgaanista tyyppiä. Typpikuormituksen on havaittu olevan suurimmillaan voimakkaiden sateiden jälkeen, jolloin myös nitraattitypen osuus kasvaa, veden huuhtoessa nitraattityyppiä kyllästymättömästä kerroksesta (Klöve 2001).

Nitraattitypen huuhtoutumisessa esiintyy kuitenkin alueellista vaihtelua ja sekä pieniä (Hiljanen 1994) että suuria (Sallantaus 1983) pitoisuuksia on havaittu suurten valuntojen aikana. Typen huuhtoutumiseen vaikuttavat oletettavasti nitraatin epätasainen jakautuminen maaperässä ja erot veden virtausreiteissä. Kasvaneita nitraattityppipitoisuuksia suurten valuntojen aikana voi selittää ammoniumtypen nitrifioituminen nitraattitypeksi suon hapellisessa pintakerroksessa, josta nitraatti edelleen huuhtoutuu kuivan kauden jälkeisten suurten valumien aikana (Klöve 2001). Vastaavasti jos epäorgaanista tyyppiä on suon pintakerroksessa vähän, valunnan kasvu voi laskea valumaveden typpipitoisuuksia. Ammoniumtyppipitoisuuksien vaihtelua voidaan selittää osaltaan lämpötilalla, pH:lla sekä biologisilla prosesseilla (nitrifikaatio, ammonifikaatio ja ravin-

teiden otto). Kuivatusojissa osa ammoniumtyyppistä pidättyy biologisesti ja muuttuu orgaaniseksi typeksi. Olemassa olevan tiedon perusteella ojissa tapahtuvaa kokonaisprosessia on vaikea arvioida, mutta viipymän kasvaminen ojastossa lisää selkeästi typen poistumaa valumavedestä. Sedimentoituvat orgaaniset hiukkaset ja humusaineet toimivat osaltaan typpiravinnevarastona (Heikkinen & Visuri 1990).

### 3.2.3 Liennut orgaaninen aines

Turvetuotannon valumavedet sisältävät kiintoaineen ja ravinteiden lisäksi liuenneita orgaanisia aineita, pääasiassa humusaineita. Liukoisen orgaanisen aineksen osuus huuhtoutuvasta orgaanisesta aineesta voi olla kertaluokkaa suurempi kuin suspendoituneen kiintoaineen osuus (Klöve 1997, Klöve 2001). Humuksen mukana tuotantoalueilta huuhtoutuu rautaa ja raudan välityksellä humukseen sitoutunutta fosforia (Heikkinen ym. 1994, Heikkinen & Ihme 1995). Liunneen orgaanisen aineen huuhtoumat eivät ole voimakkaasti riippuvaisia valunnasta, vaikkakin alhaisimmat pitoisuudet esiintyvät usein lumen sulannan aikana (Sallantaus 1983).

Orgaanisen kiintoaineen huuhtoumat vaihtelevat huomattavasti liunneen orgaanisen aineen huuhtoutumia enemmän, mutta suurimman osan ajasta kiintoaineen osuus orgaanisen aineen kokonaispitoisuudesta on vähäinen (Sallantaus 1983). Humusaineet sitovat vedestä raskasmetalleja, rautaa, mangaania ja fosforia. Ne vähentävät toksisten aineiden ja metallien myrkyllisyyttä eliöstölle, mutta voivat toisaalta lisätä veden ravinnepitoisuutta. Humuksen rautapitoisuus on suurimmillaan pienten valuntojen aikana veden ollessa peräisin syvemmistä turvekerroksista (Heikkinen ym. 1994, Heikkinen & Ihme 1995). Tämä voi osaltaan selittää korkeita fosforipitoisuuksia ns. vanhassa vedessä.

Veden humuspitoisuutta tarkastellaan yleensä orgaanisen kokonaishiilen (TOC), liunneen orgaanisen hiilen (DOC), kemiallisen hapenkulu-

tuksen ( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ) tai väriarvon perusteella. Näistä turvetuotannon kuormitustarkkailussa käytetään kemiallista hapenkulutusta. Vuositasolla tuotantovaiheen turvetuotantoalueiden keskimääräinen kemiallinen hapenkulutus on ollut keskimäärin  $46 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$  (Leskelä ym. 2010), vaihdellen välillä  $39\text{--}54 \text{ mg l}^{-1}$ .

Alhaisimmillaan arvot ovat olleet keväällä lumen sulannan aikana ja korkeimmillaan syksyllä, jolloin tulevat kasvukauden jälkeiset suuret valumat. Keskimääräinen kemiallisen hapenkulutuksen kuormitus on vuosi tasolla ollut  $553 \text{ g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  ( $67 \text{ mg l}^{-1}$  jos valuma  $0,82 \text{ mm d}^{-1}$ ) vaihdellen välillä  $103 - 1868 \text{ g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ . Etenkin ylivalumatilanteissa turvetuotantoalueiden ominaiskuormitukset ovat usein huomattavasti suuremmat kuin luonnontilaisilla alueilla, missä kemiallisen hapenkulutuksen arvot ovat olleet keskimäärin  $38 \text{ mg l}^{-1}$  ja kuormitus  $199 \text{ g ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  (Leskelä ym. 2010).

Humusaineita huuhtoutuu luonnostaan vesiin maaperästä, erityisesti suoalueilta. Niiden huuhtoutuminen voi lisääntyä, kun suo otetaan turvetuotantoon. Jos turvetuotantoalue on perustettu keidassuoalueelle, ojituksien on havaittu aiheuttavan jopa 5-7 kertaisen humushuhtouman luonnonhuhtoumaan verrattuna (Sallantaus 1983). Humusaineiden huuhtoutuminen lisääntyy myös aapasuoalueella, mutta ei kuitenkaan niin voimakkaasti kuin keidassuoalueella (Heikkinen 1990). Humuksen huuhtoumat ovat suurimmillaan paksuturpeisten soiden esiojitusvaiheessa. Turpeen hajoamisen lisääntyminen turvetuotantoalueella on yksi syy humusaineiden lisääntyneeseen huuhtoutumiseen. Vesistökuormituksen synnyn kannalta ratkaisevaa on kuitenkin valunnan määrän lisääntyminen (Komiteamietintö 1988). Turvetuotanto vaikuttaa etenkin humuksen vuodenaikaishuhtoumiin. Verrattuna luonnontilaisiin soihin huhtouman kasvu on suhteellisesti suurimmillaan vähäisen valunnan aikaan kuten kesällä.

Turvetuotantoalueilta tuleva orgaanisen aineksen kuormitus voi olla erilaista verrattuna luon-

nonmukaisten alueiden kuormitukseen, sillä turvetuotantoalueen orgaaninen aines voi sisältää enemmän kiintoainetta (Leskelä ym. 2010). Alapuolisissa vesistöissä orgaaninen kiintoaine joko pidättyy, kulkeutuu eteenpäin tai hajoaa biologisten, fysikaalisten tai kemiallisten prosessien kautta. Vähän on tietoa orgaanisen kiintoaineen pidättymisen ja hajoamisen roolista alapuolisissa vesistöissä havaittaviin liunneen orgaanisen aineksen huuhtoumiin. Esimerkiksi Pawson ym. (2006) raportoivat, että partikkelimaisen orgaanisen turpeen hajoamisella voi olla merkittävä vaikutus veden liunneeseen orgaanisen ainekseen. Vastaavia tuloksia on raportoitu Englannin ”blanked peatland” alueilta (Evans ja Warburton 2007), mutta asiaa ei ole tutkittu Suomen olosuhteissa.

### 3.2.4 Raudan huuhtoutuminen

Turvetuotantoalueen kuivatus johtaa usein raudan huuhtoutumisen lisääntymiseen, koska turpeen ja maaperän rautapitoisuus usein lisääntyy suon syvempiin kerroksiin edettäessä. Rautaa huuhtoutuu sekä kiintoaineeseen että humusaineisiin sitoutuneena. Suuri rautakuormitus on usein seurausta suuresta kiintoainekuormituksesta. Valumaveden liunneen rauta on pääosin sitoutunut humusaineisiin, niiden suurimolekyylipainoisimpaan fraktioon (Heikkinen & Ihme 1995). Tähän humusfraktioon sitoutuu raudan välityksellä myös fosfaattifosforia. Sen pitoisuutta turvetuotannon valumavedessä on onnistuttu vähentämään pintavalutuksella. Soilla rautaa esiintyy tyypillisesti minerotrofisissa ja saravaltaisissa turvekerroksissa. Näiden rautapitoisuuksissa on havaittu suurta vaihtelua (Virtanen 1994).

Huuhtoutuessaan rauta hapettuu  $\text{Fe}^{3+}$  -muotoon, jolloin se sakkautuu ja muuttuu kiintoaineen tapaiseksi fraktioksi pidättäen samalla suurimolekyylisiä humusfraktioita. Raudan sakkautumisella ja vesistöissä tapahtuvalla sedimentaatiolla on havaittu olevan yhteys (Heikkinen 1990, Einola ym. 2011), mutta asiaa tulisi tarkemmin tutkia turvetuotannon alapuolisissa vesistöissä.

### 3.2.5 Turvetuotantoalueiden valumavesien happamuus

Luonnontilaisille soille on tyypillistä happamuus, joka vaihtelee suon ravinnepitoisuuden mukaan. Karuilla luonnontilaisilla soilla happamuus johtuu rahkaturpeen ioninvaihdosta, ja valumaveden pH vaihtelee välillä 3,5 - 4,5. Vastaavasti rehevien minerotrofisten soiden turpeen pH-arvo voi olla lähellä neutraalia (pH 6,5 - 7,0). Turvetuotantosuon kuivatuksen alkuvaiheessa alivirtaamatilanteiden kuivatusvedet ovat vähemmän happamia, koska vesi on peräisin tuotantokentän

syvemmistä kerroksista. Jos kuitenkin tuotantopinnassa on happamia rahkaturvekerroksia, voivat valumavedet virtaamahuippujen aikana olla happamampia, koska sadevedet suotautuvat pääasiallisesti näiden helposti vettä johtavien pintakerrosten lävitse. Tuotannon eteneminen syvempiin, ravinnepitoisempiin turvekerroksiin johtaa pH arvojen kohoamiseen. Rannikkoalueiden alunamailla valumaveden pH-arvoon vaikuttaa myös ojituksen mahdollinen ulottuminen turvekerroksen alapuoliseen alunamaahan. Alunamaiden lisäksi myös turpeen alla olevat mustaliuske-esiintymät voivat vaikuttaa pH-arvoon.

*Ojitetulle turvemetsäalueelle perustettu pintavalutuskenttä Kapustanevan turvetuotantoalueella. Kuva: Heini Postila*





# 4 Suotyyppin, turpeen fysikaalisten ominaisuuksien ja pohjamaan laadun vaikutukset kuormitukseen

## 4.1 Luonnontilaisen suon humusaineiden huuhtoutumismekanismit

Turpe on eloperäistä ainetta, joka on muodostunut hyvin erilaisista suokasveista. Suotyyppit jaetaan hydrologialtaan kahteen päätyyppiin: aapa- ja keidassoihin. Koverat, keskiosaltaan reunoja matalampana olevat aapasuot saavat huomattavan osan ravinteistaan pohjavedestä tai ympäröivältä valuma-alueelta pinta- ja pintakerrosvaluntana tulevasta vedestä. Aapasoihin kerrostuu siten ravinteita ja alkuaineita ympäröivältä maa-alueelta. Keidassuot ovat kohosoihin, joihin tulee vettä ja ravinteita pääasiassa sadeveden mukana. Suot kasvavat, kun kuollut orgaaninen aines kertyy niihin. Kehitysvaiheessa aapasuota seuraa keidassuo eli kun suo kasvaa riittävän korkeaksi, kohoo se ympäröiviä lasku-uomia korkeammalle, jolloin se saa suuren osan vedestä sateesta. Suo sitoo kasvuunsa ravinteita sateesta ja pohjavedestä sekä ilmasta hiiltä ja typpeä. Suomessa suot ovat kehityshistoriansa aikana sitoneet hiiltä keskimäärin 17-21 mg m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> tosin hiilen sidonta (ja toisinaan päästö) vaihtelee suuresti soiden välillä sekä ajallisesti (katso Saarnio et al. 2007). Ennen pitkään suon kasvu pysähtyy. Tällöin saavutetaan tasapaino, jolloin suohon kertyy yhtä paljon orgaanista ainetta, kuin siitä vapautuu. Tasapaino riippuu alueen ilmastosta ja suon kasvu keskimääräisestä lämpötilasta ja sadannasta.

Vesistökuormituksen kannalta on syytä huomata, että huuhtoutuvien humusaineiden määrä on verrannollinen suon syvyyteen eli orgaanisen aineksen kokonaismäärään. Orgaaninen aines, joka vapautuu kasvien hajotessa, huuhtoutuu joko humuksena tai vapautuu metaanina ilmake-

hään. Voidaan siis olettaa, että luonnontilaisesta suosta huuhtoutuu yhä enemmän humusta mitä vanhempi (syvempi) suo on. Ilmaston muuttuessa suo joko kasvaa tai hajoaa enemmän. Kasvun ja hajonnan muutoksista seuraa muuttunut humushuuhtouma. Huuhtouma siis vaihtelee ajallisesti jopa vuosikymmenien välillä. Ravinteiden lisäys esimerkiksi laskeuman myötä voi myös muuttaa tätä tasapainoa. Tästä on joitakin esimerkkejä Ruotsista, jossa lisääntynyt typpilaskeuma on johtanut suon pinnan laskuun eli hajonnan nopeutumiseen (Franzn 2006). Tämä osaltaan voi lisätä humushuuhtoumaa. Joissakin olosuhteissa myös ilmaston vaihtelu voi johtaa soiden eroosioon. Orgaanisen aineen eroosio ja huuhtouma on hiilen kiertokulkua, joka on välttämätöntä jokien ja järvien ekosysteemien kannalta. Liiallinen nopea eroosio, joka yleensä johtuu ihmistoiminnasta ja jota sää ja ilmasto lisäävät, on vesistöjen kannalta haitallista.

## 4.2 Pohjamaan laadun vaikutus huuhtoumaan

Suot ovat kehittyneet joko metsistä tai järvistä. Tämä näkyy suon pohjan koostumuksessa. Pohja voi olla joko savea, silttiä, hiekkaa, soraa tai järvisedimenttiä (gytjaa). Sora- ja hiekkamaila pohjaveden purkauma soille on voinut olla huomattavaa. Pohjavesi tuo mukanaan ravinteita ja metalleja. Usein rautaa on voinut kerrostua soihin huomattaviakin määriä. Tämä johtuu siitä, että pohjavesi kuljettaa Fe<sup>2+</sup> raudan hapettomissa olosuhteissa ja purkaa vettä suohon, jolloin rauta muuttuu Fe<sup>3+</sup> arvoiseksi ja saostuu. Samalla veden pH laskee. Rautaa sitoutuu turpeeseen ja suoveden humusaineisiin. Saostumisen tuloksena suoveteen syntyy myös okraa. Savi, siltti ja järvisedimentit ovat yleensä varsin tiiviitä

kerroksia. Tosin kovan paineen alla nämä maa-  
lajit voivat muodostaa halkeamia (ainakin lieju ja  
turve käyttäytyvät näin). Voidaan ehkä olettaa,  
että nämä suotyypit sisältävät vähemmän pohja-  
veden tuomia aineita.

Rautapitoisuus selittää turpeen tiheyden vaihtelun (Virtanen 1994). Koska rautaa voi olla turpeessa huomattavia määriä, vaikuttaa tämä myös turpeen fysikaaliseen rakenteeseen, jota ei ole tietääksemme tältä osin tutkittu. Suon geokemialliset prosessit ja suotautuva vesi vaikuttavat siis suon koostumukseen monella tapaa. On todennäköistä, että myös soiden turpeen fosforipitoisuuksissa on huomattavia eroja. Jokivesistöissä esimerkkinä voidaan ottaa Siikajoen valuma-alue, jossa joen vedenlaatuun todennäköisesti vaikuttaa suuresti valuma-alueella sijaitsevien soiden runsas vivianiitin (rautafosfori) esiintyminen. Raudan ja fosforin huuhtouma on todennäköisesti lisääntynyt ojituksen seurauksena, mutta asiaa ei ole sen tarkemmin tutkittu.

Turvetuotannon eteneminen syvempiin kerroksiin vaikuttaa monella tapaa kuormitukseen. Jos ojat ulottuvat mineraalimaahan, voi mineraalimaa erodoitua. Rikkoutumaton turvemaa ei ole yhtä herkkä eroosiolle verrattuna mineraalimaahan kuten silttimaahan tai hiekkamaahan. Jos ojat on kaivettu silttimaahan asti, voi eroosio olla varsin huomattavaa ja suolta huuhtoutuu epäorgaanista savisameaa ainetta, joka näkyy veden harmaana värinä. Hypoteesina on, että tuore paljastunut turpeen pinta on kuituinen ja vastustaa eroosiota hyvin. Vastaavasti hapettuneet, rikkoutuneet tai haurastuneet turvekerrokset ovat alttiimpia eroosiolle ja huuhtoutuvat helpommin. Etenkin heikosti maatuneiden turpeiden kasvinosat muodostavat turvetta sitovia ja vahvoja kerroksia. On myös todennäköistä, että turvekerroksien leikkauslujuus heikkenee turpeen maatuneisuuden kasvaessa (esim. Cullock 2006, Kazemian 2011). Eroosioherkkyyden ja leikkautumisominaisuuksien välisestä yhteydestä ei ole kuitenkaan tarkkaa tietoa, eikä maatuneisuusasteen ja eroosioherkkyyden suhdetta ole osoitettu suorilla fysikaalisilla mittauksilla.

## 4.3 Turpeen laadun vaikutus huuhtoumaan

Turve koostuu kasvien jäänteistä sekä vaihtelevasta määrästä mineraaliainesta. Yleensä epäorgaanisen aineksen osuus on luokkaa 5 %, mutta tämä osuus voi olla myös paljon suurempi. Turpeen fysikaaliset ja hydrauliset ominaisuudet riippuvat mm. siitä, mistä kasveista turve on muodostunut, kasvien hajonneisuudesta eli maatuneisuusasteesta sekä turpeen tiheydestä. Tiheyteen vaikuttaa mineraaliaineksen määrä. Ojitetulla suolla turpeen tiheyteen ja vedenjohtavuuteen vaikuttaa lisäksi turpeen painuminen ojituksen seurauksena ja mm. työkonien alla. Yleensä turpeen vedenjohtavuus riippuu myös maatuneisuusasteesta ja turvelajista (Egglesmann ym. 1993). Turvetuotantoalueella turpeen vedenjohtavuuden on todettu riippuvan lähinnä turpeen leikkauslujuudesta (Klöve 2000). Maatuneisuusasteen ei ole havaittu selittävän turpeen vedenjohtavuutta turvetuotantoalueella.

Huuhtouman syntyyn turvetuotantoalueella vaikuttavat monet tekijät. Näistä keskeisimpiä ovat hydrologiset ja geokemialliset tekijät, joista on vielä varsin vähän tietoa. Esimerkiksi turpeen ravinnepitoisuus ei suoraan kerro fosforin huuhtoumaa (Aqua Peat 1995). Fosforin huuhtouma riippuu myös fosforia sitovien metallien määrästä. Yleensä turpeen ravinnepitoisuus kasvaa turvetuotannon edetessä syvempiin kerroksiin. Tämä ei välttämättä johda suurempaan kuormitukseen sillä turvetta on kentällä vähemmän huuhdottavaksi. Myös turpeen vedenjohtavuus on yleensä syvissä kerroksissa pieni, joten vesi ei välttämättä pääse imeytymään turpeeseen, vaan liikkuu enemmän kentän pinnalla muodostaen pintavaluntaa. Tuotannon edetessä fosforia ja kiintoainetta voi kuitenkin olla varastoituneena vanhoissa ojissa, joista se voi huuhtoutua.

Maatuneisuusasteen vaikutusta turpeesta irtoavaan ainesmäärään on tutkittu Svahnäckin (2007) väitöstyössä. Tulos osoittaa, että maatuneisuusaste on yksi turvetuotannon vesistö-

kuormitukseen vaikuttava tekijä. Sadettamalla turvetta pidemmälle maatumasta turpeesta irtoaa enemmän kiintoainetta kuin vähemmän maatumasta turpeesta. Turvetuotantoalueella kiintoaineen eroosioon vaikuttavat kuitenkin myös monet muut prosessit (katso kpl 3.2.1). Maatuneisuusaste vaikuttaa jonkin verran turvehiukkasten raekokoon, mutta myös kasvien koostumus vaikuttaa tähän. Raekoon ja maatumisuuden välistä yhteyttä ei ole tietääksemme vielä tutkittu. Maatuneisuudella on ehkä vaikutus pinta- ja noroeroosioon, mutta tätäkään ei ole vielä tutkittu. Noro- ja pintaeroosioon vaikuttavat turpeen tuotannosta muodostuvan karheen määrä ja kuivuus kentällä. Kuiva turve kulkeutuu pintavalunnan mukana helposti. Ojaeroosioon vaikuttaa luultavasti turpeen leikkauslujuus, mutta myös maatuneisuusasteella voi olla merkitystä. Tätä ei ole kuitenkaan vielä tutkittu. Hyvin maatuneissakin turpeissa ojat voivat pysyä suorina eivätkä välttämättä sorru. Sortuminen on todennäköisintä, jos suon alla oleva mineraalimaa erodoituu ja altakaivautuu, jolloin penkat sortuvat. Sortumat voivat olla mahdollisia myös turpeeseen kaivetuissa kokooajojissa, joissa veden virtausnopeus kasvaa suureksi. Tällöin pohjimmaisena oleva maatuneempi vettynyt turvekerros on alttiina eroosiovoimille ja voi aiheuttaa altakaivautumista.

Turpeen maatuneisuuden vaikutus liukoisten aineiden huuhtoumaan on myös epäselvä ja monisyinen asia. Maatumasta turve-vesiseoksesta irtoaa luultavasti enemmän humusta ja

ravinteita kuin maatumattomasta. Hyvin pitkälle maatumassa turpeessa veden liike voi kuitenkin olla vähäistä. Näin ollen siitä ei voi kenttäolosuhteissa huuhtoutua kovin suuria määriä liukoisia aineita, mutta tästä ei ole paljon tietoa. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että turpeen maatuneisuusaste on yksi turvetuotannon kiintoainekuormitukseen vaikuttava tekijä. Se ei kuitenkaan sellaisenaan sovellu ennustamaan liukoisten tai kiinteiden aineiden huuhtoumaa turvesoilta, koska näiden aineiden huuhtoutumiseen vaikuttavat myös monet muut tekijät. Turpeen maatuneisuusastetta selkeämpiä indikaattoreita huuhtoumalle voisivat olla:

1. P/Fe-suhde turpeessa
  - Voisi osoittaa fosforin huuhtoutumisriskiä. Jos suure kasvaa, huuhtoutuu P herkemmin.
2. Suoraan turpeesta mitattu turpeen eroosioherkkyys
3. Orgaanisen aineen hajotusnopeus turvekerroksessa
  - Tätä voisi mitata vaikka CO<sub>2</sub>-tuottona laboratoriossa. Mitä suurempi tuotto sen helpommin turve hajoaa ja sitä suurempi on odotettavissa oleva huuhtouma.

Kaikkien edellä mainittujen indikaattoreiden ennustekykyä tulisi kuitenkin testata kenttäolosuhteissa. Lisäksi on muistettava, että ajallista vaihtelua selittävät säätekijät, kuivatushistoria ja turvetuotannon eteneminen eri kerroksiin.

*Itäsuon turvetuotantoalueen jälkeinen kosteikko kesällä 2011. Kuva: Heini Postila*



# 5 Turpeennoston eri toimenpiteiden vaikutukset kuormitukseen

Turpeen tuotannon ja noston vaatimat toimenpiteet aiheuttavat kiintoaine- ja ravinnekuormitusta vesistöihin. Kiintoaineen ja ravinteiden huuhtoutuminen on suurelta osin seurausta tuotantoalueen ojituksesta ja pintakasvillisuuden poistamisesta, mutta myös tuotannonaikaisilla toimenpiteillä ja tuotantomenetelmällä on vaikutusta kuormitukseen. Energiaturvetta tuotetaan pääasiassa jyrsinturpeena ja palaturpeena. Jyrsinturpeen osuus kaikesta turpeen käytöstä on noin 90 % (Leinonen 2010). Jyrsinturvetuotannossa turve irrotetaan tuotantokentän pinnasta jyrsimällä ja jätetään kentän pinnalle kuivumaan. Kuivatusta tehostetaan kääntelemällä jyrsöstä tuotantokentällä. Turpeen kuivatuksen jälkeen turve voidaan koota tuotantokentältä varastoaumoihin esim. imuvaunu-, haku-, tehoturve-, karheensiirto- tai kokoojavaunumenetelmällä (Röpelinen 2000).

Tuotannon eri vaiheissa turvetta voi kulkeutua tuotantoalueen sarkaojiin työkoneiden mukana, jonka lisäksi turvetta jyrsittäessä ja kääntäessä osa turvepalasista voi päätyä suoraan ojiin (Röpelinen 2000). Jyrsinturvetuotannosta poiketen palaturvetuotannossa turve nostetaan suosta erityisillä koneilla, joilla turve puristetaan ja muokataan paloiksi tuotantokentälle (Röpelinen 2000). Jyrsinturvetuotannossa tuotantokentän pinnalla on kevyttä, irtonaista turvetta, joka voi huuhtoutua pintavalunnan mukana ojiin. Palaturvetuotannossa hienojakoista turvetta on tuotantokentällä vähemmän, joten turpeen huuhtoutuminen ojin voi olla vähäisempää (Röpelinen 2000). Ojiin koneiden tai pintavalunnan mukana kulkeutunut turvesedimentti on eroosioherkkää, joten se kulkeutuu veden mukana helposti alapuolisiin vesistöihin.

Palaturpeen nostossa tuotantokentälle syntyy noin 5 cm leveitä ja 30 - 50 cm syviä vakoja, joihin sateiden alkuvaiheessa varastoituu osa sadevedestä. Urien vaikutuksesta myös sadeveden imeytyminen pintakerros- ja pohjavesivalunnaksi tehostuu (Röpelinen 2000). Palaturpeen nostosta syntyviä uria vastaavaa ylimääräistä varastotilaa ei jyrsinturvetuotantoalueilla ole ja painanvaraston muodostavat ainoastaan luonnolliset painaumat ja kentän epätasaisuudet sekä työkoneneiden kulku-urat (Röpelinen 2000). Palaturvetuotantomenetelmä leikkaa tämän vuoksi pienempiä valumahuippuja jyrsinturvetuotantoon nähden. Valuntahuiput ovat jyrsinturvealueelta suuremmat kuin palaturvealueelta, joten tuotantomenetelmä vaikuttaa tältä osin huuhtoutumien huippuarvoihin vaikka valumaveden pitoisuudet olisivatkin samansuuruisia (Röpelinen 2000). Röpelinen (2000) tutkimuksessa jyrsinturvetuotanto lisäsi palaturvetuotantoon nähden valumaveden keskimääräisiä fosforipitoisuuksia. Kemiallisen hapenkulutuksen (CODMn), typen ja kiintoaineen osalta selvää keskimääräisten pitoisuuksien riippuvuutta tuotantomenetelmästä ei havaittu. Kiintoaineen pitoisuushuiput olivat sen sijaan selvästi suurempia jyrsinturvetuotantoalueilta (Röpelinen 2000).

Sateiden aikana käynnissä olevalla tuotantovaiheella on suuri merkitystä pintavalunnan mukana huuhtoutuvien aineiden määrään, sillä eri tuotantovaiheissa (esim. jyrsintä, palannosto, sadon kääntäminen, karhentaminen, kokoaminen tai kentän pinnan tasoitus) turpeen huuhtoutuminen on erilaista (Röpelinen 2000). Tuotantovaiheesta riippuen turpeen eroosioherkkyys ja helposti erodoituvan kiintoaineen määrä voivat poiketa huomattavasti toisistaan. Suuria määriä turvetta voi joutua vesistöön etenkin tilanteissa, joissa rankkasateen aikana kentän pinnalla on



*Turvetuotantoalueen turvepinta vesisateen jälkeen. Kuva: Hannu Marttila*

kuivaa jyrshinturvetta (Röpelinen 2000). Varsinaisten tuotantotoimien lisäksi turvetuotantoalueelta syntyvää kuormitusta voivat ainakin hetkellisesti lisätä esimerkiksi laskeutusaltaiden tyhjentäminen tai kuivatusojien kunnostukset. Turpeen noston eri vaiheissa syntyy pölyä, joka voi kulkeutua tuulen mukana tuotantoalueen ojiin tai suoraan läheisiin vesistöihin. Suurimmat pölypäästöt ajoittuvat yleensä turpeen keräys- ja aumausvaiheisiin, jolloin käsiteltävä turve on kuivaa (Nuutinen et al. 2007). Pölypäästöjen määrään vaikuttavat keskeisesti turpeen kosteus, maatuneisuus, hiukkaskoko ja tuulen voimakkuus. Vesistöihin ilman kautta kulkeutuvan turvepölyn määrän on käytettävissä olevan tiedon perusteella arvioitu olevan vähäistä (Turveteollisuusliitto ry 2002). Hienojakoinen turvepöly erottuu kuitenkin veden pinnalta hyvin ja vähäininkin pölylaskeuma voidaan tämän vuoksi kokea likaavana. Pöly voi aiheuttaa lyhytaikaista viihtyvyyshaittaa, mutta vesistöjen rehevöitymistä tai mataloitumista ei ole tutkimuksissa osoitettu (Turveteollisuusliitto ry 2002).

Turvetuotannon vesistökuormituksen vähentämisen kannalta uutena tuotantomenetelmänä Vapo Oy on kehittänyt uutta massansiirtoon perustuvaa tuotantomenetelmää. Menetelmässä

turve kaivetaan tuotantokentältä kaivinkoneella ja siirretään erilliselle asfaltoidulle alueelle kuivumaan. Kuivatusalueelta turpeesta erkaneva vesi ja sadevedet johdetaan pumppaamalla laskeutusaltaan tai pintavalutuskentän kautta alapuoliseen vesistöön (Silvan et al. 2010). Menetelmällä tuotantoalueen kasvillisuus voidaan säilyttää koskemattomana aina turpeen nostoon asti ja vuosittain tuotantokentällä kaivettavan alueen pinta-ala on vain n. 1-2 ha. Menetelmä ei vaadi tehokasta kuivatusta ojittamalla (Silvan et al. 2010), joten tältä osin potentiaali vesistökuormituksen syntymiseen turpeen nostoalueelta on perinteisiin menetelmiin verrattuna pienempi. Turpeen kuivatusalueelta (ns. biomassakivi) syntyvä kiintoaine- ja ravinnekuormitus voi kuitenkin olla suhteellisen suurta (Silvan et al. 2010). Silvan et al. (2010) tutkimuksessa uuden menetelmän synnyttämät kiintoaine-, ravinne- ja COD<sub>Mn</sub> kuormitukset olivat merkittävästi pienempiä jyrshinturvemenetelmään verrattuna, etenkin tilanteissa, joissa kuormitus suhteutettiin tuotannon tehokkuuteen (MWh a<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>). Silvan et al. (2010) mukaan menetelmän merkittävin etu vesiensuojelun kannalta on tuotannon vaatiman paljaan turvepinnan pieni osuus, yleensä alle 5 %, verrattuna saman energiamäärän tuottamiseen jyrshinturvemenetelmällä (Silvan et al. 2010).

# 6 Turvetuotannon vesienkäsittelymenetelmien vaikutus kuormitukseen

Turvetuotannon vesistökuormitus pyritään saamaan mahdollisimman vähäiseksi jouduentuo-  
ntoalueen suunnitteluvaiheessa (Turveteollisuus-  
liitto 1990, Väyrynen ym. 2008). Myös turpeen  
nosto alueelta pyritään tekemään siten, että sen  
eri toimenpiteistä aiheutuva kiintoainekuormitus  
jäisi mahdollisimman vähäiseksi. Lisäksi syn-  
tyvää kiintoainekuormitusta vähennetään alu-  
een ojiin sijoitettavien, kiintoainetta pidättävien  
rakenteiden, ns. sarkaojarakenteiden, avulla.  
Edellä mainittujen toimenpiteiden lisäksi alueelta  
huuhtoutuvaa kuormitusta vähennetään tuotan-  
toalueen ulkopuolisilla vesiensuojelurakenteilla,  
joita ovat laskeutusaltaat, pintavalutus kentät, ke-  
miallinen puhdistus ja virtaamansäätö.

Uutta turvetuotantoaluetta suunniteltaessa  
(Turveteollisuusliitto 1990, Väyrynen ym. 2008)  
kiinnitetään erityistä huomiota sekä suoaluetta  
kuivaavan ojaverkoston että myös vesiensuojelu-  
rakenteiden sijoittamiseen ja mitoittamiseen. Suon  
kuivatus aloitetaan kaivamalla tuotantoalueen  
ympäri eristysojat, jotka estävät ulkopuolisen  
vesien pääsyn tuotantoalueelle. Eristysojat  
sijoitetaan siten, ettei niihin pääse irtonaista  
turvetta tuotannon aikana. Lisäksi niihin kaive-  
taan lietsyvennyksiä kaivuaikaisen kiintoaineen  
pysäyttämiseksi. Mikäli maasto- ja omistusolo-  
suhteet sallivat, ojien kaivu lopetetaan ennen  
vesien vesistöön johtamista ja vesien annetaan  
virrata pintavirtauksena alapuoliseen vesistöön.  
Tuotantokentän alapuoliset vesiensuojeluraken-  
teet sijoitetaan paikoilleen ennen tuotantoalueel-  
ta vesistöön johtavien ojien lopullista aukaisua.

Sarkaojarakenteet ovat jokaisen turvetuo-  
tandoalueen vesiensuojelun perusrakenteita.  
Niillä voidaan poistaa turvetuotantoalueiden  
valumavesistä kiintoainetta ja sen mukana  
kulkeutuvia ravinteita. Suodattimien toiminta pe-  
rustuu niiden kykyyn estää isompien turvelohka-

reiden kulkeutumisen kokoojaojaan. Sarkaoja-  
rakenteet eivät poista vedestä humusaineita ja  
liukoisia ravinteita eivätkä pienempiä kiintoaine-  
fraktioita. Niitä ovat turvetuotantoalueen sarka-  
ojien päihin kaivetut lietsyvennykset, päisteput-  
ket ja lietteenpidättimet (Hiljanen ja Rinttilä 1998,  
Selin ym. 1994, Ihme ym. 1991b, Savolainen ym.  
1996a, Väyrynen ym. 2008).

Turvetuotantoalueen ulkopuolisista vesien-  
suojelurakenteista kiintoainekuormitusta ja  
sen mukana kulkeutuvia ravinteita vähentävät  
laskeutusaltaat (Selin & Koskinen 1985, Ihme  
ym. 1991a). Roudattomana kautena niillä  
päästään 30–40 %:n kiintoaineen poistumaan  
(Savolainen ym. 1996b). Niillä ei voida juurikaan  
vaikuttaa liukoisten ravinteiden kuormitukseen.  
Laskeutusaltaat ovat turvetuotantoalueen lähei-  
syyteen kaivettuja altaita, joihin tuotantoalueen  
valumavedet johdetaan. Ne mitoitetetaan siten,  
että vedestä poistuu valumahuipun 300 l/s/km<sup>2</sup>  
aikana kiintoaine, joka laskeutuu nopeudella  
1m/h. Osa kiintoaineesta laskeutuu hitaammin ja  
ne eivät poistu suurten valumien aikana. Laskeu-  
tusaltaisiin kerääntynyt kiintoaine poistetaan tie-  
tyin aikaväleihin ja siirretään altaan vieressä ole-  
viin lietteen läjitysalueisiin.

Virtaaman säätö vähentää erityisesti suurten  
valumien aikaista kiintoainekuormitusta (Klöve  
1994, 1997, Marttila & Klöve 2009). Toiminta  
perustuu siihen, että viipymä ojistossa kasvaa,  
jolloin kiintoainelle jää aikaa laskeutua. Toisaal-  
ta ojaeroosio vähenee, koska virtausnopeudet  
vähenevät. Menetelmässä rakennetaan virtaa-  
mansäätöpatoja turvetuotantoalueen kokooja-  
ojiin (Väyrynen ym. 2008). Ellei tämä ole mah-  
dollista, voidaan virtaamansäätörakenne sijoittaa  
laskeutusaltaan yhteyteen. Tavoitteena on saada  
suurten valumien aikana turvetuotantoalueelta

huuhtoutuvaa kiintoainetta laskeutumaan alueen sarka- ja kokoojajoihin veden virtausta rajoittamalla ja hidastamalla. Virtaaman säätöpadossa on yleensä 2-3 halkaisijaltaan valuma-alueen koosta ja sarkaojien syvyydestä riippuvaista putkea. Näistä kaksi alinta putkea toimivat tavanomaisen valunnan aikana ja ylin putki tulvakausina. Veden padotusalueelle voi paikan ominaisuuksista riippuen pidättyä jossakin määrin myös ravinteita ja liukoisia orgaanisia aineita (Marttila & Klöve 2009). Virtaaman säätö on todettu sopivaksi useimmille turvetuotantoalueille (Väyrynen ym. 2008). Sen käyttö turvetuotannon vesiensuojelussa onkin lisääntynyt.

Kiintoaineen ohella myös rautaa, liukoisia orgaanisia aineita ja liukoisia ravinteita saadaan turvetuotannon valumavesistä poistumaan pintavalutuskenttien avulla (Ihme ym. 1991c, Ihme 1994, Heikkinen ym. 1995a, Heikkinen ym. 1995b, Heikkinen & Ihme 1995, Huttunen ym. 1996). Menetelmä perustuu suodatukseen sekä erilaisiin biogeokemiallisiin ilmiöihin kuten fosforin poistoon adsorptiossa ja typen poisto nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessissa. Kentät toimivat parhaiten kesällä, jolloin niillä tapahtuvat biologiset prosessit ovat tehokkaimmillaan. Kevät- ja syystulvien aikana niiden puhdistusteho heikkenee. Keskimääräiset pintavalutuskentillä saavutetut poistumat ovat roudattomana kautena olleet seuraavat: kiintoaine 55-72 %, kemiallinen hapenkulutus ( $COD_{Mn}$ ) 4-21 %, kok.Fe 30-58 %, kok.P 46-57 %,  $PO_4\text{-P}$  51-71 %, kok.N 29-49 %,  $NH_4\text{-N}$  33-92 % ja  $NO_3\text{-N}$  41-55 % (Ihme 1994). Pintavalutusmenetelmässä turvetuotantoalueen valumavedet ohjataan pinnaltaan ojittamattomalle suoalueelle. Vesi virtaa turpeen pintakerroksessa ja puhdistuu fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten prosessien seurauksena. Vesien käsittelyä pintavalutuksella pidetään nykyisin

yhtenä turvetuotannon vesiensuojelun parhaimpana ja käyttökelpoisimpana menetelmänä (BAT). Se onkin laajalti käytössä turvetuotantoalueilla eri puolilla Suomea. Nykyisin sen käyttöä edellytetään lähes kaikilla uusilla turvetuotantoalueilla.

Kiintoainetta, rautaa, liukoisia orgaanisia aineita ja liukoista epäorgaanista fosforia voidaan turvetuotannon valumavesistä poistaa myös kemiallisella vedenpuhdistuksella. Menetelmällä on saatu seuraavat keskimääräiset poistumat: kiintoaine 50 - 91 %, kok. P 48 - 86 % ja kok. N 1-34 %. Veden kemiallinen hapenkulutus ( $COD_{Mn}$ ) sekä väriarvot ovat alentuneet 70 - 90 % (Selin ym. 1994). Menetelmä ei poista valumavesistä liukoista epäorgaanista typpeä ja se sopii veden kesäaikaiseen puhdistukseen. Kemiallisessa vedenpuhdistuksessa veteen lisätään kemikaaleja, jotka saostavat veteen liuenneita aineita. Saostuneet aineet poistetaan vedestä laskeuttamalla. Jos saostuskemikaalina käytetään ferri- tai ferrikloridisulfaattia, menetelmä vaatii happamuuden säädön sekä puhdistuksen jälkeisen veden neutraloinnin. Pintavalutusmenetelmän ohella myös kemiallinen vedenpuhdistus luetaan turvetuotannon vesiensuojelun parhaimpien ja käyttökelpoimpien menetelmien (BAT) joukkoon.

Viime aikoina on saatu viitteitä siitä, että myös ojitetulle suoalueelle voitaisiin perustaa turvetuotannon valumavesiä puhdistava kosteikko (Postila ym. 2011). Tällaisella kosteikolla on jo nyt verraten luotettavasti saatu valumavedestä poistumaan kiintoainetta ja epäorgaanista typpeä. Monista tutkimuskosteikoista on kuitenkin huuhtoutunut humusaineita, rautaa ja fosforia. Menetelmää ollaankin vielä edelleen kehittämässä.

# Lähdeluettelo

- Ahti E (1980) Ditch spacing experiments in estimating the effects of peatland drainage on summer runoff. *International Association of Hydrological Sciences Publication* 130, Wallingford, IAHS: 49-53.
- Ahti E, Alasaarela E & Ylitolonen A (1995) Kunnostusojituksen vaikutus ojitusalueen hydrologiaan ja valumavesien ai-  
nepitoisuuksiin. In: Saukkonen S & Kenttämies K (ed). *Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta*. Finnish  
Environment 2. Suomen ympäristökeskus.
- Ahti E & Hökkä H (2006) Effects of the growth and volume of Scots pine stands on the level of the water table on peat in  
Central Finland, in: Amatya DM & Nettles J (eds), *Hydrology and Management of Forested Wetlands*, Proceedings of  
the International Conference, 8–12 April 2006, New Bern, North Carolina, ASABE, Michigan, USA: 309-315.
- Burke W (1967) Principles of drainage with special references to peat. *Irish Forestry* 24: 1-7.
- Burt TB, Heathwaite AL & Labadz JL (1990) Runoff production in peat covered catchments. In: Andersson MG & Burt TP  
(eds), *Process studies in hillslope hydrology*, John Wiley: 463-499.
- Burt TB (1995) The role of wetlands in runoff generations from headwater catchments. In: Hughes J & Heathwaite L  
(eds.), *Hydrology and hydrochemistry of British wetlands*, John Wiley: 22-38.
- Clymo RS (1987) The ecology of peatlands. *Science Progress Oxford* 71: 593-614.
- Conway VM & Millar A (1960) The hydrology of some small peat covered catchments in the Northern Pennines. *Journal  
for Institute of Water Engineers* 14: 415-424.
- Coulson JC, Butterfield JEL & Henderson E (1990) The effect of open drainage ditches on the plant and invertebrate  
communities of moorland and on the decomposition of peat. *Journal of Applied Ecology* 27(2): 549-561.
- Culloch FM (2006) *Guidelines for the Risk Management of Peat Slips on the Construction of Low Volume/ Low Cost Road  
Over Peat*. Forestry Civil Engineering Forestry Commission, Scotland, pp. 1-46.
- Dorioz JM (1996) *Phosphorus storage and transformation in river systems of the lake Lemán basin*. Sediment and Phos-  
phorus. Proceedings. NERI Technical Report No. 178: 81-88.
- Dunn SM & Mackay R (1996) Modelling the hydrological impacts of open ditch drainage. *Journal of Hydrology*, 179: 37-  
66.
- Egglesmann W, Heathwaite AL, Gross-Braukmann G, Kuster GE, Naucke W, Schuch M & Schweikle V (1993) Physical  
processes and properties of mires. In: Heathwaite AL & Gottlich K (eds), *Mires, Processes, exploitation and conserva-  
tion*, Chichester, Wiley: 171-262.
- Einola E, Rantakari M, Kankaala P, Kortelainen P, Ojala A, Pajunen H, Mäkelä S & Arvola L (2011) Carbon pool and fluxes  
in a chain of five boreal lakes: a dry and wet year comparison. *Journal of geophysical research* 116, G03009.
- Ekwue ET (1992) Quantification of the effect of peat on soil detachment by rainfall. *Soil & Tillage Research* 23: 141-151.
- Evans M & Warburton J (2007) *Geomorphology of upland peat*. Erosion, form and landscape change. RGS-IBG book  
series, Blackwell publishing, 262 p.
- Francis IS & Taylor JA (1989) The effect of forestry drainage operations on upland sediment yields: A study of two peat-  
covered catchments. *Earth Surfaces Processes and Landforms*. 14: 73-83.
- Franzén LG (2006) Increased decomposition of subsurface peat in Swedish raised bogs: are temperate peatlands still  
net sinks of carbon? *Suo-Mires and Peat*, Volume 1, Article 03, <http://www.mires-and-peat.net>
- Heikkinen K (1990) Nature of Dissolved Organic Matter in the Drainage Basin of a Boreal Humic River in Northern Fin-  
land. *Journal of Environmental Quality* 19: 649-657.
- Heikkinen K & Visuri A (1990) *Orgaanisten aineiden merkityksestä ja pidättymisestä virtaavan veden ekosysteemissä*.  
Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja A 49, Helsinki. 72 s.



- Heikkinen K, Ihme R, Lakso E (1994) *Ravinteiden, orgaanisten aineiden ja raudan pidättymiseen johtavat prosessit pintavalutuskentällä*. Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A, 193. 81 s.
- Heikkinen K & Ihme R (1995) Retention of organic Fe-P-colloids from peat mining water in an overland flow wetland treatment system in northern Finland. *Archiv für Hydrobiologie* 134: 547-560.
- Heikkinen K, Ihme R & Lakso E (1995a) Contribution of cation exchange property of overflow wetland peat to removal of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> discharged from some Finnish peat mines. *Applied Geochemistry* 10: 207-213.
- Heikkinen K, Ihme R, Osma A-M & Hartikainen H (1995b) Phosphate removal by peat from peat mining drainage water during overland flow wetland treatment. *Journal of Environmental Quality* 24: 597 - 602.
- Heikurainen L, Kenttämies K & Laine L (1978) The environmental effects of forest drainage. *Suo-Mires and Peat* 29: 49-58.
- Hillman G (1988) Preliminary effects of forest drainage in Alberta, Canada on groundwater table levels and stream water quality. In: *Proceedings of the International Symposium on the Hydrology of Wetlands in Temperate and Cold Regions*, Joensuu, Finland 6-8 June, 1988. Helsinki. Suomen akatemian julkaisuja 4/1988 vol. 1. s. 46-51. ISBN 951-715-215-9.
- Hiljanen R & Rinttilä R (1998) *Lietteenpidätintutkimus Haapaveden Piipsannevalla 1997*. Vapo Oy Energia , 32 s.
- Holden J & Burt TP (2002) Laboratory experiments on drought and runoff in blanket peat. *European Journal of Soil Science* 53: 675-689.
- Holden J, Chapman PJ & Labadz JC (2004) Artificial drainage of peatlands: hydrological and hydrochemical process and wetland restoration. *Progress in Physical Geography* 28: 95-123.
- Holden J, Evans MG, Burt TP & Horton MM (2006) Impact of land drainage on peatland hydrology. *J. Environ. Qual* 35(5): 1764-1778.
- Holden J (2009) Upland hydrology. In: Bonn A, Allott TEH, Hubacek K & Stewart J (eds.) *Drivers of change in upland environments*. Routledge, Oxon: 113-134.
- Huttunen A, Heikkinen K & Ihme R (1996) Nutrient retention in the vegetation of an overland flow treatment system in northern Finland. *Aquatic Botany* 55: 61-73.
- Hynninen P (1988) *Changes in water quality in the River Kiiminkojoki in 1971-1985*. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 25. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki.
- Hyvärinen V & Vehviläinen B (1981) *The effects of climatic fluctuations and man of discharge in Finnish river basins*. Publications on Water Research Institute, National Board of Waters, Finland. No 43. Helsinki: 15-23.
- Ihme R (1994) *Pintavalutus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa*. VTT julkaisuja 798. Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- Ihme R, Heikkinen K & Lakso E (1991a) *Laskeutusaltaiden toimivuuden parantaminen turvetuotantoalueiden valumavesien käsittelyssä*. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 77 s. 115-210. Vesi- ja ympäristöhallitus.
- Ihme R, Heikkinen K & Lakso E (1991b) *Turvetuotantoalueiden kuormituksen pidättäminen sarkaojiin*. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 77 s. 211-260. Vesi- ja ympäristöhallitus.
- Ihme R, Heikkinen K & Lakso E (1991c) *Pintavalutus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa*. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 75. Vesi- ja ympäristöhallitus.
- Iritz L, Johansson B & Lundin L (1994) Impact of forest drainage on floods. *Hydrological Sciences* 39(6): 637-661.
- Joensuu S (2002) *Effects of ditch network maintenance and sedimentation ponds on export loads of suspended solids and nutrients from peatland forests*. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 868.
- Kantonen S (2011) *Turvetuotannon valumavesien ympärivuotinen käsittely pintavalutuskentillä ja muilla kosteikoilla*. Diplomityö. Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorio. 116 s. + liitteet. Saatavissa: [www.oulu.fi/poves/pages/publ/dipl/sarikantonen.pdf](http://www.oulu.fi/poves/pages/publ/dipl/sarikantonen.pdf)

- Karjalainen S-M, Heikkinen K, Ihme R & Klöve B. *Long term purification efficiency of wetland constructed to treat runoff from peat extraction area*. Julkaisematon.
- Kazemian S, Huat B, Prasad A & Barghchi M (2011) A state of the art review of peat: Geotechnical engineering perspective. *International Journal of the Physical Sciences* 6(8): 1974-1981.
- Kenttämies K & Saukkonen S (1996) *Metsätalous ja vesistöt*. Yhteistutkimusprojektin ”Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta” (METVE) yhteenveto. MMM:n julkaisuja 4, 1996.
- Klöve B (1994) *Turvetuotannon kiintoainekuormituksen vähentäminen*. Lisensiaattityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto.
- Klöve B (1997) *Environmental impact of peat mining; development on storm water treatment methods*. Doctoral thesis, Lund Univ., Lund.
- Klöve B (1998) Erosion and sediment delivery from peat mines. *Soil and Tillage Research* 45: 199-216.
- Klöve B & Bengtsson L (1999) Runoff generation in a plough-drained cutover fen in Central Finland. *Journal of Hydrology* 218: 157-168.
- Klöve B (2000) Effect of peat harvesting on peat hydraulic properties and runoff generation. *Suo-Mires and Peat* 51 (3): 121-129.
- Klöve B (2001) Characteristics of nitrogen and phosphorus loads in peat mining wastewater. *Water Research* 35(10): 2353-2362.
- Kværner J & Klöve B (2008) Generation and regulation of summer runoff in a boreal flat fen. *Journal of Hydrology* 360: 15-30
- Koivusalo H, Kokkonen T, Laurén A, Ahtiainen M, Karvonen T, Mannerkoski H, Penttinen S, Seuna P, Starr M & Finér L (2006) Parametrisation and application of a hillslope hydrological model to assess impacts of forest clear-cutting on runoff generation, *Environmental Modelling and Software* 21: 1324-1339.
- 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 Science* 12: 1211-1227.
- Komiteanmietintö (1988) *Metsä- ja turvetalouden vesiensuojelutoimikunnan mietintö 1987*: 62. Helsinki, Valtion painatuskeskus.
- Kortelainen P, Mattsson T, Finér L, Ahtiainen M, Saukkonen S & Sallantausta T (2006) Controls on the export of C, N, P and Fe from undisturbed boreal catchments, Finland. *Aquatic Sciences* 68(4): 453-468.
- Korkalainen T, Laurén A, Koivusalo H & Kokkonen T (2008) Impacts of peatland drainage on the properties of typical water flow paths determined from a digital elevation model. *Hydrology Research* 39(5-6): 359-368.
- Krug A (1993) Drainage history and land use pattern of a Swedish river system- their importance for understanding nitrogen and phosphorus load. *Hydrobiologia* 251: 285-296.
- Laine J & Vasander H (1998) Suo ekosysteeminä. In: Vasander H (ed), *Suomen suot*, s.10-19. Suoseura. Gummerus.
- Leinonen A (ed, 2010). *Turpeen tuotanto ja käyttö - Yhteenveto selvityksistä*. Espoo. VTT tiedotteita – Research Notes 2550. 104 s.
- Leskelä A, Pienimäki M & Pekkala M (2010) *Selvitys turvetuotannon humuspäästöistä ja humuksen merkityksestä vesistöissä*. Pöyry Finland Oy.
- Lundin L (1988) *Impacts of drainage for forestry on runoff and water chemistry*. Symposium on the hydrology of wetlands in temperate and cold regions. Joensuu, 1: 197-205.
- Maa- ja metsätalousministeriö (2011) *Ehdotus soiden ja turvemaiden kestävä ja vastuullisen käytön ja suojelun kansalliseksi strategiaksi*. Helsinki. Työryhmämuistio, MMM 2011:1. 161 s.

- Marja-aho J & Koskinen K (1989) *Turvetuotannon vesistövaikutukset*. Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallitus julkaisu 36. 203 s.
- Marttila H & Kløve B (2008) Erosion and delivery of deposited peat sediment. *Water Resources Research* 44, W06406.
- Marttila H & Kløve B (2009) Retention of sediment and nutrients loads with peak runoff control. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 135(2): 210-216.
- Marttila H (2010) *Managing erosion, sediment transport and water quality in drained peatland catchments*. Universitatis Ouluensis, C375. Doctoral thesis.
- Mattsson T, Finér L, Kortelainen P & Sallantausta T (2003) Brookwater quality and background leaching from unmanaged forested catchments in Finland. *Water Air and Soil Pollution* 147(1-4): 275-297.
- Moklyak V, Kubysjkin G & Kurkutsiev G (1975) The effect of drainage works on streamflow. In: *Hydrology of marsh-ridden areas*. Proceeding of the Minsk Symposium: 439-446.
- Mustonen S (1964) Ojituksen vaikutuksesta suon hydrologiaan. *Rakennustekniikka* 3:204-209.
- Mustonen S & Seuna P (1971) *Metsäojituksen vaikutuksesta suon hydrologiaan*. Helsinki, Vesihallitus, Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 2, 63pp.
- Mustonen S & Seuna P (1972) Influence of forest drainage on the hydrology of an open bog in Finland. *Proc. of the Minsk Symposium in Hydrology of marsh-ridden areas*: 519-530.
- Newson MD & Robinson M (1983) Effects of agricultural drainage on upland streamflow: Case studies in Mid-Wales. *Journal of Environmental Management* 17(4): 333-348
- Nuutinen J, Yli-Pirilä P, Hytönen K & Kärtevä J (2007) *Turvetuotannon pöly- ja melupäästöt sekä vaikutukset lähialueen ilmanlaatuun*. Kuopio. Symo Oy:n julkaisu. 41 s.
- Pawson RR, Evans MG & Allott TE (2006) The role of particulate organic carbon (POC) in the carbon cycle of degrading upland peat systems. *Geophysical Research Abstracts*, 8.
- Pekkala M (2009) *Turvetuotantoalueiden vesistökuormituksen arviointi YVA-hankkeissa ja ympäristölupahakemuksissa*. Yhteenveto tutkimusten ja kuormitustarkkailujen tuloksista. Pöyry Finland Oy.
- Pirkanmaan ympäristökeskus (2009). *Pirkanmaan pintavesien toimenpideohjelma vuoteen 2015*. Pirkanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 8/2010. 135 s. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=123842&lan=fi>.
- Postila H, Heikkinen K, Saukkoriipi J, Karjalainen SM, Kuoppala M, Härkönen J, Visuri M, Ihme R & Kløve B (2011) *Turvetuotannon valumavesien ympärivuotinen käsittely*. TuKos-hankkeen loppuraportti.
- Prévost M, Plamondon A & Belleau P (1999) Effects of drainage of a forested peatland on water quality. *Journal of Hydrology*. 214(1-4): 130-143.
- Päivänen J (1973) *Hydraulic conductivity and water retention in peat soils*. Hämeenlinna. Suomen Metsätieteellinen Seura. Acta Forestalia Fennica vol. 129. 70 s. ISBN 951-651-004-3.
- 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(3): 131-138.
- Pöyry Environment Oy (2009) *Vapo Oy, Turvetuotantoalueiden vesistökuormituksen arviointi YVA-hankkeissa ja ympäristölupahakemuksissa*, Yhteenveto tutkimusten ja kuormitustarkkailujen tuloksista. 39 s + liitteet.
- Robinson M (1986) Changes in catchment runoff following drainage and afforestation. *Journal of Hydrology* 86(1-2): 71-84.
- Saarnio S, Morero M, Shurpali NJ, Tuittila E-S, Mäkilä M & Alm J (2007) Annual CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes of pristine boreal mires as a background for the lifecycle analyses of peat energy. *Boreal Environment Research* 12(2): 101-113.

- Sallantaus T (1983) *The load to watercourses from peat mining*. MSc thesis, Helsinki University, Department of Limnology, 122 pp.
- Sallantaus T (1986) *Soiden metsä- ja turvetalouden vesistövaikutukset - kirjallisuuskatsaus*. Maa- ja metsätalousministeriö. Helsinki, 203pp.
- Savolainen M, Heikkinen K & Ihme R (eds, 1996a) *Turvetuotannon vesiensuojeluohjeisto*. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Ympäristönsuojelu. Ympäristöopas 6.
- Savolainen M, Kaasinen A, Heikkinen K, Ihme R, Kämä T & Alasaarela E (1996b) *Turvetuotannon vesiensuojeluvaihtoehtojen tapauskohtainen vertailu*. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Ympäristönsuojelu. Suomen ympäristö 35.
- Selin P & Koskinen K (1985) *Laskeutusaltaiden vaikutus turvetuotantoalueiden vesistökuormitukseen*. Helsinki. Vesihallitus. Tiedotus 262. 112 s.
- Selin P, Marja-Aho J & Madekivi O (1994) AQUA PEAT 95. Uusia menetelmiä turvetuotannon vesienkäsittelyyn. *Kauppaja teollisuusministeriön energiaosaston katsauksia B:182*.
- Seuna P (1981) *Long term influence of forest drainage on the hydrology of an open bog in Finland*. Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters, Finland, 43.
- Silins U & Rothwell RL (1998) Forest peatland drainage and subsidence affect soil water retention and transport properties in an Alberta Peatland. *Soil Science Society of America Journal* 62: 1048-1056.
- Sirin A, Volpersky S & Nazarov N (1991) Influence of forest drainage on runoff: main concepts and examples from central part of the USSR European territory. *Ambio* 20: 334-339.
- Starr M & Päivänen J (1981) The influence of peatland forestry drainage on runoff peak flows. *Suo-Mires and Peat* 32(3): 79-84.
- Steward AJ (1991) Effects of moor-draining on the hydrology and vegetation of northern Pennine blanked bog. *Journal of Applied Ecology* 28(3): 1105-1117.
- Röpelinen J (2000) *Tuotantokentällä tehtävien toimenpiteiden vaikutus turvetuotannon valumavesien määrään ja laatuun*. Väitöstyö. Oulun yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. 173 s.
- Turveteollisuusliitto ry (1990) *Turvetuotannon ympäristöohje*. Jyväskylä.
- Turveteollisuusliitto ry (2002) *Turvetuotannon ympäristövaikutusten arviointi - Ohjeita turvetuotannon luonto- ja naapurussuhde vaikutusten arvioimiseksi*. Jyväskylä.
- Tuukkanen T, Klöve B, Marttila H, Heikkinen K & Karppinen A (2011) *Turvetuotannon vesistökuormituksen ennakointi ja uudet hallintamenetelmät: TUVEKU-hankkeen loppuraportti*. Tilastollinen analyysi kuormitustulokseen vaikuttavista tekijöistä pintavalutuskentillä ja vesiensuojelukosteikoilla. Työraportti, Liite 1.
- Rossi P & Klöve B (2009) *Effect of land use and climate variation on groundwater dependent lakes at Rokua esker, Finland*. 2<sup>nd</sup> International Multidisciplinary conference on hydrology and ecology. Ecosystems interfacing with groundwater and surface water. Vienna, Austria 20-23 April 2009.
- Silvan N, Silvan K & Laine J (2010) Excavation-drier method of energy-peat production reduces detrimental effects of this process on watercourses. *Boreal Environment Research* 15: 347-356.
- Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005 (1998) *Suomen ympäristö 226*. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto.
- Virtanen K (1994) *Geological control of iron and phosphorus precipitates in mires of the Ruukki-Vihanti area, central Finland*. Väitöstyö. Geological Survey of Finland . Bulletin 375, 69 s.
- Väyrynen T, Aaltonen R, Haavikko H, Juntunen M, Kalliokoski K, Niskala A-L & Tukiainen O (2008) *Turvetuotannon ympäristönsuojeluopas*. Ympäristöopas. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Ympäristönsuojeluosasto. Edita Prima Oy, Helsinki. 87 s.

Åstrom M, Aaltonen EK & Koivusaari J (2001) Impact of ditching in a small forested catchment on concentrations of suspended material, organic carbon, hydrogen ions and metals in stream water. *Aquatic Geochemistry* 7: 57-73.

Åstrom M, Aaltonen EK & Koivusaari J (2002) Impact of forest ditching on nutrients loadings of a small stream – a paired catchment study in Kronoby, W. Finland. *Science of the Total Environment* 297: 127-140.



Tässä raportissa selvitetään jo olemassa olevan tiedon avulla turvetuotantoalueen vesistökuormitukseen vaikuttavia tekijöitä. Raportti on pääasiassa yhteenveto aiemmista tutkimuksista. Katsauksessa kuormitukseen vaikuttavia tekijöitä ja niiden merkitystä arvioidaan raportin laatineiden tutkijoiden aiempien töiden ja näkemysten pohjalta.

Raportin tavoitteena on koota yhteen aiempaa tietoa ja analysoida tämä uudesta, ja siten tuottaa uutta tietoa.