

# Turvetuotannon vesistökuormituksen ennakointi ja uudet hallintamenetelmät

**Björn Klöve, Jaakko Saukkoriipi, Tapio Tuukkanen, Elisangela Heiderscheidt, Kaisa Heikkinen, Hannu Marttila, Raimo Ihme, Laëtitia Depre, Anssi Karppinen**

YMPÄRISTÖN-  
SUOJELU





## Turvetuotannon vesistö- kuormituksen ennakointi ja uudet hallintamenetelmät

**Björn Klöve, Jaakko Saukkoriipi, Tapio Tuukkanen,  
Elisangela Heiderscheidt, Kaisa Heikkinen, Hannu Marttila,  
Raimo Ihme, Laëtitia Depre, Anssi Karppinen**

Helsinki 2012

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS



S Y K E

SUOMEN YMPÄRISTÖ 35 | 2012

Suomen ympäristökeskus (SYKE)

Taitto: Ritva Koskinen  
Kansikuva: Anssi Karppinen

Julkaisu on saatavana myös internetistä:  
[www.ymparisto.fi/julkaisut](http://www.ymparisto.fi/julkaisut)

Edita Prima Oy, Helsinki 2012

ISBN 978-952-11-4092-1 (nid.)  
ISBN 978-952-11-4091-4 (PDF)  
ISSN 1238-7312 (pain.)  
ISSN 1796-1637 (verkkoj.)



## SISÄLLYS

<b>I Johdanto</b> .....	5
<b>2 Kuormituksen muodostuminen ja ennakointi</b> .....	6
2.1 Taustaa .....	6
2.2 Aineisto ja menetelmät .....	6
2.3 Kiintoaineen eroosio ja kulkeutuminen .....	8
2.4 Ravinteiden huuhtoutuminen .....	9
<b>3 Syyt puhdistustuloksen vaihteluun pintavalutus kentillä ja ojitetuilla vesiensuojelukosteikoilla</b> .....	11
3.1 Tilastollinen analyysi puhdistustehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä pintavalutus kentillä ja ojitetuilla vesiensuojelukosteikoilla .....	11
3.1.1 Taustaa .....	11
3.1.2 Aineisto ja menetelmät .....	11
3.1.3 Tulokset ja johtopäätökset .....	14
3.2 Pintavalutus kenttien mitoitushojjeiden toteutuminen .....	17
<b>4 Pienkemikalointiaseman puhdistustehokkuuden parantaminen: saostusolosuhteiden optimointi</b> .....	19
4.1 Taustaa .....	19
4.2 Laboratoriokokeet .....	21
4.3 Tulokset .....	21
4.3.1 Annostelun optimointi .....	22
4.3.2 Sekoitusparametrien optimointi .....	23
4.3.3 Kemikaalien laskeutusominaisuudet sekä lämpötilan vaikutus puhdistustulokseen .....	24
4.4 Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet .....	25
<b>5 Yhteenveto</b> .....	27
<b>Viitteet</b> .....	28
<b>Kuvailulehdet</b> .....	29



# 1 Johdanto

Turvetta nostetaan Suomessa vuosittain n. 25 miljoonaa kuutiometriä, josta energiaturpeen osuus on n. 23 milj. kuutiometriä. Suomessa tuotetaan yli 50 % maailman energiaturpeesta. Turpeen noston aiheuttamat muutokset valunnassa ja biogeokemiallisissa prosesseissa johtavat kiintoaine- ja ravinnekuormituksen lisääntymiseen alapuolisissa vesistöissä, mikä on nähtävissä erityisesti pohjien liettymisenä. Turvetuotannon kuormitusta onkin pyrittävä vähentämään koko elinkaaren vesistövaikutukset huomioon ottavilla parhailla käyttökelpoisilla tekniikoilla.

Pintavalutus on vakiintunut parhaaksi käytettävissä olevaksi tekniikaksi (BAT) turvetuotannon valumavesien puhdistuksessa. Myös ojitettujen vesiensuojelukosteikkojen käyttö käytännön vesiensuojelussa on yleistynyt, koska pinnaltaan ojittamatonta suoaluetta ei enää useinkaan ole tarjolla turvetuotantosoiden läheisyydessä. Viime vuosina tämä on johtunut suurelta osin siitä, että tuotantoa on ohjattu pois luonnontilaisilta suoalueilta. Myös veden kemiallinen puhdistus on yleistynyt BAT menetelmänä. Kemiallisen puhdistuksen käyttöä puolestaan rajoittavat korkeat kustannukset. Tämän vuoksi kustannuksiltaan alempi ns. pienemmän mittakaavan kemikalointi on käytössä jo nyt sellaisilla pienillä turvetuotantosoilla, joille on asetettu korkeat puhdistusvaatimukset. Vielä ei kuitenkaan ole riittävästi tietoa mm. ojitettujen kosteikkojen sekä pienkemikaloinnin puhdistustehokkuudesta ja toimintavarmuudesta sekä niihin vaikuttavista tekijöistä. Viime aikoina on myös useissa eri yhteyksissä noussut esiin tarve kyetä entistä paremmin ennustamaan ja arvioimaan turvetuotantosoilta vesistöihin kohdistuvaa kuormitusta turvetuotantosoiden paikallisten ominaisuuksien perusteella. Tätä tietoa tarvitaan erityisesti kuormituksen tason paikallisen arvioinnin tarkentamiseen.

Turvetuotannon vesistökuormituksen ennakointi ja uudet hallintamenetelmät (TuVeKu) – hankkeen osatavoitteina oli I) arvioida aiemmin seurannan kohteina olleiden turvetuotantosoiden paikallisten ominaisuuksien vaikutusta syntyvään vesistökuormitukseen sekä löytää syitä pintavalutuskentillä ja ojitetuilla vesiensuojelukosteikoilla havaittuun puhdistuskyvyn vaihteluun sekä II) selvittää millaisin toimenpitein Vapo Oy:llä käytössä olevan rakeisen saostuskemikaalin syöttöön perustuvan pienkemikalointiaseman toimintaa voidaan tehostaa. Osatavoitteen I osalta tutkimuksessa pyrittiin löytämään kuormituksen muodostumiseen ja vesiensuojelukosteikkojen puhdistustehokkuuteen vaikuttavia potentiaalisia uusia tekijöitä sekä todentamaan aiempia tutkimustuloksia laajalla aineistolla. Osatutkimuksessa II keskityttiin pienkemikalointimenetelmän saostusprosessin eri osa-alueiden optimointiin laboratorio-olosuhteissa neljälle rakeiselle kemikaalille. Kokeiden tarkoituksena oli selvittää, millaisin edellytyksin puhdistustuloksen saisi maksimoitua, pienentäen samalla käsittelyssä tarvittavia kemikaalimääriä.

Tässä raportissa esitetään TuVeKu-hankkeessa saadut keskeiset havainnot ja johtopäätökset.

Aineiston käsittely ja tilastolliset analyysit toteutettiin yhteistyössä Oulun yliopiston Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorion ja Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) kanssa. Osatehtävässä I käytetty aineisto kerättiin VAPO Oy:n toimesta kesällä 2010. Hankkeen rahoitti Vapo Oy.

## 2 Kuormituksen muodostuminen ja ennakointi

### 2.1

#### Taustaa

Kuormituksen ja suolta valuvien vesien ainespitoisuuksien ennakointi on tärkeä perustieto. Kentille tulevan veden pitoisuus selittää osittain kosteikoilla saavutettua puhdistustulosta. Eri aineiden poistumat ovat yleensä suuria, kun tuleva pitoisuus on suuri. Kun valumaveden pitoisuuksiin vaikuttavat tekijät tunnetaan, voidaan kuormitus ennakoida ja osin jopa puuttua kuormituksen syntymiseen. Tieto pitoisuuden vaihtelusta antaa myös tietoa erityyppisten soiden välisistä kuormituseroista. Pitoisuuden ennakointi on kuitenkin virtaaman ennakointia epävarmempaa. Tässä tiivistelmässä esitellään lyhyesti kuormituksen muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä ja kerrotaan, minkälaisia riippuvuuksia TuVeKu-aineistosta havaittiin (Tuukkanen ym. 2011). Pääpaino on uusissa tuloksissa ja havainnoissa.

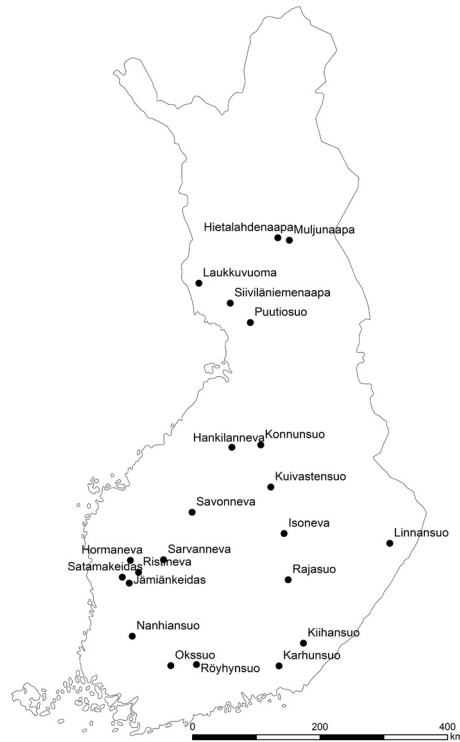
### 2.2

#### Aineisto ja menetelmät

TuVeKu-hankkeessa analysointiin vesiensuojelukosteikoille tulevaa kuormitusta käyttäen hyväksi Vapo Oy:n kuormitustarkkailuaineistoa 22 turvetuotantoalueelta (kuva 1). Kuormitustarkkailussa veden virtaamaa mitattiin jatkuvatoimisesti mittapatojen ja pinnankorkeusantureiden avulla valuma-alueen purkupisteestä, vesiensuojelukosteikon alapuolisesta kokooajojasta. Kuormituksen analysoinnissa päädyttiin lähtevän veden virtaaman hyödyntämiseen, koska tulevan veden virtaamatietoja ei valtaosalla kohteista ollut saatavilla. Vesinäytteiden näytteenottoitiheys ja seuranta-aika vaihtelivat aineistossa suokohtaisesti. Pääosin vesinäytteitä oli kerätty tuotantokaudella vähintään kerran kahdessa viikossa. Ympärivuotisen seurannan piirissä oli kaikkiaan 5 suota. Vesinäytteistä määritetyt vedenlaatumuuttajat vaihtelivat turvetuotantoalueittain, kuitenkin siten, että kaikilta kohteilta otetuista vesinäytteistä analysoitiin vähintään kiintoaine (SS), kokonaisfosfori ( $P_{tot}$ ), kokonaistyyppi ( $N_{tot}$ ) ja kemiallinen hapenkulutus ( $COD_{Mn}$ ). Lisämäärityksinä kohteesta riippuen analysoitiin ammoniumtyyppi- ( $NH_4-N$ ), nitriitti- ja nitraattitypen summa ( $NO_{2/3}-N$ ), fosfaattifosfori- ( $PO_4-P$ ), rauta- ja alumiinipitoisuudet sekä veden pH, sähkönjohtavuus ja lämpötila.

Tutkimukseen valittiin mukaan vain sellaisia soita, joilla valuma-alueelta lähtevän kuormituksen lisäksi oli seurattu vesiensuojelukosteikolle tulevan veden laatua. Kuormitustarkkailujen pituus soilla vaihteli yhdestä vuodesta kymmeneen vuoteen. Kuormituksen muodostumista tarkasteltiin kiintoaineen, fosforin, typen, raudan ja orgaanisen aineen ( $COD_{Mn}$ ) osalta. Vedenlaatuaineiston lisäksi kerättiin laaja aineisto seurannan kohteina olevien soiden paikallisista ominaisuuksista. Tutkimuskohteilla turpeen korjuualat vaihtelivat 61 hehtaarista 380 hehtaariin ja soiden käyttöönotto-





**Kuva I.** TuVeKu-hankkeen tutkimuskohteiden sijainti.

vuosi vaihteli välillä 1976–2004. Vedenlaatuaineisto, kenttähavainnot ja tutkittujen soiden perusominaisuudet on kuvattu tarkemmin raportissa Tuukkanen ym. (2011). Aineistoa tutkittiin tilastollisesti korrelaatio- ja regressioanalyysin avulla sekä tarkastelemalla kuormituksen kausittaista vaihtelua aikasarjojen avulla. Kuormituksen muodostumista ja siihen vaikuttavia tekijöitä analysoitiin yksittäisillä soilla sekä vertaamalla soilta mitattuja keskimääräisiä pitoisuuksia toisiinsa. Kuormituksen muodostumista selittävinä tekijöinä tarkasteltiin taulukossa 1 esitetyjä muuttujia. Seuraavissa kappaleissa keskitytään ainoastaan aineiston perusteella havaittuihin keskeisiin tekijöihin.

**Taulukko I.** Hankkeessa tarkastellut turvetuotantoalueelta syntyvää kuormitusta selittävät tekijät.

Perustekijät	Maaperän ominaisuudet	Maantieteelliset	Geologiset	Muut
Virtaama	Turvepaksaus*	Etäisyys rannikosta	Geokemiallinen maalajiprovinssi	Tuotannon aloitusvuosi
Valunta	Turpeen maatuneisuus*	Korkeus mpy.	Litorina-alue	Tuotettava tuote*
Lämpötila	Fe/Al turpeessa [mg/kg]*	P-koordinaatti	Mustaliuskealue	Tuotantomenetelmä*
pH	Kivennäismaan d50 -raekoko**	I-koordinaatti	Pohjavesialueen läheisyys	
Tuotantoalueen pinta-ala*	Kivennäismaan hienoainepitoisuus			
	Ojitusvyvyys*			

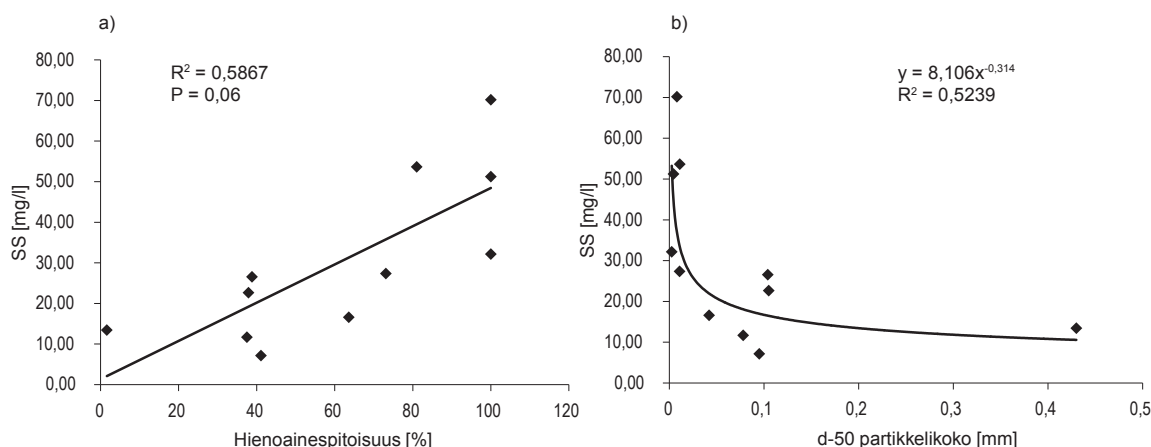
\*Ominaisuustieto aineistossa epävarma, koska ominaisuus voi vaihdella seurantavuositain tai tieto ei välttämättä vastaa seuranta-aikaa.

\*\*Kivennäismaan d50-raekoko määritettiin seulomalla maanäytteet. d50 vastaa seulonnassa seula-kokoa, jolla 50 % alkuperäisestä näytteestä läpäisi seulan.

## Kiintoaineen eroosio ja kulkeutuminen

Turvetuotannon aiheuttama kiintoainekuormitus on seurausta turpeen eroosiosta ja kulkeutumisesta valumaveden mukana vastaanottavaan vesistöön. Myös turvekerroksen alapuolinen mineraalimaa voi erodoitua, jos kuivatus ja/tai kokoojaojat läpäisevät turvekerroksen. Yleensä pitoisuus kasvaa virtaaman lisääntyessä (Marttila ja Klöve 2008). Aineistomme osoittaa, että suon turvekerroksen alapuolisen mineraalimaan raekoko selittää valumaveden keskimääräistä kiintoainepitoisuutta niillä kohteilla, joilla mineraalimaakontakti havaittiin. Mitä hienojakoisempi mineraalimaa on, sen suurempi on valumaveden kiintoainepitoisuus (Kuva 2). Virtaama, joka aiemmissa tutkimuksissa selittää kiintoainepitoisuuksien kasvua, ei tässä aineistossa selittänyt kiintoainepitoisuuksia. Tämä johtunee harvasta, tulva-aikanakin yleensä vain kerran viikossa toteutetusta näytteenotosta, jolla yksittäisten valuntatapahtumien aikana esiintyviä riippuvuuksia ei voida havaita.

Osalla kohteista havaittiin vesienpuhdistusrakenteen yläpuolisissa näytteissä korkeita kiintoainepitoisuuksia, vaikka ennen vesiensuojelukosteikkaa oli laskeutusaltaita. Laskeutusaltat eivät siten yksinään ole tehokas vesiensuojelumenetelmä. Tulokset viittaavat kuitenkin siihen, että laskeutumista tehostamalla voidaan parantaa kiintoaineen poistumia. Hienoainepitoisuudessa ja valumaveden kiintoainepitoisuudessa havaittu riippuvuus (kuva 2.) viittaisi myös siihen, että laskeutumista olisi tehostettava ennen kaikkea alueilla, joissa ojat yltyvät hienojakoiseen mineraalimaan.

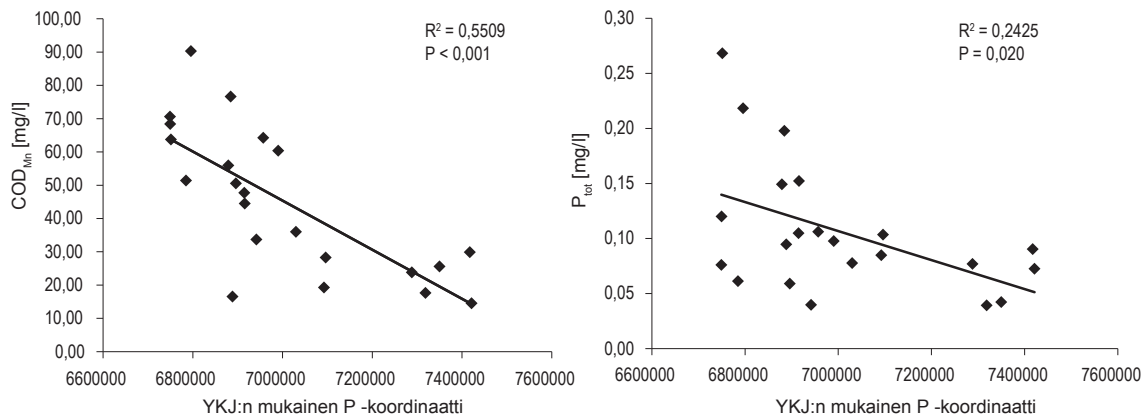


**Kuva 2.** Valumaveden keskimääräisen kiintoainepitoisuuden riippuvuus mineraalimaan partikkelikokojakaumasta TuVeKu-kohteilla. Kuvassa a) on esitetty keskimääräiset valumaveden kiintoainepitoisuudet mineraalimaan hienoainepitoisuuden ( $d < 0,063\text{mm}$ ) suhteen ja kuvassa b) d50 partikkelikoon (seulottaessa läpäisyprosenttia 50 vastaava raekoko) suhteen (vesinäytteet otettu laskeutusaltaan jälkeen). Tarkastelussa ovat mukana vain ne kohteet, joilla ulottuvat turvekerroksen alapuoliseen mineraalimaan.

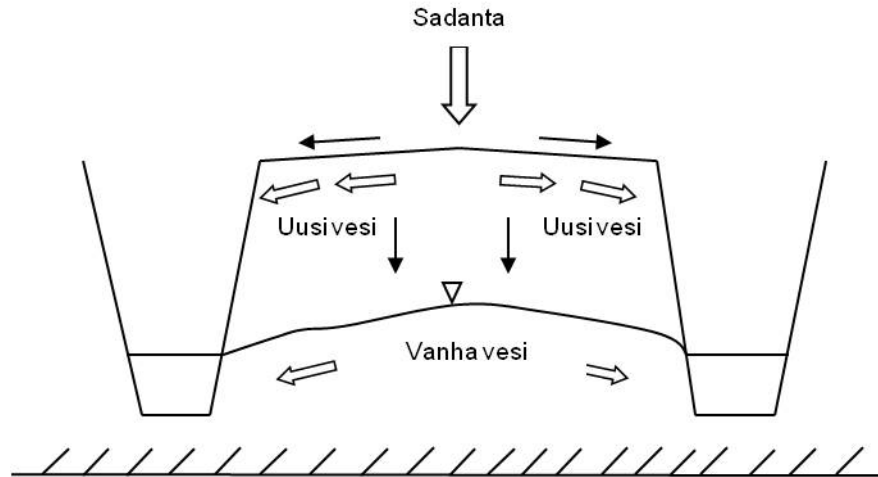
## Ravinteiden huuhtoutuminen

Turvetuotantoon ojitetulta suolta muodostuva fosfori- ja typpikuormitus on yleensä vastaavaa luonnontilaisen suon kuormitusta suurempi. Ravinnekuormitus aiheutuu siitä, että ojituksen seurauksena turpeen hajoaminen kiihtyy ja ravinteita vapautuu. Fosforia voi purkautua myös syvemmistä suokerroksista. Turvesuolla puuttuvat myös kasvit, jotka sitovat ravinteita. Valumaveden typpi- ja fosforipitoisuuksiin ja sitä kautta kuormituksen suuruuteen vaikuttavat ojituksen lisäksi keskeisesti hydrologiset ja suon biogeokemialliset tekijät. Ojituksen jälkeen sadevesi valuu tehokkaammin kuivuneen turvekerroksen pinnalla, jolloin erityisesti sadekausien kiintoainekuormitus kasvaa. Luonnontilaisella suolla vesi virtaa pääasiassa elävässä kasvustossa, missä eroosio on vähäistä. Turvetuotantoalueen maantieteellinen sijainti pohjois-eteläsuunnassa selitti keskimääräisiä  $COD_{Mn}$ - ja  $P_{tot}$ - huuhtoumia siten, että pohjoisemmassa huuhtoumat olivat keskimäärin pienempiä (kuva 3). Turvetuotantoalueen pohjois-etelä-suuntaisen sijainnin taustalla ravinteiden ja humuksen pitoisuuksiin voivat vaikuttaa alueelliset erot lämpötiloissa, haihdunnassa ja valunnan muodostumisessa kuten myös erot alueiden geologiassa.

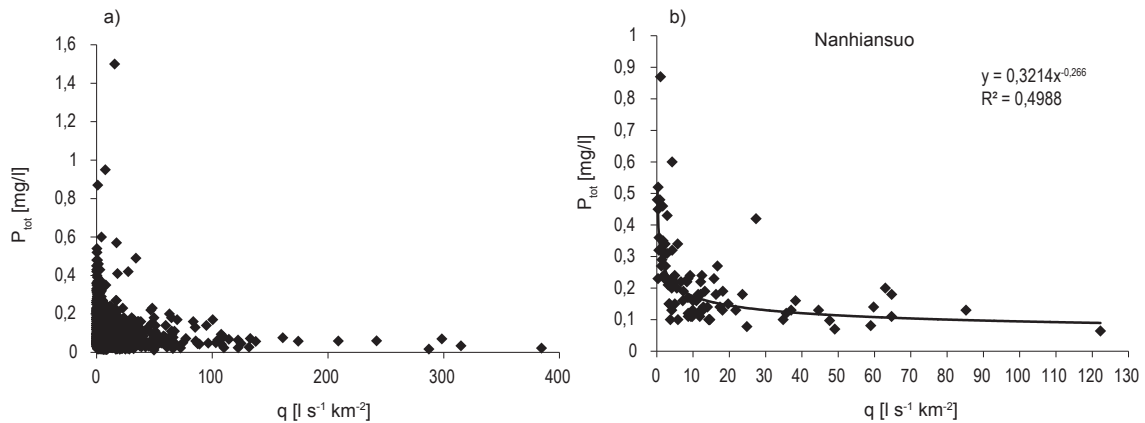
Fosfori on sitoutunut kiintoainekseen ja liukoiseen orgaaniseen aineeseen, eli humusaineisiin. Humusaineiden ja kiintoaineen mukana tuotantoalueilta huuhtoutuu rautaa ja fosforia (Heikkinen ym. 1994). Valumaveden kokonais- ja fosfaattifosforipitoisuuksien havaittiin olevan suuria pienten valumien aikaan, jolloin vesi turvetuotantoalueella on ns. "vanhaa", pitkään turvekerroksessa ollutta vettä (Klöve 2001, kuvat 4 ja 5). Valantahuippujen aikaiset korkeat fosforipitoisuudet Isonavalla ja Oksuolla ovat selitettävissä eroosion lisääntymisellä ja kiintoaineseen sitoutuneen fosforin määrän lisääntymisellä valumavedessä (Tuukkanen ym. 2011). Kasvava oja-syvyys näyttäisi myös lisäävän veden fosforipitoisuutta.



**Kuva 3.** Tuotantoalueelta lähtevän veden kemiallisen hapenkulutuksen ( $COD_{Mn}$ ) ja kokonaisfosforipitoisuuden riippuvuus alueen maantieteellisestä sijainnista. Yhtenäiskoordinaattijärjestelmässä (YKJ) P-koordinaatti ilmoittaa pisteen etäisyyden päiväntasaajasta ja kuvaa tässä tapauksessa tuotantoalueen sijaintia pohjois-etelä suunnassa.



**Kuva 4.** Veden kulkeutuminen tuotantoalueelta sarkaojiin.



**Kuva 5.** Kokonaisfosforipitoisuuden ( $P_{tot}$ ) riippuvuus valunnasta a) koko TuVeKu aineistossa ( $n=1226$ ) ja b) Nanhiansuon veden laadun seuranta-aineistossa ( $n=91$ ).

Turvetuotannon typpikuormituksen on havaittu olevan suurimmillaan heti voimakkaiden sateiden jälkeen, kun vesi huuhtoo nitraattityppeä kyllästymättömästä kerroksesta (Klöve 2001). Typen huuhtoutumiseen vaikuttavat oletettavasti nitraatin epätasainen jakautuminen maaperässä ja erot veden virtausreiteissä. Kasvaneita nitraattityppipitoisuuksia suurten valuntojen aikana voi selittää nitraattityypen suuri huuhtoutumisherkkyys sekä myös ammoniumtypen hapettuminen (nitrifikaatio) suon hapellisissa pintakerroksissa nitraattitypeksi, mikä lisää typen huuhtoutumista kuivan kauden jälkeisten suurten valumien aikana (Klöve 2001). Vanhassa vedessä (pohjavedessä) nitraattityypen pitoisuudet ovat kesäisin pieniä ja kokonaistypestä noin puolet esiintyy ammoniumtyppinä ja puolet orgaanisena typpinä (Klöve 2001). Tämä nähdään myös TuVeKu- aineistosta. Aineistossa ei havaittu valumaveden typpipitoisuuden riippuvuutta virtaamasta.

## 3 Syyt puhdistustuloksen vaihteluun pintavalutuskentillä ja ojitetuilla vesiensuojelukosteikoilla

Syitä pintavalutuskentillä ja ojitetuilla vesiensuojelukosteikoilla saavutettuun puhdistustulokseen selvitettiin käytössä olleen aineiston (20 kohdetta) tilastollisen analyysin avulla. Lisäksi tämänhetkisten turvetuotannon vesiensuojeluohjeiden mukaisesti toteutetuilla pintavalutuskentillä (koko aineistossa 10 kpl) selvitettiin, miten pintavalutuskentälle esitetyt mitoitusohjeet (ks. 3.2) oli käytännössä onnistuttu toteuttamaan. Osiossa 3.2 kiinnitettiin erityisesti huomiota kentällä esiintyviin oikovirtausuomiin sekä kentän mitoitukseen suhteessa yläpuolisen valuma-alueen pinta-alaan. Pintavalutuskentiksi luokiteltiin ne vesiensuojelukosteikot, jotka oli perustettu ojittamattomalle, yli 0,5 m paksuisen turvekerroksen suoalueelle (Heikkinen ym. 1994, Ihme ym. 1991, Ihme 1994, Savolainen ym. 1996). Ojitetuiksi vesiensuojelukosteikoiksi puolestaan luokiteltiin kaikki ojitetulle suoalueelle perustetut vesiensuojelukosteikot.

### 3.1

#### **Tilastollinen analyysi puhdistustehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä pintavalutuskentillä ja ojitetuilla vesiensuojelukosteikoilla**

##### 3.1.1

###### **Taustaa**

Kiintoainetta voi poistua vesiensuojelukosteikoilla laskeutumalla ja suotautumalla turpeeseen ja pintakasvillisuuteen. Ravinteita ja orgaanista ainesta pidättyy kosteikoilla kiintoaineen mukana sekä erilaisten fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten prosessien seurauksena. Kosteikkojen toimintaa kuvaavissa malleissa huomioidaan usein kosteikolle tuleva ainepitoisuus, reaktiovakio sekä veden viipymä tai hydraulinen kuormitus. Lähtökohtaisesti veden viipymän kasvu parantaa puhdistustehokkuutta. Tässä tutkimuksessa kosteikkojen puhdistustehokkuutta selittäviä tekijöitä etsittiin valumaveden laadun ja hydrologisten tekijöiden lisäksi pintavalutuskenttien ja ojitettujen vesiensuojelukosteikkojen rakenteellisista ominaispiirteistä sekä maantieteellisistä ja geologisista tekijöistä.

##### 3.1.2

###### **Aineisto ja menetelmät**

Kosteikkoaineisto kerättiin kaikkiaan 20 pintavalutuskentältä ja ojitetulta vesiensuojelukosteikolta. Pintavalutuskenttien ja ojitettujen kosteikkojen mitoitusmekanismia sekä rakenteellisia ominaisuuksia on esitetty taulukoissa 2 ja 3. Tiedot perustuvat kesän 2010 maastomittauksiin sekä saatavilla olleiden työpiirustusten tietoihin. Turpeen maastuneisuusasteen, turvepaksuuden ja kosteikon pintakerroksen määttäisyyden

**Taulukko 2.** Tutkimuksessa mukana olleiden vesiensuojelukosteikkojen mitoitustekijät.

Suo	A <sub>kosteikko</sub> / A <sub>valuma</sub> [%]	Ojitus	Ojien tukkiminen	Pituus/ leveys	Kaltevuus [%]	Turve- paksuus [m]	H (von Post)	Vallitseva kasvilaji
Hankilanneva	3,62	kyllä	ei tietoa	0,7	0,07	2,2	5	sara
Hietalahdenaapa	7,21	kyllä	ei	3,6	0,35	1,5		heinä
Hormaneva	4,21	kyllä	ojakatkot	2,8			8	rahka, varpu
Isonneva	7,87	kyllä	tukittu	0,5	0,3	2,7		varpu, rahka
Karhunsuo	2,78	kyllä	tukittu	0,9	0,35	2,5	4	sara
Kiihansuo	3,81	kyllä	ei tietoa	1,4	0,8	3,7	7	suursara
Konnunsuo	9,84	kyllä (1/4)	ei tietoa	1			4	sara
Kuivastensuo	3,41	ei		1,2	0,55	3	6	sara
Laukkuvuoma	1,17	ei		3		0,8		ei tietoa
Linnansuo	9	ei		1,4	0,5		1	sara
Muljunaapa	2,97	ei		1,1	0,6	3		heinä
Nanhiansuo	3,84	ei		2,1	0,38	2,8		sara, varpu
Okssuo	3,75	kyllä	pengerretty	3,2	0,14		7	sara
Puutiosuo	6,26	ei		1,7	0,35	2,1		sara, rahka
Rajasuo	6,43	kyllä (1/2)	tukittu	3,6			4	rahka, sara
Ristineva	3,75	ei		4	0,15		1	rahka
Röyhynsuo	4,84	kyllä	tukittu	0,3				heinä
Sarvanneva	1,64	ei		3,3		3,5	3	heinä
Savonneva	2,73	ei		5,1	0,3		5	rahka, suursara
Siivilänieme- naapa	3,03	ei		1,2	0,08	1,6	1	sara

Taulukossa A<sub>kosteikko</sub> on kosteikon pinta-ala ja A<sub>valuma</sub> yläpuolisen valuma-alueen pinta-ala.

arvoja ei ollut kaikilta kosteikoilta saatavilla. Yli puolella ojitetuista kosteikoista tiedettiin, että oja oli tukittu joko osittain tai kokonaan oikovirtausten estämiseksi.

Kosteikkojen puhdistustehokkuutta kuvattiin keskimääräisten ainepoistumien (reduktioiden) avulla siten, että reduktiot laskettiin kuormitustarkkailuaineistoista kosteikolle tulevien ja kosteikolta lähtevien pitoisuuksien erotuksena käyttäen koko seuranta-ajan keskipitoisuuksia. Analyyseista jätettiin pois 2 allasmaista vesiensuojelurakennetta, jotka poikkesivat rakenteeltaan huomattavasti kahdesta tutkimuksessa mukana olleesta kosteikkorakenteiden päätyypistä (pintavalutuskentät ja ojitetut kosteikot). Tilastollinen analyysi perustui pääosin regressioanalyysiin ja Pearsonin korrelaatioanalyysiin sekä virtaaman ja kosteikkojen ylä- ja alapuolisten vedenlaatumittausten aikasarjojen analysointiin. Tilastollisissa analyyseissä keskimääräisiä puhdistustehokkuuksia verrattiin kosteikkojen rakennetekijöihin erikseen ojitamattomilla ja ojitetuilla kosteikoilla sekä kosteikoilla yleensä. Analysoidut pintavalutuskenttien ja ojitettujen vesiensuojelukosteikkojen ominaisuudet on esitetty taulukossa 4.

Tutkimuskohteiden välisistä valuntaeroista johtuen puhdistustehokkuutta kuvattiin pitoisuusreduktioiden lisäksi indeksiluvun avulla, jossa seuranta-aineistosta määritettyjä keskimääräisiä pitoisuusreduktioita verrattiin teoreettisiin ensimmäisen kertaluvun poistumamallin mukaisiin ainepoistumiin. Ensimmäisen kertaluvun mallin mukainen yhtälö aineiden poistumalla sekä siitä johdettu indeksiluku on kuvattu tarkemmin raportissa Tuukkanen ym. (2011). Veden viipymää kosteikoilla arvioitiin karkeasti jakamalla kosteikon vesitilavuus (tilavuus, jossa vesi virtaa) keskimääräisellä virtaamalla. Vesitilavuus laskettiin olettamalla tehokkaaksi virtausalaksi 50 % kosteikon pinta-alasta, virtaussyvyudeksi 20 cm ja turpeen huokoisuudeksi 80 %.



**Taulukko 3.** Tutkimuksessa mukana olleiden vesiensuojelukosteikkojen rakenteellisia ominaispiirteitä. Valutuspituus kuvaa kosteikon pituutta virtaussuunnassa. Kosteikon pinnan mättäisyyttä arvioitiin paikan päällä silmämääräisesti.

Suo	Perustamispaikka	Vesien johtaminen kosteikolle	Vedenjakorakenne	A <sub>pvk</sub> [ha]	Valutuspituus [m]	Mättäisyys [%]	Yläpuolisten laskeutusaltaiden lkm.
Hankilanneva	suo	pumppu	oja	8,4	240	40	1
Hietalahdenaapa	pelto	pumppu	allas + oja	4,9	420	70	5
Hormanneva	suo	pumppu	putki	16	670	70	4
Isonneva	puustoinen suo	pumppu	oja	10	155	80	5
Karhunsuo	suo	pumppu	putki	6,9	215	40	8
Kiihansuo	puustoinen suo	pumppu	allas, putket	2,8	200	50	3
Konnunsuo	suo	pumppu	oja, kammat	24,6	505	50	9
Kuivastensuo	suo	pumppu	oja, kammat	2,8	180	30	4
Laukkuvuoma	suo	gravitaatio	oja	1,1	180		1
Linnansuo	suo	pumppu	putki, jakoputket	6,3	300	80	2
Muljunaapa	puustoinen suo	pumppu	oja	4,5	220	70	4
Nanhiansuo	puustoinen suo	pumppu	putki	3,3	265	70	4
Okssuo	tuotantoalue	pumppu	allas	3	310		7
Puutiosuo	suo	grav./pump.	oja	6,2	450	55	2
Rajasuo	suo	pumppu	oja, putket	22,5	894	70	10
Ristineva	suo	pumppu	putki + oja	9	600	40	ei tietoa
Röyhysuo	puustoinen suo	pumppu	putki	7,75	150		7
Sarvanneva	suo	pumppu	allas	1	182	70	1
Savonneva	suo	pumppu	oja	3	390		3
Siiviläniemen-aapa	suo	pumppu	oja	4,4	225	40	5

Taulukossa A<sub>pvk</sub> on puhdistusrakenteen (pintavalutuskenttä tai ojitettu kosteikko) pinta-ala

**Taulukko 4.** Tilastollisissa analyysissa tarkastellut pintavalutuskenttien ja ojitettujen vesiensuojelukosteikkojen puhdistustehokkuutta selittävät tekijät. Kosteikkojen ja tuotantoalueiden pinta-aloja on merkitty kirjaimella A.

Perustekijät	Mitoitustekijät	Rakenne- ominaisuudet	Maantieteelliset	Geologiset
Virtaama	$A_{kenttä}/A_{valuma}$	Akenttä	Etäisyys rannikosta	Geokemiallinen maalajiprovinssi
Ainepitoisuudet	Turvepaksaus	Valutuspituus	Korkeus mpy.	Litorina-alue
Valunta	Turvelaji	Perustamistapa	P-koordinaatti	Mustaliuskealue
Viipymä	Turpeen maatuneisuus	Vedenjakorakenne (putki/oja)	I-koordinaatti	Pohjavesialueen läheisyys
Hydraulinen kuorma	Ojitus/ oikovirtaukset	Vedenjakorakenteen leveys		
Lämpötila	Kaltevuus	Puusto		
pH	Pituus/leveyssuhde	Vallitseva kasvilaji		
Kiintoaine- ja ravinnekuorma	Mineraalimaakontakti	Kasvipeitteisyys		
		Mättäisyys		
		Ojituksen suunta/tiheys		
		Kentän käyttöikä		
		Yläp. laskeutusaltaiden lkm.		
		Altaiden lkm./ $A_{valuma}$		

Taulukossa  $A_{kenttä}$  on puhdistusrakenteen pinta-ala ja  $A_{valuma}$  on yläpuolisen valuma-alueen pinta-ala.

### 3.1.3

#### Tulokset ja johtopäätökset

Tutkituilla vesiensuojelukosteikoilla saavutetut kiintoainepoistumat olivat pääosin suhteellisen hyviä (taulukko 5). Sen sijaan etenkin ravinteiden keskimääräiset pitoisuusreduktiot vaihtelivat koekohteiden välillä voimakkaasti. Suoalueille tyypillisesti lähes puolella koekohteista orgaanisen aineen ( $COD_{Mn}$ ) pitoisuudet kasvoivat puhdistusrakenteen aikana ja niilläkin kohteilla, joilla reduktiota havaittiin, keskimääräiset poistumat olivat kauttaaltaan heikkoja. Kiintoaineen keskimääräisten pitoisuusreduktioiden kasvaessa myös kokonaisfosforin ja kokonaistypen poistumat paranivat, mikä selittyy ravinteiden kulkeutumisella osin kiintoaineeseen sitoutuneena.

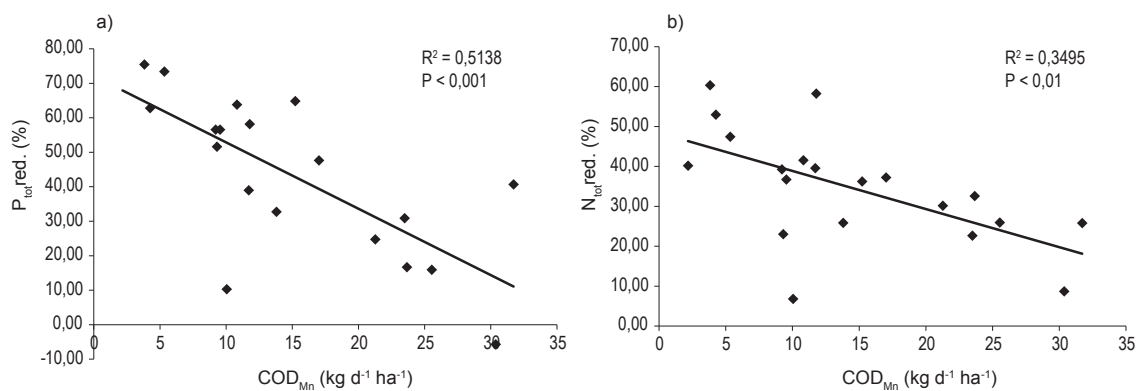
Tutkitussa aineistossa pintavalutuskenttien ja ojitettujen vesiensuojelukosteikkojen puhdistustehokkuutta voitiin selittää valumaveden laadulla, hydrologisilla tekijöillä sekä tulevalla kuormituksella. Kokonaistyyppi- ja ammoniumtyypireduktiot korreloivat positiivisesti valumaveden keskimääräisen lämpötilan ja pH:n kanssa. Kokonaisfosforin pitoisuusreduktiot paranivat hieman, teorian mukaisesti, veden viipymän kasvaessa kosteikolla ( $r = 0,47$ ,  $P < 0,05$ ). Kosteikkoon kohdistuvan kokonaisfosforikuorman ( $kg\ ha^{-1}\ d^{-1}$ ) havaittiin puolestaan korreloivan negatiivisesti keskimääräisten kokonaisfosforin pitoisuusreduktioiden kanssa ( $r = -0,47$ ,  $P < 0,05$ ). Vastaava tilastollisesti merkitsevä riippuvuus havaittiin myös kosteikkoon kohdistuvan kokonaistyyppikuorman ja kokonaistypen pitoisuusreduktioiden välillä ( $r = -0,77$ ,  $P < 0,01$ ). Orgaanisen kuorman ( $COD_{Mn}$ ) kasvaessa sekä kokonaisfosforin ( $r = 0,72$ ,  $P < 0,001$ ) että kokonaistypen ( $r = 0,59$ ,  $P < 0,01$ ) keskimääräiset pitoisuusreduktiot heikkenivät (kuva 6).

Pintavalutuskenttien ja/tai ojitettujen vesiensuojelukosteikkojen rakenteellisista tekijöistä kiintoaine- ja/tai ravinnepoistumia selittäviksi keskeisiksi tekijöiksi nousivat turpeen maatuneisuusaste, valutuspituus, kosteikon koko ja pinnan mättäisyys. Vesiensuojelukosteikon pintakerroksen turpeen maatuneisuusasteen kasvaessa kokonaistypen (kuva 7 a) ja ammoniumtyypen keskimääräiset poistumat heikkeni-

**Taulukko 5.** Keskimääräiset pitoisuusreduktiot pintavalutuskentillä ja ojitetuilla vesiensuojelukosteikoilla. Pitoisuusreduktiot on laskettu keskimääräisistä kentälle tulevista ja kentältä lähtevistä pitoisuuksista. Puuttuvien reduktioiden kohdalla veden laadun seuranta ei kuulunut kyseisten vedenlaatumuuttujien osalta kuormitustarkkailun piiriin. Tulokset osoittavat myös, mitä riskejä pellolle perustetun kentän perustamisesta syntyy (fosforihuuhtoumat Hietalahdenaapalla).

Suo	q [l s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ]*	q <sub>hydr.</sub> [m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ]*	SS red.	P <sub>tot</sub> red.	N <sub>tot</sub> red.	COD <sub>Mn</sub> red.	Fe red.	PO <sub>4</sub> red.	NH <sub>4</sub> red.	NO <sub>2/3</sub> red.	Org. SS red.	Epäorg. SS red.
Hankilanneva	20,7	494,6	70	57	37	9						
Hietalahdenaapa	12,5	149,4	78	-272	40	-35	50	-539	94	46		
Hormanneva	10,3	210,5	14	8	6	-18	12	17	13			
Isonneva	19,0	208,7	63	32	26	-16	22	22	66	8	50	70
Karhunsuo	10,8	335,1	69	12	31	-5	48	24	54	16	44	51
Kiihansuo	7,9	179,1	87	59	38	8	67					
Konnunsuo	18,4	161,7	82	63	53	-9	69	-8	95	92	83	78
Kuivastensuo	16,7	422,8	81	65	36	10	58	47	85	21	70	88
Laukkuvuoma	9,0	664,5	62	48	37	6	43	73	89	12		
Linnansuo	36,2	347,4	68	39	39	8	40		71	47	62	73
Muljunaapa	29,3	854,2	76	16	26	15	64	65	88	39		
Nanhiansuo	15,7	353,6	65	47	29	6	31	38	49			
Okssuo	19,3	444,0	64	-6	9	-2	25	-62	7			
Puutiosuo	11,6	160,5	80	74	55	-9						
Rajasuo	5,2	69,6	82	74	45	9						
Ristineva	9,3	214,0	89	64	41	7	72	63	59			
Röyhysuo	8,2	146,0	87	52	29	-13	17	5	36			
Sarvanneva	10,0	527,7	65	25	21	-10	28	11	39			
Savonneva	11,1	352,3	62	25	30	1	25	-39	40			
Siivläniemenaapa	23,4	667,3	69	58	58	17	33	69	97	-79		

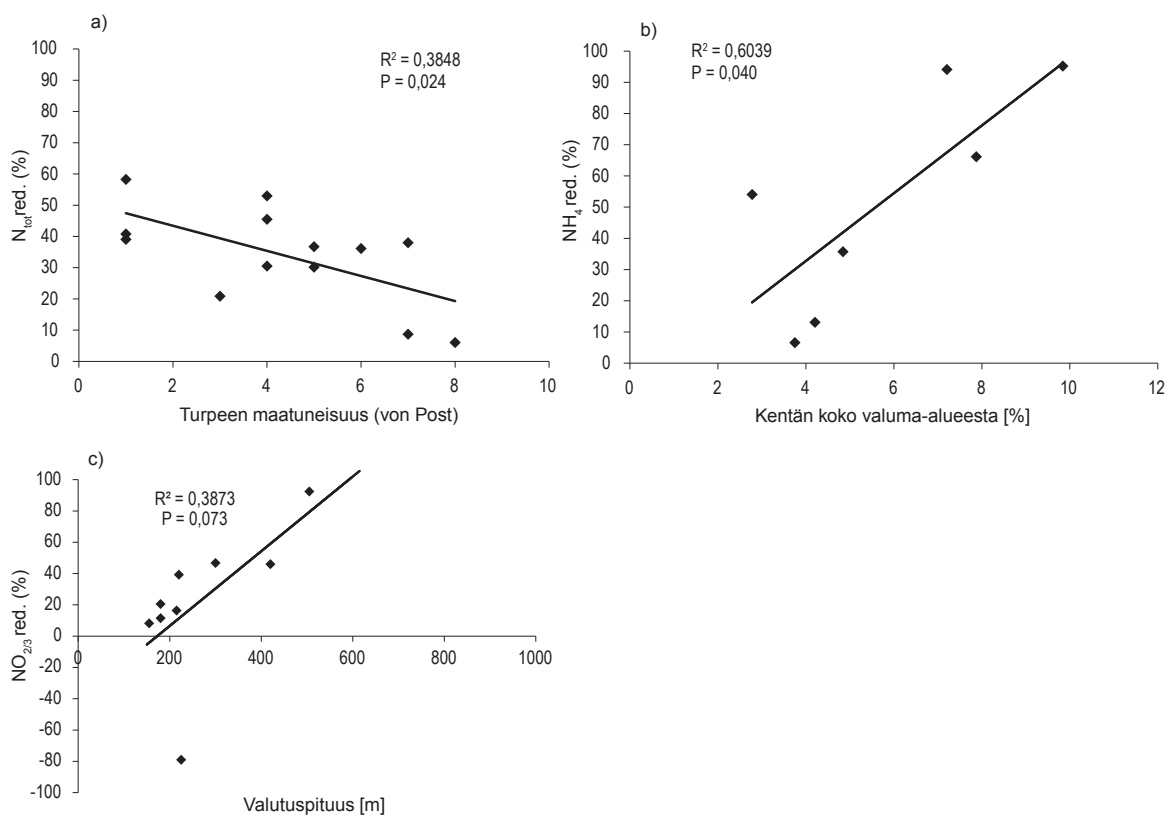
\*Laskettu näytenäytävien vuorokausivirtaamien keskiarvona. Pitoisuusreduktioiden laskennassa mukana myös seurantavuodet, joilta virtaamadataa ei ollut saatavilla. Hydraulisella kuormituksella (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) kuvataan keskimääräistä kosteikoille tulevaa vesimäärää ajan ja kosteikon pinta-alan suhteen.



**Kuva 6.** a) Keskimääräisten kokonaisfosforin pitoisuusreduktioiden ja b) kokonaistypen pitoisuusreduktioiden riippuvuus tulevan veden COD<sub>Mn</sub>-kuormasta. COD<sub>Mn</sub>-kuorma kuvaa vesinäytteiden oton aikana kosteikkoihin kohdistunutta kuormitusta.

vät. Maatuneisuusasteen ja typen poistuman välinen riippuvuus tuli esille myös kuvattaessa kosteikkojen puhdistustehokkuutta indeksiluvun avulla, mikä tukee osaltaan havaitun riippuvuuden luotettavuutta. Kosteikon pinta-alan ja yläpuolisen valuma-alueen pinta-alan suhde selitti ammoniumtypen keskimääräisiä pitoisuusreduktioita ojitetuilla vesiensuojelukosteikoilla (kuva 7 b). Lisäksi kosteikon pinta-alan kasvaminen paransi kiintoainereduktioita pintavalutuskentillä. Nitraattitypen keskimääräiset pitoisuusreduktiot olivat ojitetuilla vesiensuojelukosteikoilla selvästi parempia kohteilla, joissa valutuspituus (kosteikon pituus virtaussuunnassa) oli suuri. Nitraattitypen ja valutuspituuden välinen positiivinen korrelaatio oli havaittavissa myös tarkasteltaessa pintavalutuskenttiä ja ojitetuja vesiensuojelukosteikkoja yhdessä (kuva 7 c). Vaikka kosteikon koon ja puhdistustehokkuuden välinen riippuvuus ei tullut aineistossa esille kaikkien vedenlaatuomuttajien kohdalla, voidaan kosteikon ja valuma-alueen pinta-alan suhdetta perustellusti pitää yhtenä lähtökohtana kosteikkojen suunnittelussa. Selkeää raja-arvoa tälle ei kuitenkaan aineiston perusteella voida esittää.

Pintavalutuskentillä kiintoaine- ja ravinnepoistumat olivat keskimäärin hieman parempia kuin ojitetuilla vesiensuojelukosteikoilla, joskin ero keskimääräisissä pitoisuusreduktioissa oli tilastollisesti merkitsevä ainoastaan fosfaattifosforin osalta. Aineisto antoi viitteitä myös siitä, että humuksen pidättyminen ojittamattomilla kosteikoilla olisi hieman tehokkaampaa kuin ojitetuilla kosteikoilla (riippuvuus ei tilastollisesti merkitsevä). Huomattavaa kuitenkin on, ettei kummallakaan menetelmästä humusta saada tehokkaasti poistettua valumavedestä (vrt. taulukko 5). Tilastollisessa tarkastelussa havaittu ojitetujen ja luonnontilaisten kosteikkojen vähäinen ero pitoisuusreduktioissa saattoi johtua osittain siitä, että monilla ojitetuille soille



**Kuva 7.** Esimerkkikuvat pitoisuusreduktioihin vaikuttavista kosteikkojen rakennetekijöistä TuVeKu-aineistossa. Kuvassa a maatuneisuusasteet puuttuvat kuudelta tutkimuskohteelta. Kuvissa b ja c ammoniumtypen ja nitraattitypen pitoisuuksia kentän ylä- ja alapuolelta ei ollut sisällytetty kuormitustarkkailun kaikilla soilla.

perustetuista kosteikoista oja oli tukittu oikovirtausten estämiseksi. Aineiston perusteella voidaan todeta, että pintavalutuskenttien rakentamiseen soveltuvien ojittamattomien suoalueiden puuttuessa, turvetuotantoalueiden läheisyyteen ojitetuille soille perustettavat kosteikot voivat olla hyviä vaihtoehtoja valumavesien puhdistamiseen, kunhan niiden käytölle saadaan laadituksi selkeät ohjeet ja niiden käyttöön liittyvät riskit tiedostetaan. Ojitettujen vesiensuojelukosteikkojen käyttöä turvetuotannon valumavesien puhdistukseen ovat tutkineet Postila ym. (2011). Postilan ym. (2011) julkaisussa on esitetty myös alustavia mitoitusohjeita ojitetuille kosteikoille.

### 3.2

## Pintavalutuskenttien mitoitusohjeiden toteutuminen

Tässä osiossa tarkastellaan, miten pintavalutusmenetelmälle esitetyt mitoitusohjeet (Ihme ym. 1991, Ihme 1994, Savolainen ym. 1996) on onnistuttu toteuttamaan käytännön tasolla TuVeKu-aineiston pintavalutuskentillä. Keskeisinä pintavalutuskentällä saavutettavaan puhdistustulokseen vaikuttavina tekijöinä pidettiin kentän turvepaksuutta ja kokoa suhteessa yläpuoliseen valuma-alueeseen sekä sitä, että kentällä ei esiinny oikovirtausuomia. Näiden lisäksi tarkasteltiin myös kentän maatuneisuusastetta ja käyttöastetta. Tämänhetkisten ohjeiden mukaan pintavalutuskenttä perustetaan ojittamattomalle suolle, jonka turvekerroksen paksuus on yli 0,5 m (Heikkinen ym. 1994, Ihme ym. 1991, Ihme 1994, Savolainen ym. 1996). Turpeen pinnan maatuneisuusasteen tulee olla H1 – H3, mikä onkin useimmiten tilanne ojittamattomilla soilla. Lisäksi kentän pinta-alan tulee olla vähintään 3,8 % yläpuolisen valuma-alueen pinta-alasta. Kentän toimintaan vaikuttava käyttöaste tulee pyrkiä saamaan niin korkeaksi kuin mahdollista. Turvetuotannon vesiensuojeluohjeistossa (Savolainen ym. 1996) kentän käyttöasteeksi esitetty arvo 100 % on kuitenkin epärealistinen. Tässä tarkasteltujen mitoitusohjeiden lisäksi pintavalutuskenttien mitoitusohjeisiin on sisällytetty myös suosituksia kenttien pituus/leveys-suhteesta, kaltevuudesta ja turvelajista sekä valumaveden kontaktista mineraalimaan kanssa. Aiemmin esitetty vaatimus varsin suuresta leveydestä suhteessa pituuteen ei nykytiedon valossa ole järkevä mitoitusohje. Muiden edellä mainittujen tekijöiden vaikutuksista puhdistustulokseen ei kuitenkaan ole vielä riittävästi tietoa, joten ne on jätetty tarkastelun ulkopuolelle.

TuVeKu-aineistosta pintavalutuskentiksi voitiin luokitella kaikkiaan 10 vesiensuojelurakennetta (taulukko 6). Näistä kaikki olivat perustettu pintavalutuskentille laadittujen mitoitusohjeiden mukaisesti ojittamattomalle suoalueelle. Kohteista kahdeksan sijaitsi ojittamattomalla suolla ja kaksi ojittamattomalla puustoisella suolla.

Seitsemällä pintavalutuskentällä (taulukko 6.) turvekerros oli riittävän paksuinen, yli 0,5 m, mikä antaa niille hyvät edellytykset puhdistaa turvetuotantoalueiden valumavesiä pintavalutuskentille esitettyjen toimintaperiaatteiden mukaisesti. Kolmen kentän turvekerroksen paksuudesta ei ollut tietoa. Turpeen maatuneisuusaste oli suositusarvojen mukainen (H1-H3) neljällä kentällä. Neljältä kentältä turpeen maatuneisuusasteesta ei ollut tietoa. Kahdella kentällä (Linnansuolla ja Sarvannevilla) maatuneisuusaste oli suositusarvoja selvästi korkeampi (H5 ja H6). Tämä on todennäköisesti yksi syy Sarvannevilla ajoittain havaittuun humuksen huuhtoutumiseen ja fosfaattifosforin heikkoon puhdistustulokseen. Maatuneisuusasteen kasvaessa turpeesta näyttäisikin huuhtoutuvan enemmän liukoista orgaanista ainetta kuten humusta. Lisäksi turpeen kyky läpäistä vettä ja poistaa puhdistettavasta vedestä ravinteita heikkenee. Pintavalutuskentillä erityisesti turpeella on tärkeä merkitys fosfaattifosforin pidättämisessä (Heikkinen ym. 1995b).

Viiden pintavalutuskentän pinta-ala oli alle 3,8 % yläpuolisen valuma-alueen pinta-alasta. Laukkuvuoman ja Savonnevan kentät olivat vain 1,2 % ja 2,4 % yläpuolisen valuma-alueen pinta-alasta. Kaikki kentille kohdistuva hydraulinen kuormitus voi ainakin ajoittain muodostua niin suureksi, että puhdistustulos heikkenee. Oikovirtauksia esiintyi Sarvannevan ja Nanhiansuon kentillä, joiden käyttöasteet olivat 75 ja 65 %. Lisäksi oikovirtauksia arvioitiin esiintyvän suurten vesimäärien aikana viidellä kentällä. Neljän kentän käyttöasteeksi kuivana kautena oli arvioitu 100 %, ja kaikissa muissa kohteissa yli 60 %. Oikovirtauksista huolimatta kaikkien kenttien arvioitiin olevan koko alaltaan käytössä tulvakaussina. Oikovirtaukset heikentävät kentällä puhdistettavan veden kontaktia turpeen kanssa sekä lyhentävät veden viipymää, minkä johdosta puhdistustulos myös heikkenee. Huomioitavaa on, että oikovirtausten esiintymistä arvioitiin ainoastaan silmämääräisesti kesän 2010 maastokäyntien aikana, joten arviot veden tehokkaasta leviämisestä kentälle eri valuntatilanteissa ovat hyvin karkeita.

Muiden mitoitustekijöiden osalta suurimmat erot suositusarvoihin verrattuna olivat kentän pituus/leveys-suhteessa ja kaltevuudessa. Kentät olivat useimmiten leveyttään pitempiä. Lisäksi kaikki kentät, joilta oli tieto kaltevuudesta, olivat suositeltua kaltevuusarvoa tasaisempia.

**Taulukko 6.** Pintavalutuskentille esitettyjen (Savolainen ym. 1996) keskeisten mitoitustekijöiden toteutuminen TuVeKu-projektin aineiston pintavalutuskentillä.

		PVK suositus: yli 3,8 % valuma-alueesta	PVK suositus: perustetaan suolle	PVK suositus: yli 0,5 m	PVK suositus: suoalue ojitattamaton	PVK suositus: Ei	PVK suositus: 100 %	PVK suositus: HI -H3
Vesiensuojelurakenne	Sijainti <sup>1)</sup>	Osuus valuma-alueesta (%)	Kentän/kosteikon maaperä	Kentän turvekerroksen syvyys (m)	Suo ojitettu	Kentällä oikovirtauksia	Käyttöaste (%) <sup>3)</sup>	Kentän turpeen maatuoneisuusaste
<b>OJITTAMATON SUO</b>								
Puutiosuo pvk 2 ja 3	P-S	6,3	suo	2,1	ei	ehkä <sup>2)</sup>	100	ei tietoa
Laukkuvuoma pvk I	P-S	1,2	suo	0,8	ei	ei tietoa	ei tietoa	HI
Siiviläniem.aapa pvk I	P-S	3	suo	1,6	ei	ei	100	HI
Linnansuo pvk I	I-S	7,9	suo	ei tietoa	ei	ei	100	H6
Kuivastensuo pvk	I-S	3,4	suo	3	ei	ehkä <sup>2)</sup>	90	H3
Sarvanneva pvk	L-S	4,8	suo	3,5	ei	on	75	H5
Savonneva pvk I	L-S	2,4	suo	ei tietoa	ei	ei	90	HI
Ristineva pvk	E-S	11,4	suo	ei tietoa	ei	ehkä <sup>2)</sup>	100	
<b>OJITTAMATON SUO/KANGAS</b>								
Muljuaapa pvk2	P-S	3,3	suo/kangas	3	ei	ehkä <sup>2)</sup>	60	ei tietoa
Nanhiansuo pvk2	L-S	4,5	suo/kangas	2,8	ei	on	65	ei tietoa

<sup>1)</sup>P-S = Pohjois-Suomi, I-S = Itä-Suomi, L-S = Länsi-Suomi, E-S = Etelä-Suomi, <sup>2)</sup>Suurella vesimäärällä, <sup>3)</sup>= Osuus kentästä, jolle vesi levisi aineistonkeruuhetkellä (%), tulvakaussina (toukokuussa) 100 % kaikilla alueilla, joilta tieto esitetty.



## 4 Pienkemikalointiaseman puhdistustehokkuuden parantaminen: saostusolosuhteiden optimointi

4.1

### Taustaa

Osahankkeen tavoitteena oli selvittää, millaisin edellytyksin Navettarimmen turvetuotantoalueen pienkemikalointiaseman puhdistus- sekä kustannustehokkuutta voitaisiin parantaa. Navettarimmellä valumaveden kemiallinen käsittely on toteutettu pumppaamon ja laskeutusaltaiden yhteyteen rakennetulla kemikalointiyksiköllä. Kemikalointiyksikkönä toimii pumppaamon purkuputkistoon liitetty sekoituskaivo annostelulaitteineen. Kemikaali lisätään sekoituskaivoon ruuvikuljettimella varustetusta siilomaisesta säiliöstä (kuva 8). Sekoituskaiivosta vedet johdetaan purkuputkia myöten laskeutusaltaaseen. Kemikaalin (rakeinen ferrisulfaatti) annosmäärää säädetään muuttamalla ruuvikuljettimen sähkömoottorin kierroslukua taajuusmuuntajalla. Menetelmää ei voida ohjata sähköisesti, joten annosmäärän säätäminen tapahtuu manuaalisesti suon tuotantovastaavan toimesta.

Työssä keskityttiin kemiallisen vedenpuhdistuksen kannalta välttämättömien prosessiparametrien optimointiin laboratorio-olosuhteissa. Kokeet toteutettiin neljälle rakeiselle kemikaalille saostusprosessin optimoinnissa yleisesti käytetyllä jar-laitteistolla (kuva 9). Kokeiden tarkoituksena oli selvittää, mikä vaikutus eri muuttujilla (annostelu, nopean ja hitaan sekoituksen teho, jne.) on varsinaiseen puhdistustulokseen



**Kuva 8.** Navettarimmen kemikaalisiilon täyttö rakeisella ferrisulfaattilla.

ja millaisin edellytyksin puhdistustuloksen saa maksimoitua, pienentäen samalla käsittelyssä tarvittavia kemikaalimääriä. Kokeiden suunnittelussa pyrittiin löytämään myös syitä puhdistustuloksissa havaituille vaihteluille sekä ratkaisukeinoja vaihtelun minimoimiseksi. Tässä tiivistelmässä esitellään lyhyesti saostuskokeista saatuja tuloksia ja kerrotaan, mikä merkitys niillä on itse pienkemikaloinnin kannalta.

Laboratoriokokeisiin valittiin kaikkiaan neljä kiinteää saostuskemikaalia, jotka olivat alumiinisulfaatti (ALG), ferrisulfaatti (Ferix-3), alumiini- ja ferrisulfaatin seos (ALF-30) sekä alumiinikloridi ( $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Valittujen kemikaalien kemiallinen koostumus ja puhtausaste esitetään taulukosta 7.

Vesinäytteet kokeisiin haettiin Vaalan ja Kestilän kuntien välissä sijaitsevalta Navettarimmen (E: 3475877, N: 7138725) turvetuotantoalueelta sekä Haapavedellä sijaitsevalta Piipsannevan turvetuotantoalueelta (E: 3431984, N: 7116451). Molemmista kohteista otettiin yksi näyte-erä (satoja litroja). Vesinäytteet otettiin aina kemikalointiasemille tulevasta vedestä. Eri kemikaalien puhdistustehoa tarkasteltiin kiintoaineen, kokonaistypen, kokonaisfosforin, fosfaattifosforin sekä orgaanisen kokonaishiilen pitoisuuksien laskulla suhteessa vesinäytteen alkutilan vastaaviin pitoisuuksiin (taulukko 8). Saostusprosessin eri osatekijöiden vaikutusta puhdistustehokkuuteen seurattiin laboratoriossa mittaamalla sameuden ja värin muutoksia. Sameus- ja värimittausten avulla valittiin myös vesinäytteet jatkotutkimuksia varten.

**Taulukko 7.** Testatut rakeiset saostuskemikaalit.

Kemikaali	Valmistaja	Kemiallinen koostumus	Puhtaus
ALG	Kemira Oyj, Kemwater™	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$	> 90 %
Alumiinikloridi	Alfa Aesar GmbH & Co	$\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	n. 99 %
ALF-30	Kemira Oyj, Kemwater™	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ (85 %) + $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8-9\text{H}_2\text{O}$ (15 %)	> 90 %
Ferix-3	Kemira Oyj, Kemwater™	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8-9\text{H}_2\text{O}$	> 90 %

**Taulukko 8.** Navettarimmen (Nav) sekä Piipsannevan (Piip) vesinäytteiden alkutilan vedenlaatuominaisuudet.

Vedenlaatuparametri	Pitoisuus (KA ± SD) Nav	n	Pitoisuus (Ka ± SD) Piip	n
pH	6,3 – 6,8 (vaihteluväli)	5	5.8 – 6.3 (vaihteluväli)	8
Kiintoaine [mg/l]	17,1 ± 3.9	9	18.8 ± 1.5	8
Sähkönjohtavuus [mS/m]	6,2 – 7,4 (vaihteluväli)	5	7.2 – 7.4 (vaihteluväli)	8
Kokonaistyyppi [µg/l]	1720 ± 148	9	2000 ± 0	6
Kokonaisfosfori [µg/l]	58 ± 5.6	9	61 ± 2.4	8
Fosfaattifosfori [µg/l]	24 ± 2.5	9	21 ± 2.8	8
Orgaaninen kokonaishiili [mg/l]	27 ± 1.5	9	27.5 ± 0.5	8
Rauta [µg/l]	3830 ± 132.3	9	2150 ± 50	4
Alumiini [µg/l]	427 ± 59,6	9	730 ± 59,1	4

**Taulukko 9.** Mittauksissa käytetyt menetelmät (T003).

Analyytti	Lyhenne	Menetelmä
Kokonaisorgaaninen hiili	TOC	SFS-EN 1484:1997
Kokonaistyyppi	tot-N	SFS-EN ISO 11905-1:1998
Kokonaisfosfori	tot-P	Sisäinen menetelmä 51b, FIA -menetelmä
Fosfaattifosfori	PO4-P	Sisäinen menetelmä 55b, FIA -menetelmä
Kiintoaine	SS	SFS-EN 872:2005
Alumiini	Al	K222A (ISO 11885:2007), ICP-OES –tekniikka
Rauta	Fe	K222A (ISO 11885:2007), ICP-OES –tekniikka
pH	pH	SFS 3021:1979
Sähkönjohtavuus	Cond.	SFS-EN 27888:1994

Eri kemikaalien puhdistustehokkuuksia sekä eri saostusprosessiparametrien vaikutuksia puhdistustehokkuuteen seurattiin laboratorio-olosuhteissa määrittämällä säännöllisesti sekoitusastioista otetuista näytteistä sameus (NTU) ja väri ( $\text{mg dm}^{-3}$  Pt). Lisäksi kokeiden aikana seurattiin prosessin pH-arvoa ja lämpötilaa. Tehtyjen sameus- ja värimittausten perusteella valittiin myös näytteet jatkoanalyysiin. Vedenlaatumuuttujat analysoitiin Suomen kansallinen akkreditointielimen (FINAS) akkreditoimissa laboratorioissa (T003), määrittymenetelmät löytyvät taulukosta 9.

4.2

## Laboratoriokokeet

Varsinaiset laboratoriokokeet jaettiin neljään eri osa-alueeseen: 1) Annostelun optimointi sekä puhdistustehokkuuden määrittäminen tutkituille neljälle rakeiselle sekä kahdelle (ALG ja Ferix-3) esiliuotetulle saostuskemikaalille, 2) koagulaatio ja flokkulaatiovaiheen sekoitusparametrien (teho, aika) optimointi, 3) syntyneen flokin laskeutussominaisuudet ja 4) lämpötilan vaikutus eri kemikaalien puhdistustehokkuuteen. Tarvittavat kokeet suoritettiin erikseen molemmille vesinäytteille. Piip-sannevan vesinäytteen kohdalla tutkittiin myös pH:n noston ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) vaikutusta puhdistustehokkuuteen. Edellä mainittujen tehtävien lisäksi, arvioitiin myös kemikalointimenetelmän ympäristöhaittoja (jäännösmetallipitoisuudet ja sulfaattipitoisuus). Tarvittavat parametrit optimoitiin laboratorio-olosuhteissa käyttäen Kemira Kemwater (Flocculator 2000) jar-laitteistoa (kuva 9).



**Kuva 9.** Laboratoriokokeissa käytössä ollut jar-laitteisto Kemira Kemwater, Flocculator 2000.

4.3

## Tulokset

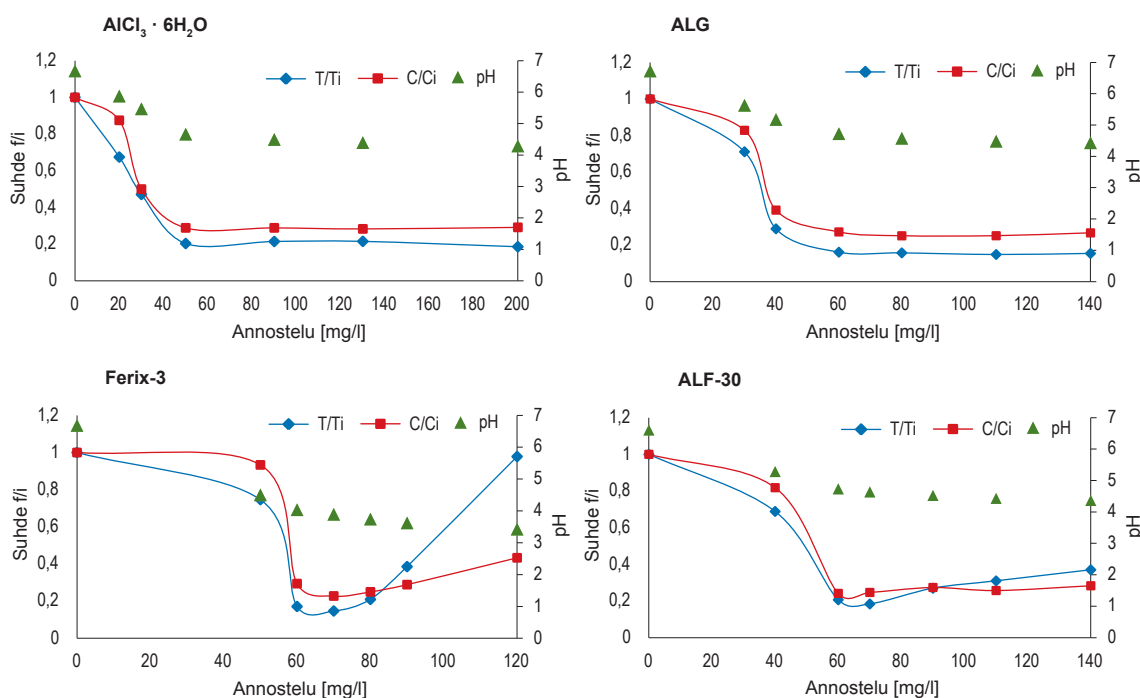
Tutkimusten ensimmäisessä vaiheessa optimoitiin annostelu sekä määritettiin puhdistustehokkuudet kaikille tutkituille rakeisille kemikaaleille sekä esiliuotetuille kahdelle kemikaalille. Esiliuotetuiksi kemikaaleiksi valittiin alumiini- ja ferrisulfaatti. Kokeet suoritettiin sekä Navettarimmen että Piipsannevan vesinäytteille. Kokeissa käytetyt sekoitusparametrit sekä muut saostusprosessiparametrit on esitetty viitteessä Heiderscheidt, 2011.

## Annostelun optimointi

Tulosten perusteella eri kemikaalit käyttäytyivät eri tavoin annoskokoja lisättäessä. Kuten odotettua, alumiinikloridi ja alumiinisulfaatti käyttäytyivät kokeissa hyvin samankaltaisesti. Alumiinikloridin alhaisempi optimiannoskoko selittyi käytetyn suolan korkeammalla puhtausasteella (taulukko 7). Lisäksi alumiinikloridi oli alumiinisulfaattia (ALG) hienojakoisempaa. Rakeisen ferrisulfaatin (Ferix-3) kohdalla annostelun kontrollointi (tarkkuus) nousi tärkeään asemaan, sillä yliannosteltaessa veden väri- ja sameusarvo nousivat. Vastaavaa ei ollut havaittavissa puhtaasti alumiinipohjaisilla saostuskemikaaleilla (kuva 10). Seoskemikaalin (ALF-30) kohdalla havaittu sameus- ja väriarvon nousu oli selkeästi maltillisempaa. Huomioitavaa myös on, että ferrisulfaatin esiliuottaminen vähensi sameuden ja veden väriarvon nousua. Eri kemikaaleille eri vesilaaduille määritetyt optimiannoskoot löytyvät taulukosta 10.

Rautakemikaali (Ferix-3) havaittiin tehokkaimmin toimivaksi saostuskemikaaliksi (tulokset lihavoituna taulukossa 10). Tuloksia tarkasteltaessa on kuitenkin huomattava ferrisulfaatin voimakas happamoittava vaikutus ( $\text{pH} \leq 4,2$ ). Happamoittava vaikutus on riippuvainen puhdistettavan veden neutralointikapasiteetista sekä rauta(III) sulfaatin annostelusta. Rautakemikaalien voimakkaan happamoittava vaikutus voikin erityisesti yliannostelutilanteissa vaatia käsitellyn veden pH:n jälkikäätöä ennen sen vapauttamista alapuoliseen vesistöön. Tulokset osoittavat myös, että kemikaalien esiliuotus tehostaa puhdistustehokkuutta. Esiliuotus vähensi myös nopean ja hitaan sekoituksen tehontarvetta (taulukko 11). Esiliuottamisen vaikutus näkyi erityisesti parantuneina kiintoaineen (SS) ja orgaanisen kokonaishiilen (TOC) reduktioprosentteina (taulukko 10).

Puhdistettavan veden laadulla havaittiin myös olevan merkittävä vaikutus saavutettuihin puhdistustuloksiin. Vaikka erot Navettarimmen ja Piipsannevan vesinäyttei-



**Kuva 10.** Tutkituille neljälle rakeiselle saostuskemikaalille määritetyt annostelurajat sekä annostelun vaikutus puhdistettavan veden happamuuteen. Kokeet on tehty Navettarimmen vesinäytteelle. Kuvaajissa T/Ti sekä C/Ci kuvaavat mitatun sameuden (T) ja väriarvon (C) suhdetta alkutilan näytteen (alaindeksi i = initial) vastaaviin arvoihin. Mitä alhaisempi suhdeluku on, sitä tehokkaammin kemikaali on toiminut.

**Taulukko 10.** Tutkittujen kemikaalien keskimääräiset prosentuaaliset pitoisuusreduktiot eri vedenlaatuparametreille sekä optimiannostelualue, kokeissa käytetty annoskoko sekä kemikaalikäsittelyn jälkeinen pH. Tulokset on kerätty Navettarimmen (Nav) ja Piipsannevan (Piip ja Piip ↑pH) turvesinäytteille tehdyistä saostuskokeista.

Kemikaali	Näyte	Optimi annostelualue [mg/l]	Annoskoko [mg/l]	Loppu pH	Tot-N [%]	Tot-P [%]	PO <sub>4</sub> -P [%]	SS [%]	TOC [%]
AlCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Nav	50 – 60	50	4,6 – 4,7	37	79	77	76	42
ALG	Nav	60 – 80	70	4,6 – 4,7	24	80	80	60	39
ALF-30	Nav	70 – 80	70	4,5 – 4,6	29	81	83	65	40
<b>Ferix-3</b>	<b>Nav</b>	<b>60 – 80</b>	<b>70</b>	<b>3,8 – 3,9</b>	<b>40</b>	<b>87</b>	<b>85</b>	<b>75</b>	<b>60</b>
ALG <sup>(a)</sup>	Nav	60 – 80	70	4,6 – 4,8	29	87	84	85	42
<b>Ferix-3 <sup>(a)</sup></b>	<b>Nav</b>	<b>50 – 70</b>	<b>60</b>	<b>4,0 – 4,2</b>	<b>40</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	<b>94</b>	<b>68</b>
AlCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Piip	60 – 90	90	4,0 – 4,2	18	73	74	74	23
ALG	Piip	90 – 140	140	4,1 – 4,2	18	68	76	59	20
ALF-30	Piip	80 – 90	90	4,0 – 4,2	18	67	63	48	25
<b>Ferix-3</b>	<b>Piip</b>	<b>50 – 70</b>	<b>70</b>	<b>3,5 – 3,6</b>	<b>33</b>	<b>87</b>	<b>87</b>	<b>59</b>	<b>56</b>
ALG <sup>(a)</sup>	Piip	70 – 90	80	3,9 – 4,0	20	71	75	77	22
<b>Ferix-3 <sup>(a)</sup></b>	<b>Piip</b>	<b>50 – 70</b>	<b>50</b>	<b>3,7 – 3,8</b>	<b>33</b>	<b>89</b>	<b>89</b>	<b>88</b>	<b>63</b>
ALG	Piip ↑pH	60 – 80	70	4,5 – 4,6	-	80	89	79	30
ALF-30	Piip ↑pH	60 – 80	70	4,4 – 4,5	-	78	82	65	33
<b>Ferix-3</b>	<b>Piip ↑pH</b>	<b>60 – 80</b>	<b>70</b>	<b>3,6 – 3,7</b>	-	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>76</b>	<b>59</b>

<sup>(a)</sup> Esiliuotettu ennen varsinaisia saostuskokeita.

den kemiallisessa laadussa olivatkin pieniä (taulukko 8), saavutettiin Navettarimmen vesinäytteen kemikaalikäsittelyssä parempia puhdistustuloksia. Erityisesti tämä oli havaittavissa alumiinipohjaisilla saostuskemikaaleilla. Puhdistettavan veden laadulla oli myös selkeä vaikutus alumiinipohjaisten saostuskemikaalien annosteluun, mikä näkyy selkeimmin kaksinkertaisena rakeisen alumiinisulfaatin (ALG) annosmääränä Piipsannevan vesinäytteen saostuskokeissa verrattuna vastaaviin kokeisiin Navettarimmen vesinäytteelle. Annoskoon kaksinkertaistumisesta huolimatta, olivat Piipsannevan ALG-käsittelyssä saavutetut pitoisuusreduktiot Navettarimmen vastaavia heikompia (taulukko 10). Alumiinisulfaatin esiliuotus pienensi kuitenkin eroa annostelussa eri vesilaatujen välillä. Rautakemikaalin (Ferix-3) annoskoko pysyi kokeissa muuttumattomana vesinäytteiden vedenlaatueroista huolimatta. Lisäksi rakeisella ferrisulfaatilla eri vesilaaduille saavutetut puhdistustulokset pysyivät lähes muuttumattomina, kiintoainereduktiota lukuun ottamatta.

Piipsannevan vesinäytteen pH:n esisäätö (yhden pH-yksikön nosto) sammutetulla kalkilla (Ca(OH)<sub>2</sub>) tehosti selkeästi valittujen kolmen rakeisen kemikaalin toimintaa, parantaen tuotteilla saavutettuja pitoisuusreduktioita (Piip ↑pH taulukossa 10). pH:n nosto pienensi myös tarvittavia kemikaalimääriä. Tulosten perusteella pienikin lasku (n. 0,5 pH-yksikköä) puhdistettavan veden pH:ssa voi näin ollen laskea saavutettuja puhdistustehokkuuksia merkittävästi. Vaikutus on kuitenkin riippuvainen käytettävästä kemikaalista, kuten nähdään taulukosta 10. Tulokset osoittavat myös kuinka esisäädön laiminlyöminen voi tietyissä tilanteissa johtaa kemikaalin yliannosteluun.

#### 4.3.2

### Sekoitusparametrien optimointi

Laboratoriokokeissa testattiin myös sekoitusparametrien vaikutusta eri tuotteiden puhdistustehokkuuteen. Tulosten perusteella nopean sekoituksen on oltava riittävän tehokas ja pitkäaikainen, jotta rakeinen kemikaali saadaan liukenemaan ja koagulaatiovaihe toteutumaan. Vastaavasti hitaan sekoituksen osalta, sekoituksen keston on



oltava riittävän pitkäaikainen ja sekoituksen tehon riittävän alhainen flokkien muodostumisen optimoimiseksi. Liian voimakas sekoitus flokkulaatiovaiheessa johtaa jo syntyneiden flokkien pilkkoutumiseen ja heikentää saavutettavaa puhdistustulosta. Vastaavasti liian tehoton sekoitus hidastaa flokkien muodostumista ja alentaa näin saavutettua puhdistustulosta. Flokkulaatiovaiheen kannalta tehokkain ratkaisu olisi heikentää hitaan sekoitusvaiheen tehoa asteittain flokkien koon kasvaessa. Tulosten perusteella voidaankin todeta, että nopea ja hidas sekoitusvaihe ovat ratkaisevassa asemassa kemikaloinnin optimaaliselle toiminnalle. Kokeidemme perusteella määritetyt parametrit koagulaatio- ja flokkulaatiovaiheen sekoitukselle löytyvät taulukosta 11.

**Taulukko 11.** Kokeissa eri kemikaaleille optimoidut nopean ja hitaan sekoitusvaiheen sekoitusparametrit Navettarimmen (Nav) ja Piipsannevan (Piip) vesinäytteille.

Kemikaali	Annos [mg/l]	Näyte	Hidas sekoitus teho [rpm]	Hidas sekoitus aika [min]	Nopea sekoitus teho [rpm]	Nopea sekoitus aika [s]
ALG	70	Nav	70	25	400	10
ALF-30	70	Nav	70	25	400	10
Ferix-3	60	Nav	70	25	400	10
ALG <sup>(a)</sup>	70	Nav	50	25	100	10
Ferix-3 <sup>(a)</sup>	60	Nav	50	25	300	10
ALG	80	Piip	90	15	400	60
ALF-30	80	Piip	90	15	400	60
Ferix-3	70	Piip	70	25	400	60
ALG <sup>(a)</sup>	80	Piip	50	25	300	10
Ferix-3 <sup>(a)</sup>	50	Piip	50	25	300	10

<sup>(a)</sup> Esiliuotettu ennen varsinaisia saostuskokeita.

Sekoitusolosuhteiden optimointi paransi myös eri vedenlaatuparametrien reduktioprosentteja, mikä näkyi erityisesti alumiinipohjaisten kemikaalien tuloksissa. Navettarimmen vesinäytteen osalta sekoitusolosuhteiden optimointi paransi alumiinisulfaattilla saavutettua kokonaisorgaanisen hiilen reduktioprosenttia 13 prosenttiyksikköä ja kiintoaineen vastaavaa 35 prosenttiyksikköä (Heiderscheidt 2011).

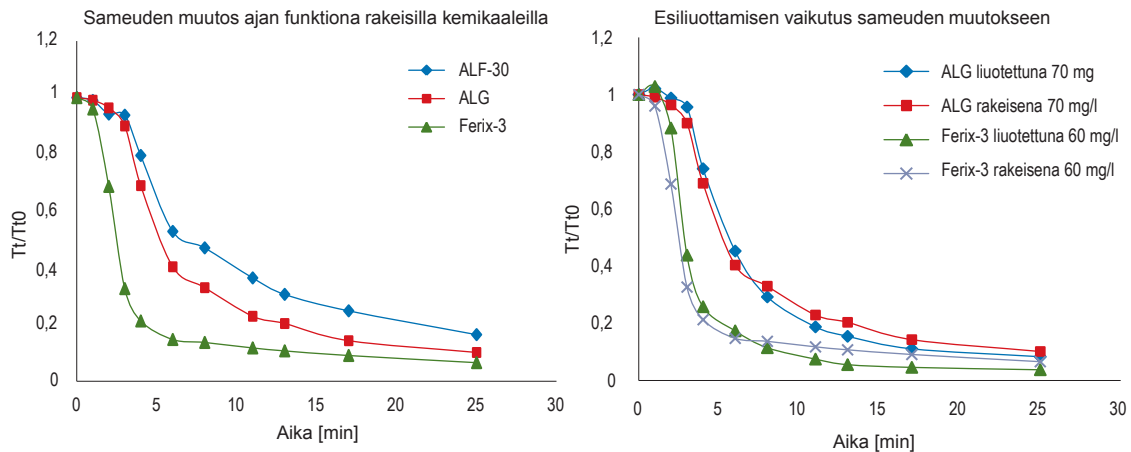
#### 4.3.3

### Kemikaalien laskeutusominaisuudet sekä lämpötilan vaikutus puhdistustulokseen

Kokeissa tutkittiin myös eri kemikaalien laskeutusominaisuuksia. Tulosten perusteella ferrisulfaatti osoittautui laskeutusominaisuuksiltaan parhaaksi kemikaaliksi. Se muodosti helposti laskeutuvia flokkeja selkeyttäen puhdistetavan veden tutkituista kemikaaleista nopeimmin ja tehokkaimmin (kuva 11). Rakeisten kemikaalien esiliuottaminen hidasti hieman flokkien sedimentoitumisnopeutta, mutta johti lopulta alhaisempiin veden sameuden arvoihin. Lopputulos oli kuitenkin vedenlaatu- ja kemikaaliriippuvainen, sillä Piipsannevan vesinäytteen osalta alumiinisulfaatin (ALG) esiliuottaminen nopeutti flokkien sedimentoitumista, selkeyttäen reaktioastian selvästi rakeista nopeammin, lähes yhtä tehokkaasti kuin rakeinen rauta(III)sulfaatti.

Kokeissa testattiin myös lämpötilan laskun vaikutusta puhdistustulokseen. Saostuskokeet toteutettiin kahdessa eri lämpötilassa (+ 5 °C ja + 20 °C). Kuten oletettua, suolojen puhdistusteho heikkeni lämpötilan laskiessa. Lämpötilan laskulla oli kuitenkin vain vähäinen vaikutus liukoisten aineiden pitoisuusreduktioihin. Rakeisten kemikaalien osalta lämpötilan lasku heikensi erityisesti kiintoaineen puhdistustehoa.





**Kuva II.** Navettarimmen vesinäytteelle määritetty sameuspitoisuuden muutos ajan funktiona. Sameuden muutos on esitetty kuvassa suhteella  $T_t/T_{t_0}$  (y-akselin kohdassa 0,2 on 80 % alkuperäisestä sameudesta poistunut).

Sama trendi oli havaittavissa myös esiliuotettujen saostuskemikaalien kohdalla, vaikkakin selvästi heikompana. Tutkituista kemikaaleista eniten lämpötilan laskusta kärsi ferrisulfaatti (Ferix-3).

#### 4.4

### Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet

Tutkimusten perusteella rautapohjainen Ferix-3 todettiin parhaiten toimivaksi rakeiseksi saostuskemikaaliksi. Sillä saavutettiin parhaimmat puhdistustulokset pienemmillä annosmäärillä muihin kemikaaleihin verrattuna. Lisäksi ferrisulfaatti muodosti helpoimmin laskeutuvia flokkeja. Rautakemikaalin osalta on kuitenkin syytä muistaa sen voimakkaan happamoittava vaikutus, mikä voi erityisesti kemikaalin yliannostelutilanteissa ja alhaisen neutralointikyvyn vesiä käsiteltäessä vaatia puhdistetun veden jälkialkalointia ennen sen vapauttamista alapuoliseen vesistöön.

Tulosten perusteella Navettarimmen rakeisen kemikaalin syöttöön perustuvan kemiallisen vedenkäsittelymenetelmän puhdistustehokkuutta ja toimintavarmuutta voidaan parantaa tehostamalla aseman hidasta ja nopeaa sekoitusvaihetta. Koagulaatio (nopea) ja flokkulaatiovaiheen (hidas) sekoitusolosuhteiden parantaminen havaittiin yhdeksi tärkeimmistä menetelmän toimintaa tehostavista toimenpiteistä. Kemiallisessa käsittelyssä on harkittava myös puhdistettavan veden pH:n esisäätöä, jotta pH:n vaihteluista aiheutuva puhdistustehokkuuden vaihtelu voitaisiin eliminoida. Huomiota on kiinnitettävä myös menetelmän kemikaaliannosteluun. Navettarimmen pienkemikalointiasemalla vuosina 2009 ja 2010 toteutuneet keskimääräiset kemikaalikulutukset viittaavat myös kemikaalin yliannosteluun verrattaessa TuVe-Ku-hankkeen laboratorionkokeissa määritettyihin ferrisulfaatin optimiannoskokoisiin (50–80 mg/l). Optimaalinen annoskoko on luonnollisesti riippuvainen myös puhdistettavan veden laadusta, ja erityisesti puhdistettavan veden liukoisen orgaanisen aineen pitoisuudesta, mikä on selitettävissä liukoisten humusaineiden korkealla varaustiheydellä. Selvää onkin, että saostuskemikaalin annoskoko on säädettävä aina tilanteen mukaan, esim. nostettava loppukesän sateiden aikaan, jolloin liukoisen orgaanisen aineen kuormituksen on havaittu olevan korkealla (Heikkinen, 1989).

Tulokset osoittavat, että ferrisulfaatin yliannostelu lisää puhdistetun veden rautapitoisuutta, joka voi olla haitallista vastaanottavan vesistön kalastolle ja muullekin vesieliöstölle. Myös puhdistetun veden sulfaattipitoisuuden havaittiin kasvavan kemikaalin vaikutuksesta. Jatkossa onkin selvítettävä tarve käsittelyn aiheuttaman

jäännösrauta- ja sulfaattipitoisuuden vähentämiselle pH:n jälkikäädön yhteydessä esim. kalkkikivipohjaisilla tuotteilla.

Pienkemikaloinnin osalta tulokset osoittavat selkeästi tarpeen menetelmän jatkokehitystyölle. Saavutettavan puhdistustuloksen kannalta tärkeimmiksi kehittämis-kohteiksi nousivat menetelmän annostelu, sekoitusolosuhteiden tehostaminen sekä mahdollinen pH:n esi- ja jälkikäätö. Edellä mainittujen osa-alueiden tehostaminen edesauttaa menetelmän toimintaa ja pienentää puhdistustuloksissa havaittua vaihtelua. Tehostaminen lisää myös menetelmän kustannustehokkuutta pitkällä aikavälillä. Navettarimmen pienkemikalointimenetelmän tutkimus- ja kehitystyötä jatketaan jatkossa Vapo Oy:n rahoittamassa hankkeessa, Uusia innovatiivisia vesiensuojelumenetelmiä turvetuotannon vesistökuormituksen vähentämiseen (SulKa). Toimijoina hankkeessa ovat Suomen ympäristökeskus ja Oulun yliopiston, Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorio.

## 5 Yhteenveto

TuVeKu-hankkeessa selvitettiin turvetuotantoalueiden paikallisia ja alueellisia ominaispiirteitä, jotka vaikuttavat tuotannosta syntyvään kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen. Lisäksi tutkittiin turvetuotannon valumavesien käsittelyyn käytettävien pintavalutuskenttien ja ojitettujen vesiensuojelukosteikkojen puhdistustehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimus perustui kesän 2010 aikana eri puolilta Suomea kerättyyn, 22 suota käsittävään aineistoon. Hankkeessa selvitettiin myös laboratoriokokein, millaisin edellytyksin Navettarimmen turvetuotantoalueen pienkemikalointiaseman puhdistus- sekä kustannustehokkuutta voitaisiin parantaa. Kokeissa keskityttiin pienkemikalointimenetelmän saostusprosessin eri osa-alueiden optimointiin neljälle rakeiselle kemikaalille. Kokeiden tavoitteena oli selvittää, millaisin toimenpitein puhdistustuloksen saisi maksimoitua, pienentäen samalla käsittelyssä tarvittavia kemikaalimääriä.

Tutkituilla vesiensuojelukosteikoilla saavutetut kiintoainepoistumat olivat pääosin suhteellisen hyviä (taulukko 5). Sen sijaan etenkin ravinteiden keskimääräiset pitoisuusreduktiot vaihtelivat koekohteiden välillä voimakkaasti. Suoalueille tyypillisesti lähes puolella koekohteista huuhtoutui myös orgaanista ainetta ( $COD_{Mn}$ ) ja niilläkin kohteilla, joilla reduktiota havaittiin, keskimääräiset poistumat olivat kauttaaltaan heikkoja. Kiintoaineen keskimääräisten pitoisuusreduktioiden kasvaessa myös kokonaisfosforin ja kokonaistypen poistumat paranivat, mikä selittyy ravinteiden kulkeutumisella osin kiintoaineeseen sitoutuneena. Tutkitussa aineistossa pintavalutuskenttien ja ojitettujen vesiensuojelukosteikkojen puhdistustehokkuutta voitiin selittää valumaveden laadulla, hydrologisilla tekijöillä sekä tulevalla kuormituksella.

Laboratoriokokeiden perusteella ferrisulfaatti (Ferix-3) todettiin parhaiten toimivaksi rakeiseksi saostuskemikaaliksi. Sillä saavutettiin parhaimmat puhdistustulokset pienemmällä annosmäärillä muihin kemikaaleihin verrattuna. Lisäksi ferrisulfaatti muodosti helpoimmin laskeutuvia flokkeja. Toisaalta ferrisuolat todettiin voimakkaan happamoittaviksi, mikä voi erityisesti kemikaalin yliannostelutilanteissa ja alhaisen neutralointikyvyn vesiä käsiteltäessä vaatia puhdistetun veden jälkialkalointia ennen sen vapauttamista alapuoliseen vesistöön.

Pienkemikaloinnin osalta tulokset osoittavat selkeästi tarpeen menetelmän jatkokehitystyölle. Navettarimmen rakeisen kemikaalin syöttöön perustuvan kemiallisen vedenkäsittelymenetelmän puhdistustehokkuutta ja toimintavarmuutta voidaan parantaa tehostamalla aseman hidasta ja nopeaa sekoitusvaihetta. Kemiallisessa käsittelyssä on harkittava myös puhdistettavan veden pH:n esisäätöä, jotta pH:n vaihteluista aiheutuva puhdistustehokkuuden vaihtelu voidaan eliminoida. Huomiota on kiinnitettävä myös menetelmän kemikaaliannosteluun. Ferrisulfaatin yliannostelu lisää puhdistetun veden rauta- sekä sulfaattipitoisuutta.

## VIITTEET

- Heiderscheidt, E. 2011. Chemical purification of peat harvesting runoff water, M.Sc. thesis, Process and environmental engineering department, Water resources and environmental engineering laboratory, pp. 102.
- Heikkinen, K., Ihme, R. & Lakso, E. 1994. Ravinteiden, orgaanisten aineiden ja raudan pidätykseen johtavat prosessit pintavalutuskentällä. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A, Nro. 193, Helsinki
- Heikkinen, K., Ihme, R., Osma, A-M. & Hartikainen, H. 1995b. Phosphate removal by peat from peat mining drainage water during overland flow wetland treatment. *J. Environ. Qual.* 24, 597 - 602.
- Heikkinen K., Organic carbon transport in an undisturbed boreal humic river in northern Finland, *Arch. Hydrobiol.*, 117, 1, 1-19, 1989.
- Ihme, R., Heikkinen, K. & Lakso, E. 1991. Pintavalutus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A, 75, 192 s.
- Ihme, R. 1994. Pintavalutus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa. VTT Julkaisu 798, Valtion Teknillinen tutkimuskeskus, Espoo.
- 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.
- Marttila, H. and Klöve, B. 2008. Erosion and deposition of peat sediment. *Water Resources Research*, 44 (6).
- Postila, H., Heikkinen, K., Saukkoriipi, J., Karjalainen, S. M., Kuoppala, M., Härkönen, J., Visuri, M., ihme, R., Klöve, B., Turvetuotannon valumavesien ympärivuotinen käsittely, TuKos-hankkeen lopuraportti, Suomen Ympäristö, 30, 2011.
- Ronkanen, A.K. and Klöve, B. 2008. Hydraulics and flow modelling of water treatment wetlands constructed on peatlands in Northern Finland. *Water Research*, 42 (14), 3826-3836.
- Ronkanen, A.K. and Klöve, B. 2007. Use of stable isotopes and tracers to detect preferential flow patterns in a peatland treating municipal wastewater. *Journal of Hydrology*, 347, 418-429.
- Savolainen, M., Heikkinen, K. & Ihme, R. 1996. Turvetuotannon vesiensuojeluohjeisto. Ympäris-töopas 6, 84 s., Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus.
- Tuukkanen, T., Klöve, B., Marttila, H., Heikkinen, K., Karppinen, A., Tilastollinen analyysi turvetuotannon vesistökuormitukseen vaikuttavista tekijöistä, 2011 (<http://www.oulu.fi/poves/pdf/tuveku.pdf>).

## KUVAILULEHTI

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus (SYKE)			Julkaisu-aika Lokakuu 2012
Tekijä(t)	Björn Klöve, Jaakko Saukkoriipi, Tapio Tuukkanen, Elisangela Heiderscheidt, Kaisa Heikkinen, Hannu Marttila, Raimo Ihme, Laëtitia Depre ja Anssi Karppinen			
Julkaisun nimi	<b>Turvetuotannon vesistökuormituksen ennakointi ja uudet hallintamenetelmät</b>			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 35/2012			
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu			
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana myös internetissä: <a href="http://www.ymparisto.fi/julkaisut">www.ymparisto.fi/julkaisut</a>			
Tiivistelmä	<p>Turvetta nostetaan Suomessa vuosittain n. 25 miljoonaa kuutiometriä, josta energiaturpeen osuus on n. 23 milj. kuutiometriä. Suomessa tuotetaan yli 50 % maailman energiaturpeesta. Turpeen noston aiheuttamat muutokset valunnassa ja biogeokemiallisissa prosesseissa johtavat kiintoaine- ja ravinnekuormituksen lisääntymiseen alapuolisissa vesistöissä, mikä on nähtävissä erityisesti pohjien liettymisenä. Turvetuotannon kuormitusta onkin pyrittävä vähentämään koko elinkaaren vesistövaikutukset huomioon ottavilla parhailla käyttökelpoisilla tekniikoilla.</p> <p>Pintavalutus on vakiintunut parhaaksi käytettävissä olevaksi tekniikaksi (BAT) turvetuotannon valumavesien puhdistuksessa. Myös ojitettujen vesiensuojelukosteikkojen käyttö käytännön vesiensuojelussa on yleistynyt, koska pinnaltaan ojitamatonta suoaluetta ei enää useinkaan ole tarjolla turvetuotantosoiden läheisyydessä. Myös veden kemiallinen puhdistus on yleistynyt BAT menetelmänä. Kemiallisen puhdistuksen käyttöä rajoittavat korkeat kustannukset. Tämän vuoksi kustannuksiltaan alempi ns. pienemmän mittakaavan kemikalointi on käytössä jo nyt sellaisilla pienillä turvetuotantosoilla, joille on asetettu korkeat puhdistusvaatimukset. Vielä ei kuitenkaan ole riittävästi tietoa mm. ojitettujen kosteikkojen sekä pienkemikaloinnin puhdistustehokkuudesta ja toimintavarmuudesta sekä niihin vaikuttavista tekijöistä. Viime aikoina on myös useissa eri yhteyksissä noussut esiin tarve kyetä entistä paremmin ennustamaan ja arvioimaan turvetuotantosoilta vesistöihin kohdistuvaa kuormitusta turvetuotantosoiden paikallisten ominaisuuksien perusteella. Tätä tietoa tarvitaan erityisesti kuormituksen tason paikallisen arvioinnin tarkentamiseen.</p> <p>Turvetuotannon vesistökuormituksen ennakointi ja uudet hallintamenetelmät (TuVeKu) – hankkeen osatavoitteina oli I) arvioida aiemmin seurannan kohteina olleiden turvetuotantosoiden paikallisten ominaisuuksien vaikutusta syntyvään vesistökuormitukseen sekä löytää syitä pintavalutuskentillä ja ojitetuilla vesiensuojelukosteikoilla havaittuun puhdistuskyvyn vaihteluun sekä II) selvittää millaisin toimenpitein Vapo Oy:llä käytössä olevan rakeisen saostuskemikaalin syöttöön perustuvan pienkemikalointiaseman toimintaa voidaan tehostaa. Osatavoitteen I osalta tutkimuksessa pyrittiin löytämään kuormituksen muodostumiseen ja vesiensuojelukosteikkojen puhdistustehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä sekä todentamaan aiempia tutkimustuloksia laajalla aineistolla. Osatutkimuksessa II keskityttiin pienkemikalointimenetelmän saostusprosessin eri osa-alueiden optimointiin laboratorio-olosuhteissa neljälle rakeiselle kemikaalille. Kokeiden tarkoituksena oli selvittää, millaisin edellytyksin puhdistustuloksen saisi maksimoitua, pienentäen samalla käsittelyssä tarvittavia kemikaalimääriä.</p>			
Asiasanat	turvetuotanto, pintavalutus, pienkemikalointi, vesistökuormitus, rakeinen saostuskemikaali, koagulaatio, flokkulaatio			
Rahoittaja/toimeksiantaja				
	ISBN 978-952-11-4092-1 (nid.)	ISBN 978-952-11-4091-4 (PDF)	ISSN 1238-7312 (pain.)	ISSN 1796-1637 (verkkoy.)
	Sivuja 31	Kieli Suomi	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta (sis.alv 8 %)
Julkaisun myynti/jakaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE) PL 140, 00251 HELSINKI Puh. 020 610 123 Sähköposti: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a> , <a href="http://www.ymparisto.fi/syke">www.ymparisto.fi/syke</a>			
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE) PL 140, 00251 HELSINKI Puh. 020 610 123 Sähköposti: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a> , <a href="http://www.ymparisto.fi/syke">www.ymparisto.fi/syke</a>			
Painopaikka ja -aika	Edita Prima Oy, Helsinki 2012			

## PRESENTATIONSBLAD

<i>Utgivare</i>	Finlands miljöcentral (SYKE)			<i>Datum</i> Oktober 2012
<i>Författare</i>	Björn Klöve, Jaakko Saukkoriipi, Tapio Tuukkanen, Elisangela Heiderscheidt, Kaisa Heikkinen, Hannu Marttila, Raimo Ihme, Laëtitia Depre och Anssi Karppinen			
<i>Publikationens titel</i>	<b>Turvetuotannon vesistökuormituksen ennakointi ja uudet hallintamenetelmät</b> (Prognostisering av torvtäktens belastning på sjöar och vattendrag och nya kontrollmetoder)			
<i>Publikationsserie och nummer</i>	Miljön i Finland 35/2012			
<i>Publikationens tema</i>	Miljövård			
<i>Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt</i>	Publikationen finns tillgänglig också på Internet <a href="http://www.ymparisto.fi/julkaisut">www.ymparisto.fi/julkaisut</a> (på finska).			
<i>Sammandrag</i>	<p>I Finland utvinns årligen ca 25 miljoner m<sup>3</sup> torv, av vilken energitorv ca 23 milj. m<sup>3</sup>. Finland producerar över 50 procent av all energitorv i världen. Förändringar i avrinningen och i de biogeokemiska processerna som orsakas av torvtäkten leder till en ökning av belastningen av fasta partiklar och näringsämnen i nedre vattendrag. Det här tar sig speciellt uttryck i igenslammade bottenar. Belastningen från torvtäkten måste minimeras med de bästa användbara teknikerna som beaktar hela livscykelns effekter på sjöar och vattendrag.</p> <p>Ytavrinning på lutande markbädd har etablerats som den bästa tillgängliga tekniken (BAT) för rening av lakvatten från torvutvinning. Användning av utdikade vattenskyddsvåtmarker i det praktiska vattenskyddsarbetet har blivit vanligare eftersom odikade myrområden knappast finns mera i närheten av torvtäktensmyrar. Kemisk rengöring av vattnet har också blivit vanligare som BAT-metod. Användningen av kemisk rengöring begränsas av de höga kostnaderna. Därför tillämpas redan nu tillsats av kemikalier i mindre skala, till lägre kostnad, på små torvtäktensmyrar med höga reningskrav. Man har ännu inte tillräcklig kunskap om bland annat vilken reningseffekt utdikade våtmarker och småskalig kemikalietillsats har, hur säkert dessa metoder fungerar eller vilka faktorer som påverkar reningen. Under den senaste tiden har det i flera olika sammanhang uppstått ett behov att allt bättre kunna förutse och bedöma belastningen från torvtäktensmyrarna på vattendragen på basis av lokala egenskaper. Den här kunskapen behöver man särskilt för att kunna precisera den lokala bedömningen av belastningsnivån.</p> <p>Delsyftena i projektet Nya prognoser för vattendragsbelastning samt hanteringsmetoder för torvtäkt (TuVeKu) var I) att bedöma hur de lokala egenskaperna hos de torvtäktensmyrarna som var objekt för tidigare uppföljningar påverkar belastningen på sjöar och vattendrag och hitta orsaker till variation i rengöringseffekten som observerats med ytavrinningsfält och utdikade vattenskyddsvåtmarker och II) att utreda hur man kan effektivisera funktionen hos stationen för småskalig kemikalietillsats som baserar sig på inmatning av fällningskemikalier i granulär form. Beträffande delsyftet I ville vi hitta de faktorerna som påverkar uppkomsten av rengöringseffekten av vattenskyddsvåtmarkerna och belastningen och verifiera de tidigare resultaten med ett omfattande material. I delundersökningen II fokuserade vi på optimering av de olika delprocesserna i utfällning i den småskaliga kemikalietillsatsmetoden för fyra granulära kemikalier i laboratorieförhållanden. Syftet med försöken var att utreda med vilka förutsättningar reningsresultaten kan maximeras, med en samtidig minskning av de kemikalimängder som behövs i hanteringen.</p>			
<i>Nyckelord</i>	Torvtäkt, ytavrinning, småskalig kemikalietillsats, vattendragsbelastning, belastning på sjöar och vattendrag, fällningskemikalie i granulär form, flockulering			
<i>Finansiär/ uppdragsgivare</i>				
	ISBN 978-952-11-4092-1 (hft.)	ISBN 978-952-11-4091-4 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	<i>Sidantal</i> 31	<i>Språk</i> Finska	<i>Offentlighet</i> Offentlig	<i>Pris (inneh. moms 8 %)</i>
<i>Beställningar/ distribution</i>	Finlands miljöcentral (SYKE) PB 140, 00251 Helsingfors Tfn. +358 20 610 123 Epost: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a> , <a href="http://www.miljo.fi/syke">www.miljo.fi/syke</a>			
<i>Förläggare</i>	Finlands miljöcentral (SYKE) PB 140, 00251 Helsingfors Tfn. +358 20 610 123 Epost: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a> , <a href="http://www.miljo.fi/syke">www.miljo.fi/syke</a>			
<i>Tryckeri/tryckningsort och -år</i>	Edita Prima Ab, Helsingfors 2012			



## DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Finnish Environment Institute (SYKE)			<i>Date</i> October 2012
<i>Author(s)</i>	Björn Klöve, Jaakko Saukkoriipi, Tapio Tuukkanen, Elisangela Heiderscheidt, Kaisa Heikkinen, Hannu Marttila, Raimo Ihme, Laëtitia Depre and Anssi Karppinen			
<i>Title of publication</i>	<b>Turvetuotannon vesistökuormituksen ennakointi ja uudet hallintamenetelmät</b> (Pre-estimation of loading on water bodies from peat production and new pollution control methods (TuVeKu))			
<i>Publication series and number</i>	The Finnish Environment 35/2012			
<i>Theme of publication</i>	Environmental protection			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>	The publication is available on the internet: <a href="http://www.ymparisto.fi/julkaisut">www.ymparisto.fi /julkaisut</a>			
<i>Abstract</i>	<p>Approximately 25 million cubic metres of peat are produced in Finland each year. Furthermore 23 cubic metres of peat is extracted for energy purposes in Finland, which is more than 50% of the world's energy peat production. Peat extraction activities such as drainage and the exposure of peat layers are known to increase the amount of water discharging from the catchment areas and to increase the loading of suspended solids and nutrients, like phosphorus and nitrogen. Hence every effort has to be made to reduce pollution from peat extraction by means of the best viable technologies that take account of the whole life-cycle impact on water bodies.</p> <p>Overland flow areas are considered as one of the best available technologies (BAT) for purifying run-off water. Wetlands that are constructed to already drained mires are also a common and practical method of protecting waters nowadays, as undrained areas of mires close to peat extraction areas are often lacking. Constructed wetlands however are not considered to BAT so far. The chemical purification of runoff waters is considered to one of the best available technologies. However the limiting factor for chemical treatment has often been the high costs of the method. Thus the less expensive small-scale chemical treatment has become a norm in small peat production areas with stringent purification requirements. However, there is still insufficient amount of knowledge regarding how effective drained wetlands and small-scale chemical treatment are in the purification of runoff waters.</p> <p>The 'Pre-estimation of loading on water bodies from peat production and new pollution control methods' project (TuVeKu) had two main objectives:</p> <p>I) To assess the effect of the local and structural characteristics of the peat production areas and water treatment structures to the detected variations in the purification efficiencies. The statistical analysis is based on the gathered pollution monitoring data and gathered hydrological, geological, spatial, etc. data of the study sites.</p> <p>II) To examine the optimum precipitation process parameters for four different solid coagulants in laboratory conditions. The purpose was to evaluate what measures could be taken to improve the purification efficiency of the small-scale chemical treatment simultaneously reducing the required salt dosages.</p>			
<i>Keywords</i>	peat production, overland flow system, small-scale chemical water treatment, loading on water bodies, granular chemical coagulation, coagulation, flocculation			
<i>Financier/ commissioner</i>				
	ISBN 978-952-11-4092-1 (pbk.)	ISBN 978-952-11-4091-4 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	<i>No. of pages</i> 31	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> Public	<i>Price (incl. tax 8 %)</i>
<i>For sale at/ distributor</i>	Finnish Environment Institute (SYKE) P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland, Tel. +358 20 610 123, fax +358 20 490 2190 Email: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a> , <a href="http://www.environment.fi/syke">www.environment.fi/syke</a>			
<i>Financier of publication</i>	Finnish Environment Institute (SYKE) P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland, Tel. +358 20 610 123, fax +358 20 490 2190 Email: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a> , <a href="http://www.environment.fi/syke">www.environment.fi/syke</a>			
<i>Printing place and year</i>	Edita Prima Ltd, Helsinki 2012			

Turvetta nostetaan Suomessa vuosittain n. 25 miljoonaa kuutiometriä, josta energiaturpeen osuus on n. 23 milj. kuutiometriä. Suomessa tuotetaan yli 50 % maailman energiaturpeesta. Turpeen noston aiheuttamat muutokset valunnassa ja biogeokemiallisissa prosesseissa johtavat kiintoaine- ja ravinnekuormituksen lisääntymiseen alapuolisissa vesistöissä. Turvetuotannon kuormitusta onkin pyrittävä vähentämään koko elinkaaren vesistövaikutukset huomioon ottavilla parhailla käyttökelpoisilla tekniikoilla.

Turvetuotannon vesistökuormituksen ennakointi ja uudet hallintamenetelmät (TuVeKu) – hankkeen toteuttajina ovat toimineet Suomen ympäristökeskus ja Oulun yliopiston Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorio.

Hankkeen rahoituksesta on vastannut Vapo Oy.



ISBN 978-952-11-4092-1 (nid.)

ISBN 978-952-11-4091-4 (PDF)

ISSN 1238-7312 (pain.)

ISSN 1796-1637 (verkkokj.)