

TuKos-projektin tutkimusten ja alustavien tulosten esittely

TuKos-projektin seminaari 3.12.2009

Klöve, B., Postila, H., Karjalainen, S.M., Saukkoriipi, J.,
Riihimäki, J., Heikkinen, K., Visuri, M. & Ihme, R.



POHJOIS-POHJANMAAN
YMPÄRISTÖKESKUS

Vipuvoimaa
EU:lta
2007-2013

Sisällysluettelo

- Tukos-projektin esittely (Björn Klöve)
- Yleistä kosteikoista ja niiden prosesseista (Björn Klöve)
- Esiselvitys ja sen tuloksia (Heini Postila)
- Tukos-projektin ensimmäisenä vuotena tehtyjä tutkimuksia (Heini Postila)
 - Kenttätutkimukset
 - Laboratoriotutkimukset

Taustaa



Kuvat: H. Postila

TuKos -projektin tutkimuksen osa-alueet ja tavoitteet

- **Osatehtävä 1:** Tavoitteena on selvittää, millaisin edellytyksin ojitetulle suoalueelle voidaan rakentaa turvetuotannon valumavesiä tehokkaasti puhdistava vesiensuojelukosteikko
- **Osatehtävä 2:** Tavoitteena on tutkia, miten vesiensuojelukosteikon toimintaa voidaan parantaa sorptiomateriaalien tai muiden pidättymistä tehostavien ratkaisujen, kuten veden alumiinilisäyksen avulla
- **Osatehtävä 3:** Tavoitteena on saada selvitettyä ja kehitettyä sellaisia pumppaus- ja vedenjakoratkaisuja, jotka soveltuvat ympärivuotiseen vesien käsittelyyn mahdollisimman yleisesti
- **Osatehtävä 4:** Tavoitteena on laatia menetelmille mahdollisimman kattavat mitoitus- ja suunnitteluohjeet ja sekä teknisen testauksen että vuorovaikutteisen suunnittelun avulla saada menetelmistä yleisesti hyväksytyjä

A photograph of a forest landscape. In the foreground, there is a large, cylindrical metal structure, possibly a water tank or a large container, with a metal grate on top. The structure is partially obscured by green plants. The background shows a dense forest of tall, thin trees, likely birches, with a mix of green foliage and some bare branches. The ground is covered with grasses and other vegetation. The text "Yleistä kosteikoista ja niiden prosesseista" is overlaid in the center of the image.

Yleistä kosteikoista ja niiden prosesseista

Puhdistusprosessit kosteikoissa

- **Useat prosessit vaikuttavat veden puhdistumiseen**
 - fysikaaliset prosessit kuten suodatus
 - kemialliset prosessit kuten adsorptio ja saostus
 - mikrobiologiset prosessit kuten nitrifikaatio-denitrifikaatio
- **Veden pitoisuus ja koostumus vaikuttaa puhdistustulokseen**
 - reduktio ja aineiden poistuminen on suuri kun tuleva pitoisuus on suuri (kun vesi puhdasta on sen puhdistuminen mahdotonta)
 - hiukkasiin sitoutuneet ravinteet poistuvat laskeutumalla
 - pH vaikuttaa puhdistukseen
- **Puhdistus tehokasta kun ympäristötekijät suotuisat**
 - lämpötila kontrolloi varsinkin typen poistoa
- **Turve ja maaperä laatu vaikuttaa vesien puhdistukseen**
 - maaperän rauta ja alumiini lisäävät fosforin poistoa
- **Hydrologiset olosuhteet**
 - suotuisat virtasolot edellytys puhdistumiselle
- **Kentän kasvillisuus?**
 - vaikutus usein välillinen
 - ravinteita ei juuri sitoudu kasveihin

Fosforin poisto kosteikoissa

- Kiintoaineeseen sitoutunut fosfori poistuu laskeutumalla ja suodattumalla
- Fosfaatti PO_4^- sitoutuu maaperään ioneihin kuten Fe^+ , Al^+ , Ca^+
 - sitoutuminen rautaan riippuu maan pH:sta ja happipitoisuudesta (redox)
 - sitoutuminen alumiiniin riippuu maaperän pH:sta
- Fosfaattifosforin sitoutuu adsorption avulla eli
 - Fosforia sitoutuu kun tuleva pitoisuus suuri
 - Fosforia voi vapautua kun tuleva pitoisuus pieni
- Maaperä voi vapauttaa fosforia raudasta, jos turve on hapeton
 - esimerkiksi maan vettyminen voi vapauttaa fosforia
- Fosfaattifosfori jää pääosin kenttien turpeeseen
 - vain vähäinen osa poistuu kasvillisuuden kautta
 - turvetta oltava riittävästi

Mitä tämä tarkoittaa turvevesien puhdistamisessa?

- Kosteikkojen fosforin poisto riippuu turpeen laadusta
 - Fe ja Al sekä turpeen P pitoisuus
- Fosfaatin poisto edellyttää veden kontaktia turpeen kanssa
- Liian suuri hydraulinen kuorma voi vähentää fosfaatin poistoa
- Kun tuleva pitoisuus on pieni on reduktio pieni (tai negatiivinen)
 - Esimerkiksi kun virtaama suuri on usein $\text{PO}_4\text{-P}$ pieni ja reduktio vähäistä
- Kun tuleva pitoisuus on suuri on reduktio suuri
- Jos kosteikon pintakerros on hapeton, voi fosforia vapautua
- Jos kenttä vettyy, voi happipitoisuus laskea ja fosforia vapautua
- Jos kentän turpeen fosforipitoisuus on suuri, voi fosforia vapautua jos kenttä vesitetään
- Kasvien hajoaminen voi ajoittain vapauttaa fosforia
- Kosteikko voi kyllästyä fosforista jolloin reduktio vähenee
- Poistumista voidaan ehkä edistää lisäämällä Al tai Fe kemikaaleja tai sorptiomateriaaleja keinotekoisesti

Typen poisto kosteikoista

- Turvesuon valumavedessä on yleensä ammoniumtyyppiä, orgaanista tyyppiä ja kiintoaineeseen sitoutunutta tyyppiä
- Ammoniumtyppi poistuu
 - nitrifikaatio-denitrifikaatio prosessissa
- Typen poistumiseen vaikuttaa veden viipymä ja lämpötila
 - prosessi vaatii aikaa
 - poistuminen pieni kuin hydraulinen kuorman on suuri
 - poistuminen vaatii happea
 - prosessi nopeutuu lämpötilan noustessa
 - poistuminen vähäistä kun lämpötila laskee 5-10 asteeseen
- Ammoniumtyppi voi varastoitua turpeeseen, joka edistää poistumista silloin kun prosessin toiminta on hidasta
- Typen poistuminen riippuu pitoisuudesta
 - poistuminen suuri kun pitoisuus on suuri



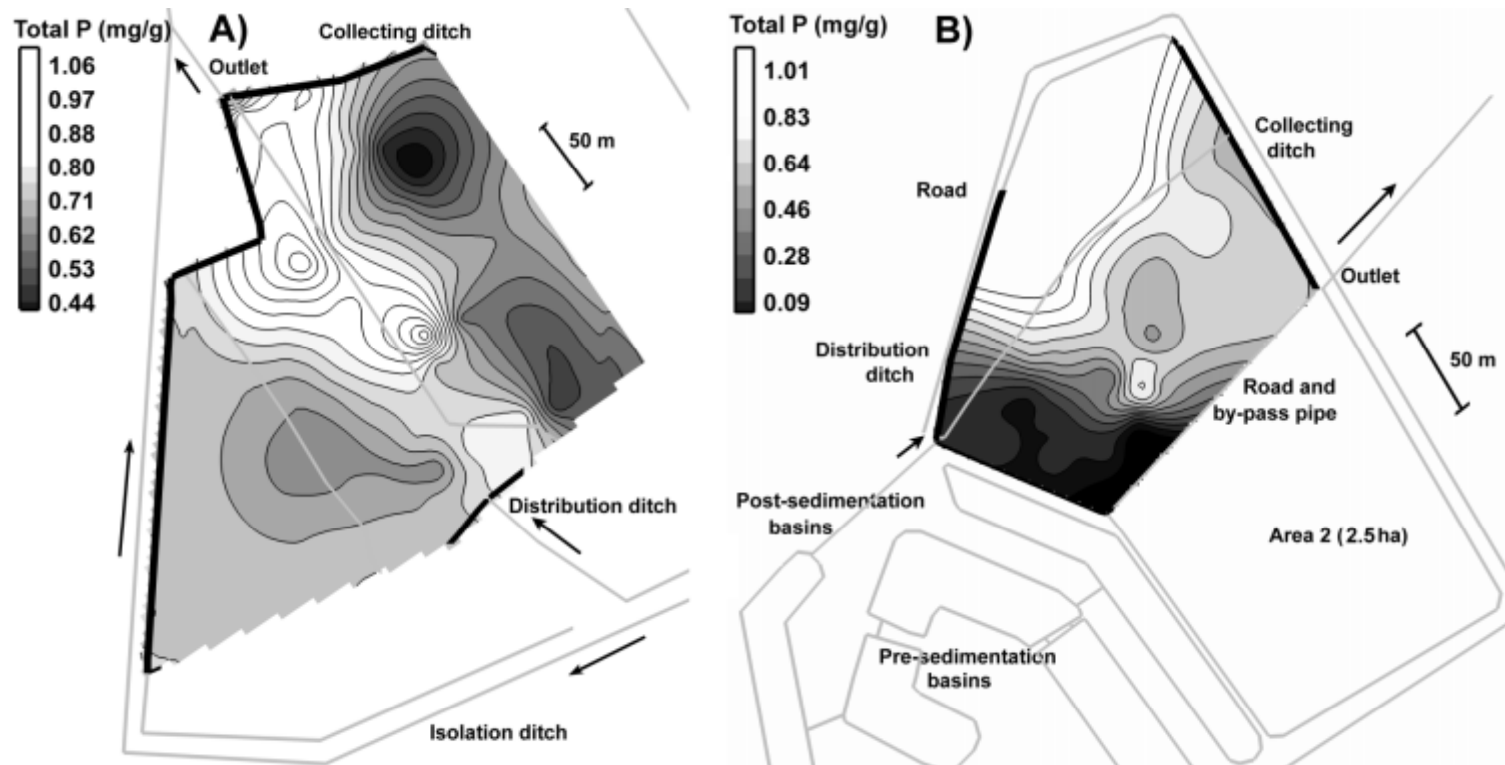
Kasvillisuuden merkitys

- Kasvillisuuden merkitys ravinteiden pidättäjänä pieni verrattuna turpeen merkitykseen.
- Kasvillisuudella on kuitenkin tärkeä välillinen merkitys kentän toiminnalle valumavesien puhdistajana:
 - kuljettaa happea syvempiin turvekerroksiin ja tehostaa näin ravinteiden poistumiin johtavia prosesseja
 - parantaa veden leviämistä kentälle
 - hidastaa veden virtausta ja tehostaa näin kiintoaineen laskeutumista
 - suodattaa vedestä kiintoainetta

Hydrologian merkitys

- Veden tasainen levittäytyminen lisää viipymää joka edistää kentän toimintaa
 - antaa aikaa prosesseille
 - koko turveala käytössä esim. P pidätykseen
- Hydraulisen kuorman kasvu voi vähentää poistumaa
- Pintavalutuksessa vesi virtaa yleensä pintakerroksissa ja korkeintaan 30-60 cm syvyyteen turpeessa
- Kentän kaltevuus ja maaston muodot ohjaavat virtauksia
- Virtaukset muuttuvat vesimäärien kasvaessa
- Jakokamman sijoitus tärkeä veden viipymän kannalta

Hydrologia, oikovirtaukset ja fosforin poisto

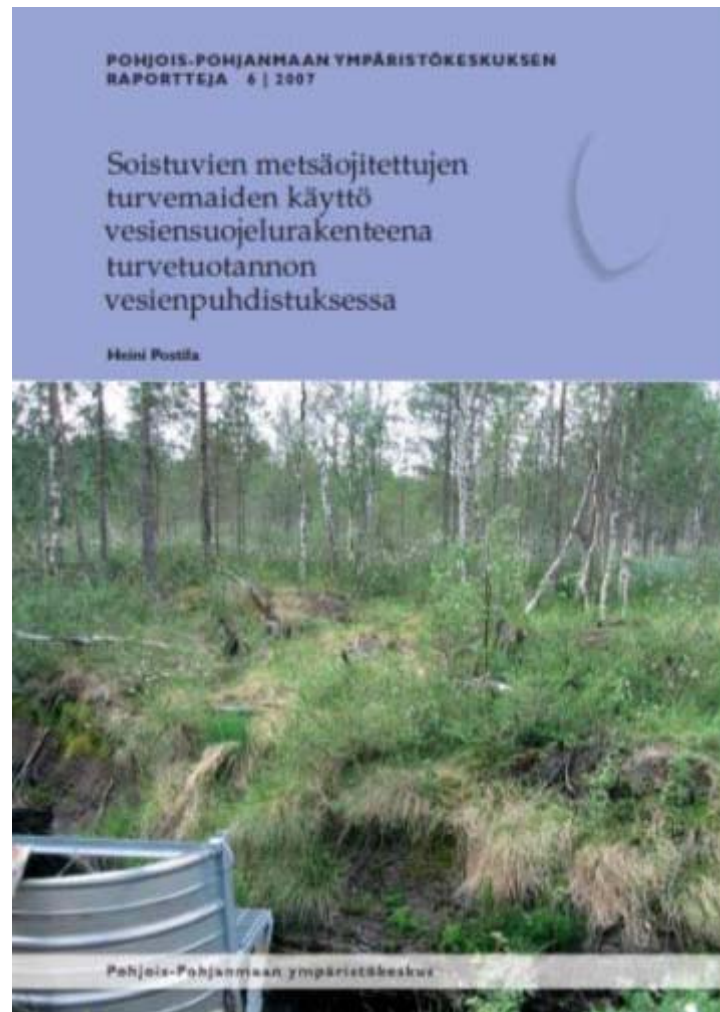


Ronkanen, A.K. and Kløve, B. 2009. Long-term phosphorus and nitrogen removal processes and flow paths in Northern constructed peatlands. *Ecological Engineering*, 35, 843-853.

Ojitettujen kosteikkojen eroja pintavalutuskenttiin nähden

- Vanhat ojat muodostavat potentiaalisia virtausuomia
 - Miten saadaan vesi levittäytymään tasaisesti kentälle
- Mahdollinen ojien aiheuttama mineraalimaakontakti
 - Vesi saattaa kulkeutua alapuoliseen mineraalimaahan, jos ojat ovat turvekerrosta syvempiä – Ojittamattomalla suolla vesi virtaa pääasiassa turpeessa
- Ojituksen jälkeen turpeen ominaisuudet ovat muuttuneet aerobisen hajotustoiminnan ja metsäkasvillisuuden tuottaman karikkeen seurauksena
 - maatumempaa turvetta pinnassa
 - mahdollisesti heikompi vedenläpäisevyys ja turpeen kontakti valumaveden kanssa
 - puhdistustulos
- Hapellisia oloja vaativat kasvit ja hajottajaorganismit kuolevat nopeasti, vedenjohtamisen ja ojien tukkimisen seurauksena tapahtuvan pohjavedenpinnan nousun seurauksena
 - Alueelle tulevat vedet huuhtovat hajotustoiminnan vapauttamia ravinteita ja hajotustuotteita valumavesiin
 - Ennallistettavilla alueilla on lisääntynyt erityisesti liukoisen fosfaattifosforin huuhtoutuminen

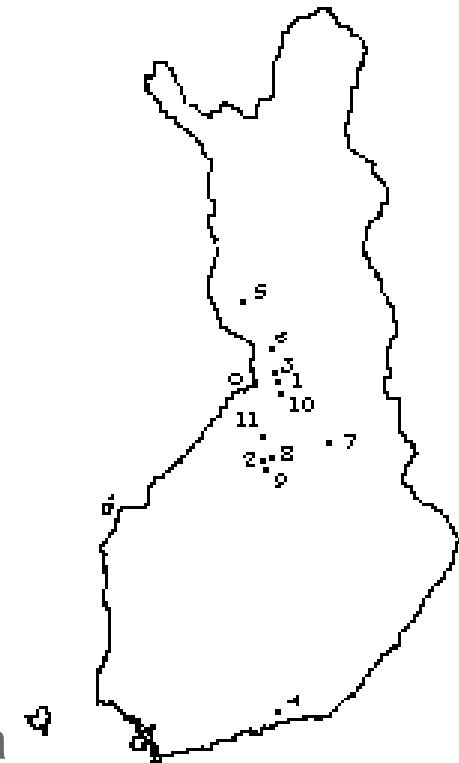
Esiselvitys TuKoksen -pohjana



Vipuvoimaa
EU:lta
2007-2013

Esiselvitys

- Esiselvityksessä oli mukana 13 kosteikkoa, joista 12:sta alueella oli oja
- Kosteikoilla käytiin yhden päivän aikana alkukesästä 2006 tekemässä maastokäynti, jossa selvitettiin mm. seuraavia asioita:
 - Vedenjohtavuus, mitattuna 1-6 pisteestä ja 3-4 eri syvyydeltä
 - Kosteuskartoitus ja kasvillisuuskarttoitus
 - Turpeen maatuneisuus ja turvelaji yleensä 1-2 pisteestä noin 0,1-0,2 m syvyydeltä
 - Kentällä olevien ojien, jakokamman/-ojan ja keräilyojan ulottuminen mineraalimaahan saakka (1,2 m mineraalimaatikulla)
 - Ojien tukkimistavat
- Lisäksi käytiin läpi kohteilta olevaa tietoa lähtevän (ja tulevan) veden pitoisuuksista ja kuormituksista ja arvioitiin sillä perusteella kosteikon toimivuutta



Toimivuusarvioinnit

Suon nimi	COD _{Mn}	Kok.P	PO ₄ -P	Kok.N	NH ₄ -N	NO ₂₊₃ -N	Kiintoaine	Rauta
Haarasuo ¹⁾	huono/ keskim	keskim	keskim	keskim	keskim	keskim	keskim	keskim
Hankilanneva pvk 1 ¹⁾	keskim	keskim	keskim	keskim	keskim	keskim	keskim	huono/ keskim
Hankilanneva pvk 2 ¹⁾	keskim	keskim	keskim/ huono	hyvä/ keskim	keskim	keskim	keskim	keskim/ huono
Isosuo ²⁾	keskim	keskim	keskim	keskim	keskim	huono	keskim	keskim
Karhunsuo ^{2), 3)}	huono	keskim		keskim			hyvä	
Keskiaapa pvk 2-3 ^{2), 4)}	keskim	keskim	keskim	keskim	keskim	huono	hyvä	keskim
Kynkänsuo pvk 3 ²⁾	keskim	huono	huono	keskim	hyvä	hyvä	hyvä	keskim
Lintusuo pvk 3 ^{1), 5)}	huono/ hyvä	keskim	hyvä	huono/ Ihyvä	huono/ keskim	keskim	huono/hyvä	keskim
Luomanneva ²⁾	huono	huono	huono	huono	keskim	huono	huono	keskim
Nurmesneva ¹⁾	keskim	huono	huono	keskim	keskim	keskim	keskim	keskim
Pehkeensuo pvk 1 ²⁾	keskim	keskim	keskim	keskim	keskim	keskim	keskim	keskim
Savalonneva ^{2), 6)}		keskim	keskim	huono	keskim	huono	keskim	

¹⁾ Toimivuusarvioinnit perustuvat vain lähtevän veden pitoisuus- ja kuormitustietoihin.

²⁾ Toimivuusarvioinnissa mukana myös joiltakin vuosilta tulevan veden pitoisuustietoja lähtevän veden pitoisuus- ja kuormitustietojen lisäksi.

³⁾ Turvetuotantoalue sijaitsee Kaakkois-Suomessa, mikä aiheuttaa hieman virhettä toimivuustarkasteluun, sillä tuloksia on verrattu Pohjois-Pohjanmaan alueen keskimääräisiin tuloksiin.

⁴⁾ Turvetuotantoalue sijaitsee Lapin läänissä.

⁵⁾ Alueen turvetuotantosuo ovat kuntoonpanovaiheessa eikä pintavalutuskentillä ole ollut jatkuvaa virtaamamittausta. Kentät sijaitsevat lisäksi Kainuun ympäristökeskuksen alueella.

⁶⁾ Savalonnevan tiedot ovat 28.4–30.5.2006 väliseltä ajalta. Alueelle ei ole johdettu turvetuotantoalueen vesiä, vaan vain metsäojitusalueen vesiä.

Ojitettujen ja ojittamattomien kohteiden vertailu

- Vertailtiin Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen alueella yhteistarkkailussa mukana olleita ojitettuja ja ojittamattomia kohteita vuosina 1996-2005
- Tulokset:
 - Kokonaisfosforin ja fosfaattifosforin ($\text{PO}_4\text{-P}$) suhteen pitoisuuseroja
 - Ehkä hieman myös raudan ja kiintoaineen suhteen
 - Brutto-ominaiskuormituksissa eroja fosfaattifosforin ja raudan suhteen

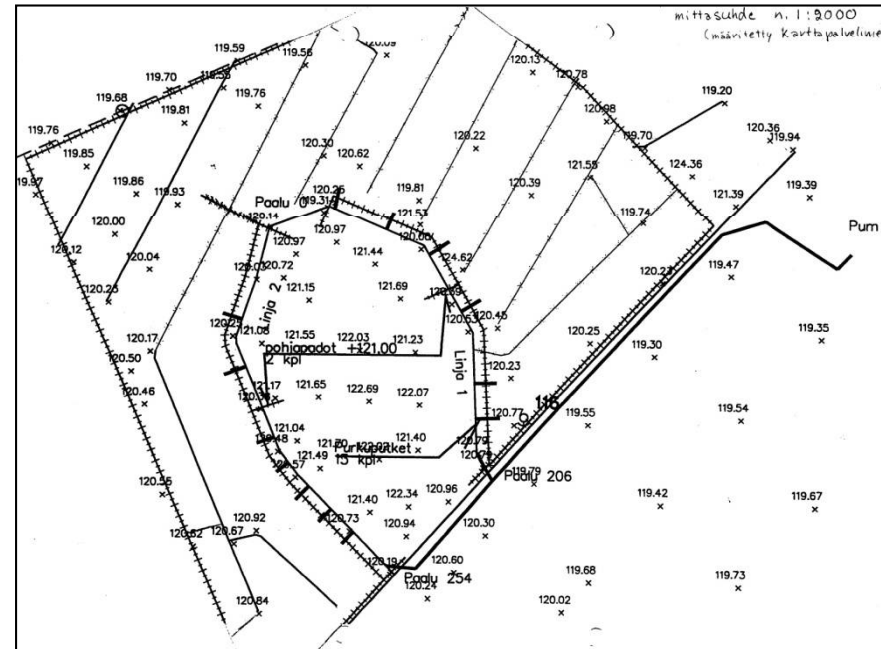


TuKos-projektin tutkimuskosteikot

- Kapustaneva
- Luomaneva
- Savaloneva
- Äijönneva

Kapustaneva, Veteli (Vapo Oy)

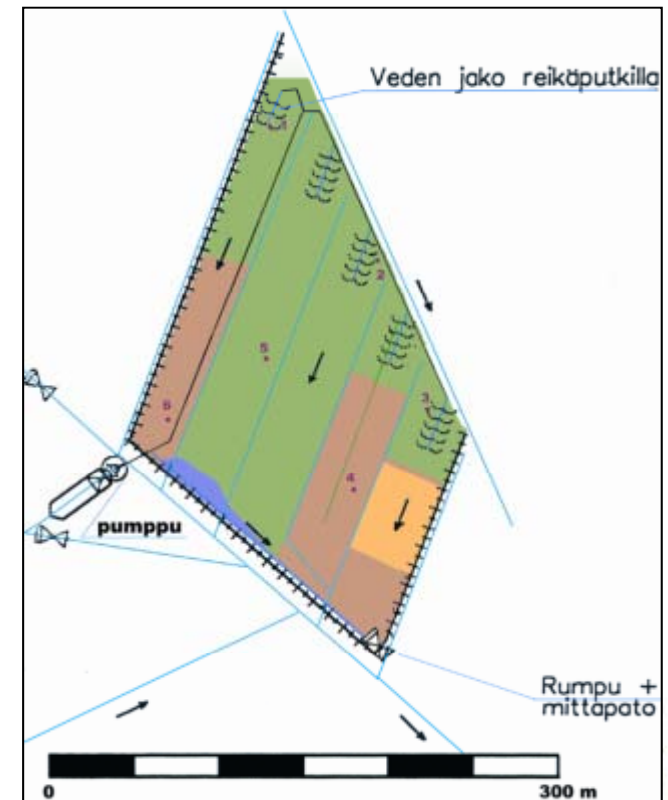
- Vesi pumpataan ympärivuotisesti kosteikolle jako-ojan ja putkien kautta
- Osa ojista tukittu kokonaan, osa osittain
- Toiminnassa toukokuusta 2008
- Kasvillisuusarviointien perusteella ravinnetaso oligotrofinen eli karu



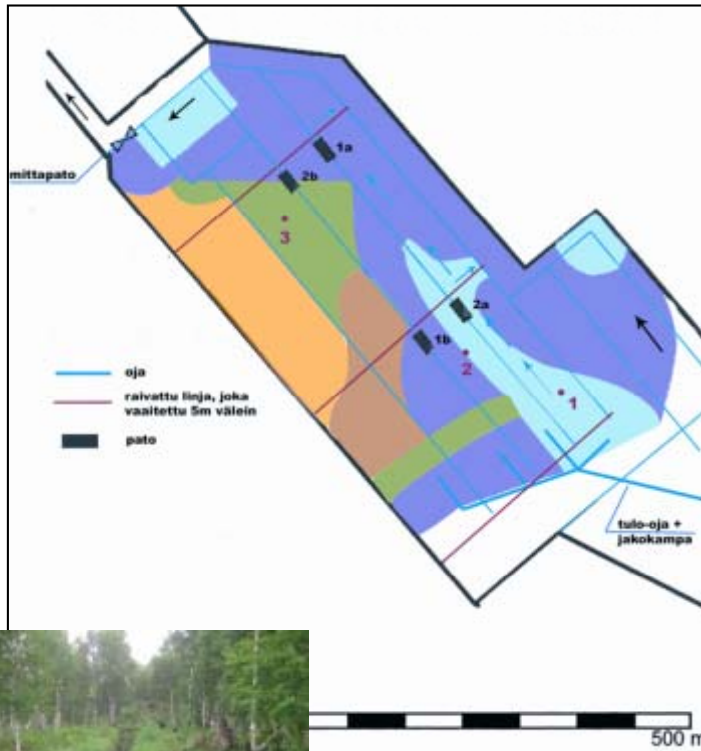
Kuvat: H. Postila

Luomaneva, Kärsämäki (Vapo Oy)

- Reikäputket
- Ojia ei ole tukittu
- Vesienkäsittelyratkaisu toiminnassa noin 10 vuotta
- Kasvillisuusarviointien perusteella ravinnetaso mesotrofinen eli keskiravinteinen



Savaloneva, Siikalatva (Turveruukki Oy)

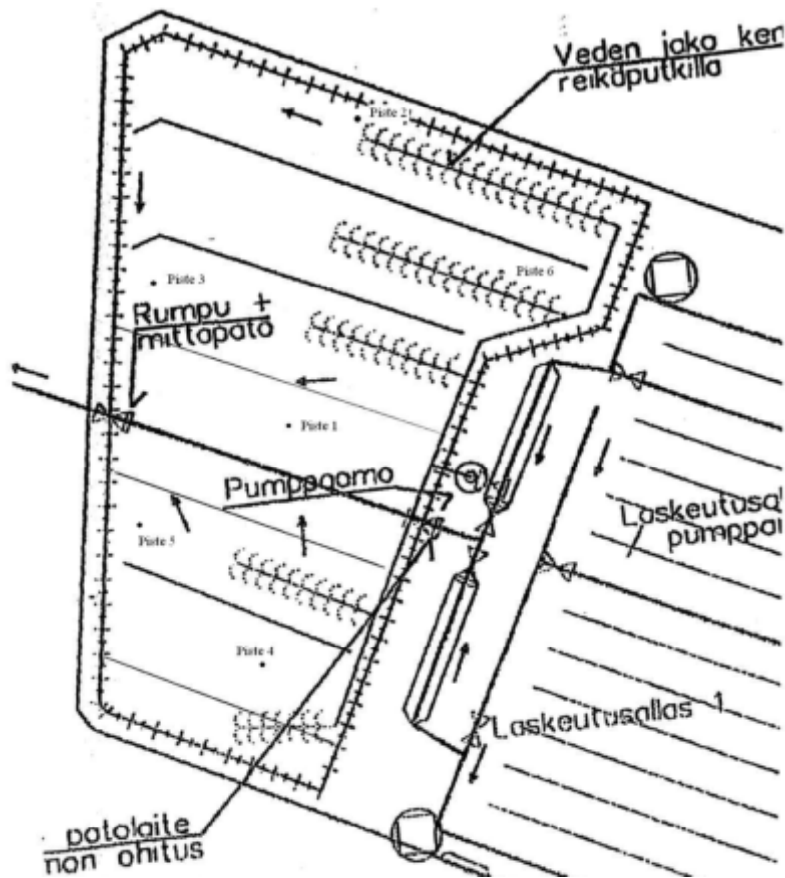


Kuva: H. Postila

- Pumppaus roudattomana aikana, gravitaatio talvella
- Ojia tukittu olki ja olki-turvepadoilla
- Kasvillisuusarviointien perusteella ravinnetaso mesotrofinen eli keskiravinteinen, vaikkakin oligotrofian ilmentäjälajit vallitsevia

Äijönneva, Haapavesi (Vapo Oy)

- Reikäputket
- Kosteikolle alettiin johtamaan vesiä heinäkuun 2009 alussa
- Ojia ei tukittu
- Kasvillisuusarviointien perusteella ravinnetaso mesotrofinen eli keskiravinteinen





Tehtyjä/tekeillä olevia tutkimuksia

- Kosteikkojen ominaisuudet
- Hydrologiset mittaukset
- Vedenlaatu- ja puhdistusteho
- Ympäri vuotinen pumppaus
- Fosforin pidättymiseen liittyvät tutkimukset
- Humusfraktiointi

Turpeiden maatuneisuusasteet

Paikka	Määrittyspisteiden lukumäärä 0-10 cm	Maatuneisuus keskimäärin 0-10 cm	Vaihteluväli 0-10 cm	Määrittyspisteiden lukumäärä 20-30 cm	Maatuneisuus keskimäärin 20-30 cm	Vaihteluväli 20-30 cm
Kapustaneva	6	H2-H3	H1-H4	6	H3-H4	H2-H5
Luomaneva	12	H4-H5	H2-H7	4	H5	H4-H5
Savaloneva	17	H4	H3-H5	5	H4	H3-H5
Äijönneva	6	H3-H4*	H2-H5*	6	H4**	H3-H5**
Pehkeensuo***	1	H2				

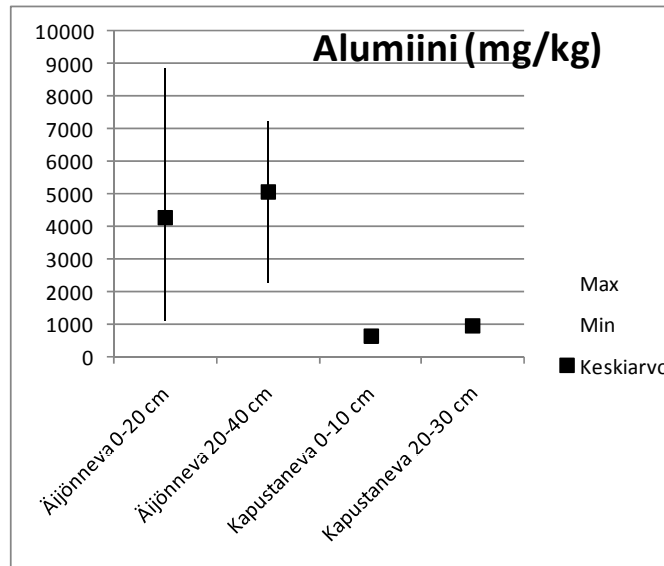
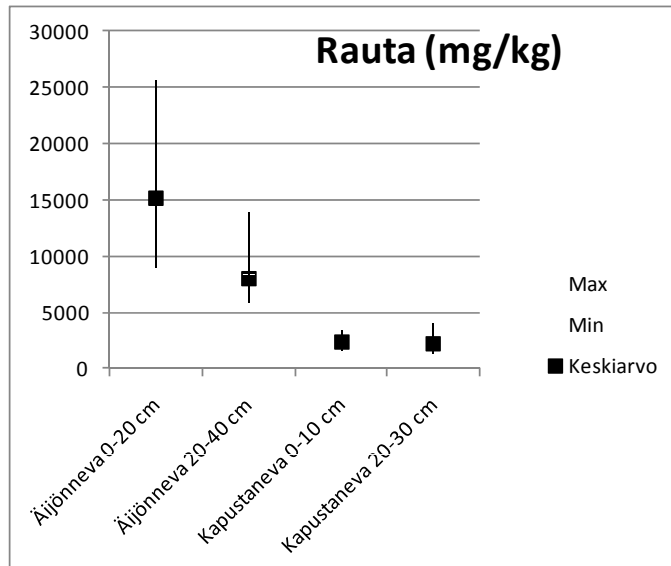
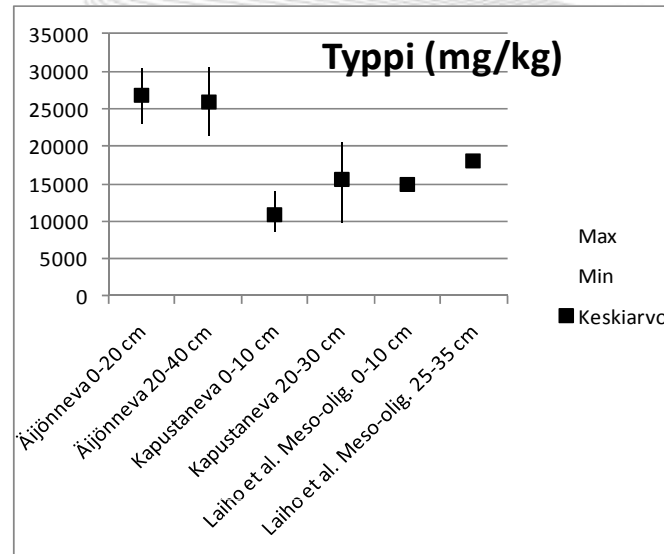
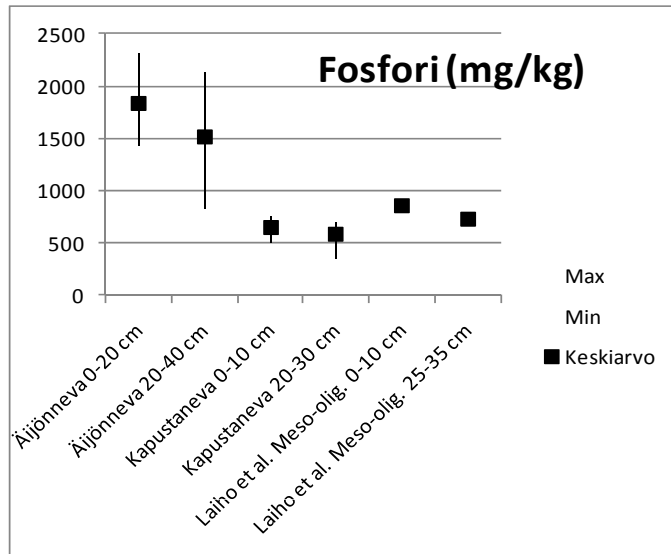
* Näytteenottosyvyys vaihdellut 0-20 cm välillä

** Näytteenottosyvyys vaihdellut 20-40 cm välillä

*** Määrittys tehty vuonna 2006 yhdestä pisteestä noin 10-20 cm syvyydeltä kentän yläosasta

- Pintavalutuskenttien maatuneisuusastesuositus H1-H3
- Turvelaji oli Kapustanevalla pääasiallisesti pinnassa (puu)rahkaturvetta, muualla vaihtelua varpu/puu/sara/rahkavaltaisen ja niiden yhdistelmien välillä

Turpeen alkutilan pitoisuuksia Äijönneva ja Kapustaneva

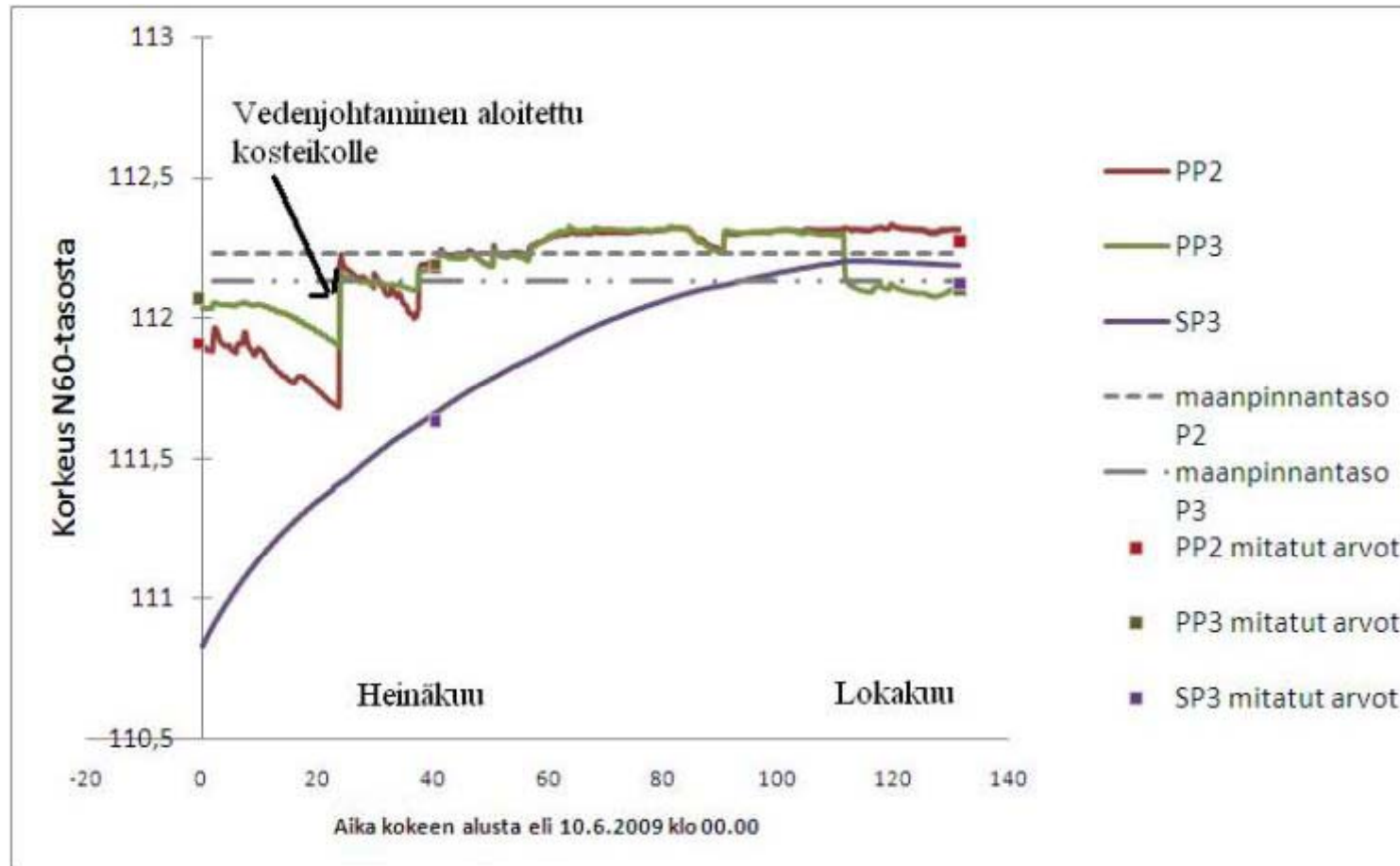


Kesällä 2009 tehtyjä kenttien hydrologiaan liittyviä tutkimuksia

- Hydrologinen seuranta turpeen ja mineraalimaan vedenpinnankorkeuksista
- Merkkiainekoe Kapustanevalla ja Savalonevalla veden viipymän (ja virtausreittien selvittämiseksi)
- Vedenjohtavuuden mittaus Savalonevalla ja Luomanevalla
- Tulo- ja lähtövirtaaman mittaus



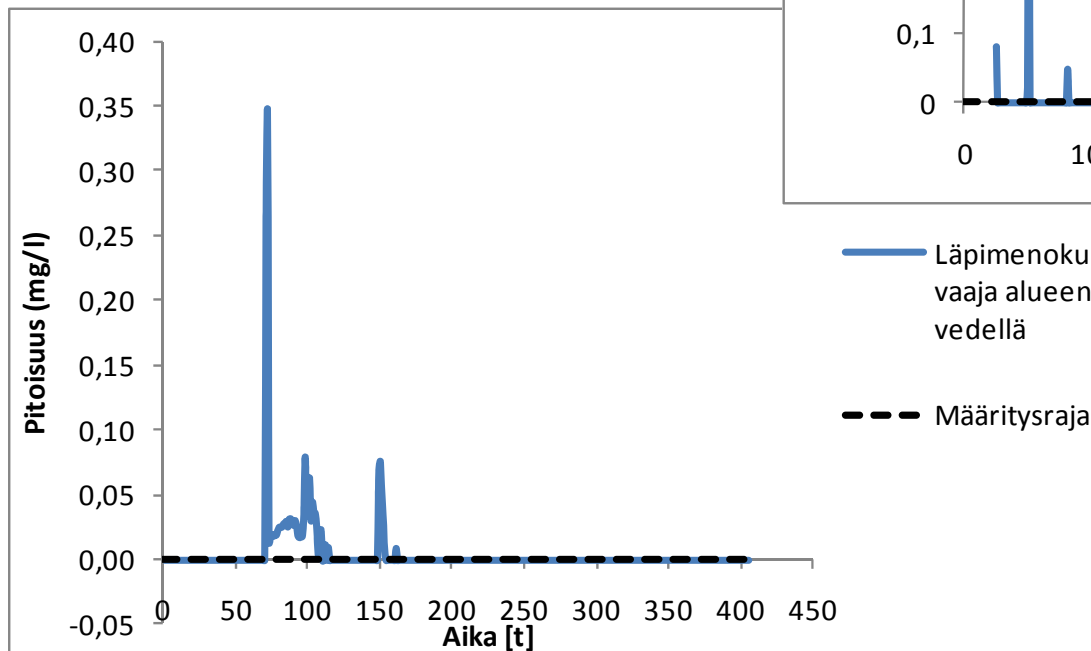
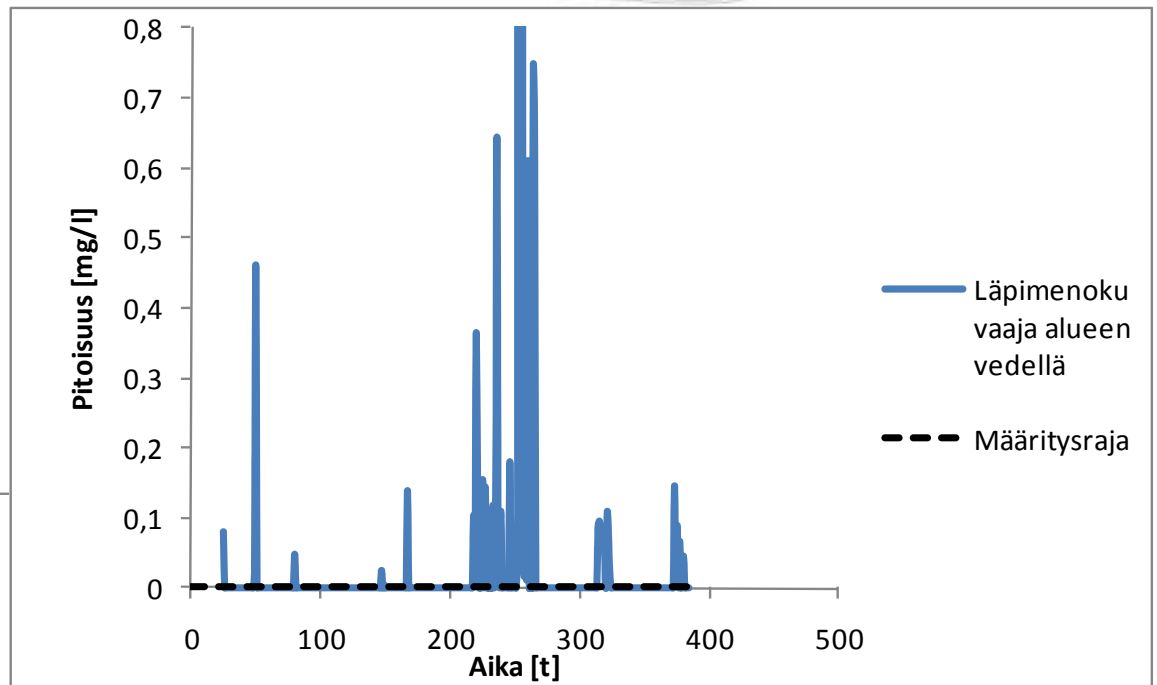
Äijönnevan vedenpinnankorkeuksien seuranta



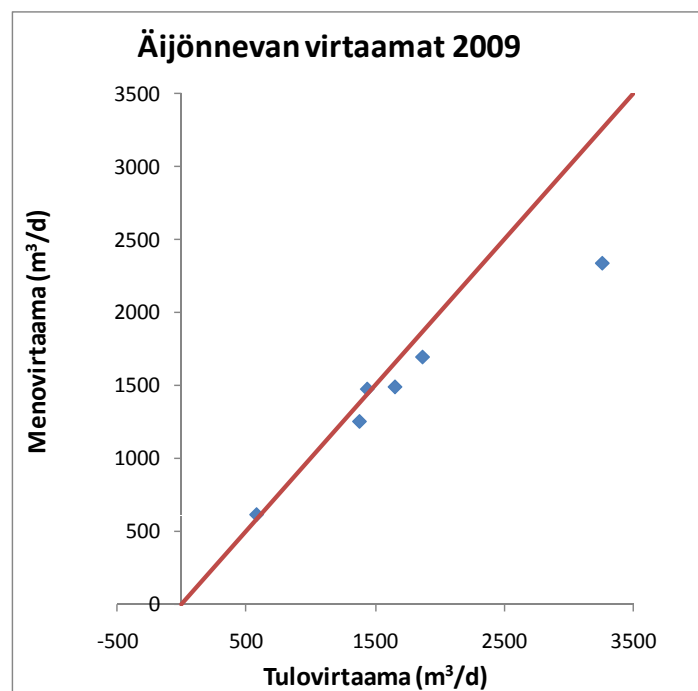
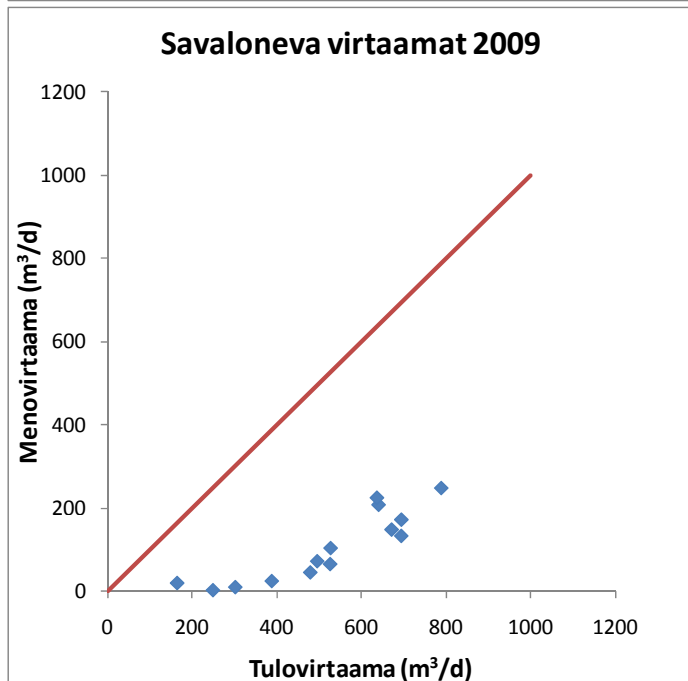
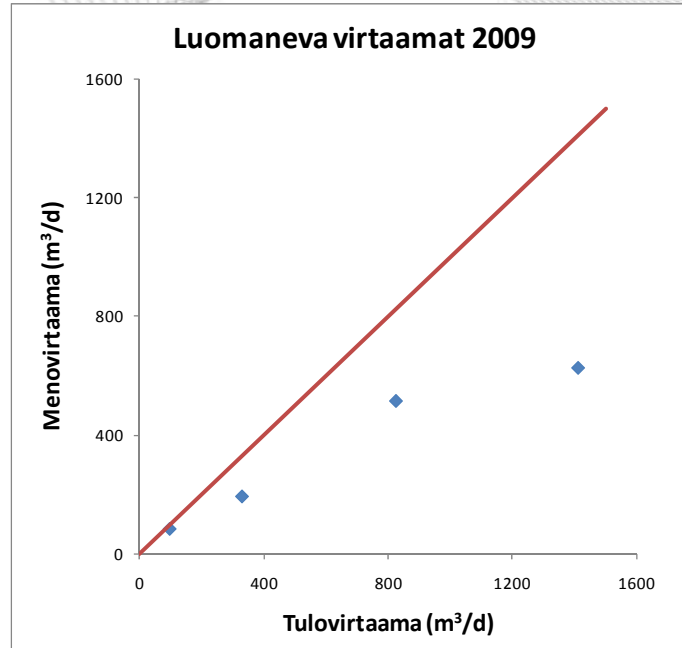
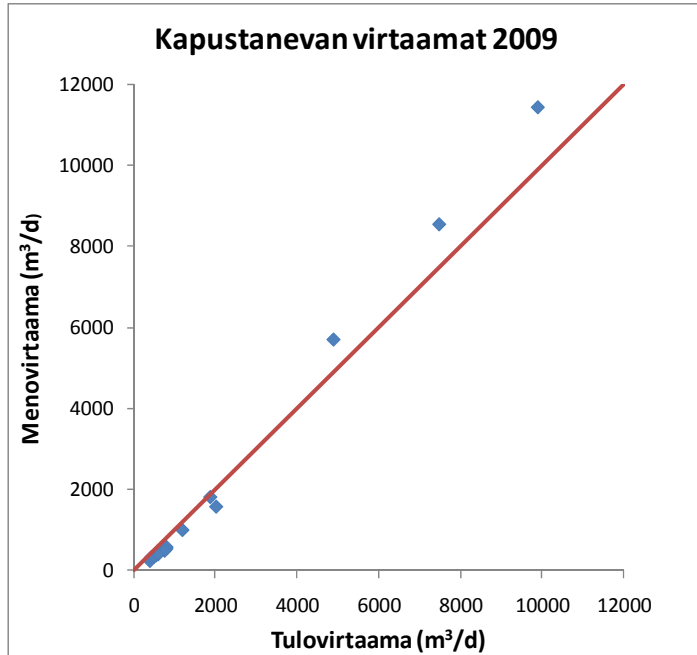
Viipymän kenttämittaukset kaliumjodidilla

Kapustaneva (oikealla)

Savaloneva (alhaalla)



Virtaamien vaihtelut



Tutkimuskosteikkojen tulevien pitoisuuksien vertailu pintavalutuskenttien yleiseen tasoon

Ominaisuus	Kapustaneva kesä 2009	Luomaneva loppukesä 2009*	Savaloneva kesä 2009	Äijönneva kesä 2009	Tuleva pit yhteistark kailut kesä 2007-2009	Tuleva pit yhteistark kailut kesä 2008-2009
COD _{Mn} (mg/l)	55	40	51	37	23	24
Kok.P (µg/l)	103	118	62	68	103	77
PO ₄ -P (µg/l)	22	26	7	20	156	51
Kok. N (µg/l)	2000	1900	3000	2100	1200	1200
NH ₄ -N (µg/l)	600	240	1400	950	380	260
NO _{2,3} -N (µg/l)	29	44	6	8	48	58
Kiintoaine (mg/l)	10	22	20	11	14	16
Rauta (µg/l)	3300	3050	6400	4700	6700	7700
Alumiini (µg/l)	330	720	566	430		

Tulevien pitoisuuksien tiedot on koottu vuosien 2007- 2009 yhteistarkkailuista tehontarkkailussa olleilta kohteilta (ei 2009 Piipsanneva) (kohteita 9/5)

* Luomanevan kohdalla seminaarin jälkeen havaitut virheet korjattu tähän esitykseen

Ojitettujen kosteikkojen puhdistustehoja kesä 2009

Ominaisuus	Pintavalutuskenttien keskimääräiset kuormitusreduktiot	Kapustaneva kesä 2009 kuormitusreduktiot	Luomaneva loppukesä 2009 pitoisuusreduktiot*	Luomaneva loppukesä 2009 kuormitusreduktiot*	Savaloneva kesä 2009 pitoisuusreduktiot	Savaloneva kesä 2009 kuormitusreduktiot	Äijönneva loppukesä 2009 kuormitusreduktiot	Äijönneva syksy 2009** kuormitusreduktiot	Hankilaneva kesä 2009 pitoisuusreduktiot	Pehkeensuo kesä 2009 pitoisuusreduktiot ***
COD _{Mn}	4-21	6	10	37	-50	70	-211	-13	-18	-28
Kok.P	46-57	56	-1	33	-201	47	-321	-1	49	47
PO ₄ -P	51-71	77	-188	-45	-845	-92	-629	17	48	62
Kok. N	29-49	46	32	54	-39	80	-10	28	33	23
NH ₄ -N	33-92	94	40	71	-12	85	73	72	66	73
NO _{2,3} -N	41-55	92	55	85	-232	46	72	-667	50	0
Kiintoaine	55-72	82	63	78	-134	77	11	68	57	72
Rauta	30-58	70	-12	22	-262	43	-49	-10	19	28

* Luomanevan kohdalla seminaarin jälkeen havaitut virheet korjattu tähän esitykseen

**28.10 edeltävän ajan lähtövirtaama eli kuormitustiedot puuttuvat

*** Ei rankkasadekerran tuloksia, koska silloin ei otettu tulevaltakaan puolelta näytettä

Ympärivuotinen pumppaus kosteikoille

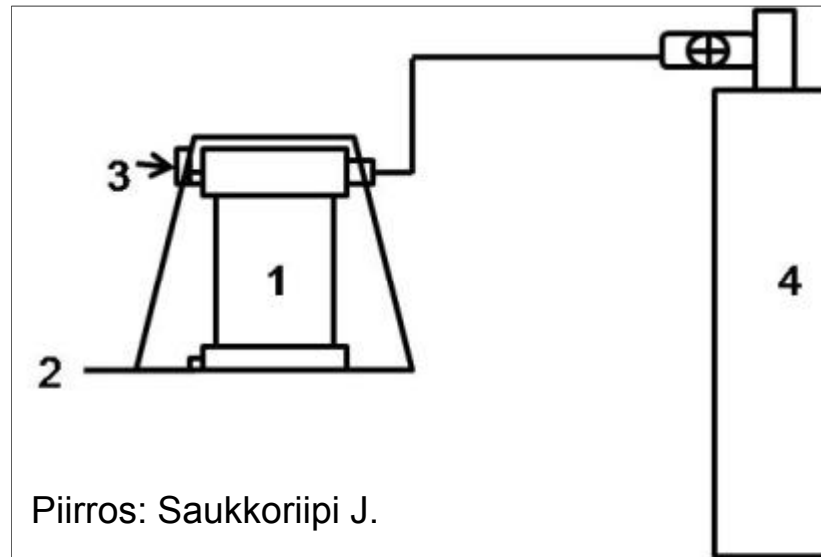
- Määttä, J. 2009. Turvetuotannon kuivatusvesien ympärivuotinen pumppaus pintavalutuskentille:
 - Ongelmia:
 - Penkereiden painumisia varsinkin alkuvuosina
 - Paannejään muodostumista
 - Tutkimussoilla ja vertailusoilla ei merkittäviä eroja kesä- ja syksyaikaisissa kuormituksissa
 - Talviaikaiset kuormitukset ja pitoisuudet tutkimussoilla pääasiassa pienempiä kuin laskeutusaltaallisilla vertailusoilla
- TuKos-projektissa ei vielä erityisesti perehdytty tähän osa-alueeseen vaan tarkastelua olisi tarkoitus tehdä kevättalvella 2010 ja 2011

Kokeet fosforin pidättymisestä turpeeseen

- Ojitetulla kosteikolla turve on muuttunut (hapettunut) ja siten mahdollisesti fosforia heikommin sitova. Hapellisissa olosuhteissa rauta pidättää fosforia, mutta turpeen vesittäamisen yhteydessä muodostuu hapettomia olosuhteita turpeeseen, jolloin rauta on liukoisessa muodossa eikä kykene pidättämään fosforia. Vaarana on fosforin pidättymisen heikentyminen turpeeseen.
- Hapettuneen ja uudelleen vesittyneen turpeen fosforin pidättymiskykyä testattu laboratorikokeilla
 - Turvenäytteet sekä mineraalimaanäytteet Savalonevalta eri syvyyksiltä
 - Alustavat laboratorikokeet tehty, tulokset vielä analysoitava
- Fosforin pidättymisen edistäminen pintaturpeessa sorptiomateriaaleilla sekä alumiinikemikaalilla
 - Alustavat laboratorikokeet tehty, tulokset vielä analysoitava

Humusfraktiointikokeet Kapustanevalla ja Savalonevalla

- Tutkitaan veteen liuenneiden orgaanisten yhdisteiden (DOM) eri molekyylikoon fraktioiden roolia ravinteiden ja metallien kuljettajina, fraktioiden osuutta fosfori- ja typpiravinteiden pidättymisessä sekä fraktiojakauman muutoksia ojitetuilla suoalueilla
- Fraktiot erotettiin toisistaan peräkkäisillä suodatuksilla
- Suodatusvaiheiden jälkeen suodoksille teetettiin kemiallisia analyysejä ravinnekuorman selvittämiseksi



Lähteitä

- Ennallistamistyöryhmä. 2003. Ennallistaminen suojelualueilla: Ennallistamistyöryhmän mietintö. Helsinki: Ympäristöministeriö, alueidenkäytön osasto, Suomen ympäristö, 618. 220 s.
- Heikkinen, K., Ihme, R. & Lakso, E. 1994. Ravinteiden, orgaanisten aineiden ja raudan pidättymiseen johtavat prosessit pintavalutuskentällä. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus, Oulun vesi- ja ympäristöpiiri. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, Sarja A, No 193. 84 s.
- Laiho, R., Sallantaus, T. & Laine, J. 1999. The effect of forestry drainage on vertical distributions of major plant nutrients in peat soils. *Plant and Soil* 207:169-181.
- Määttä, J. 2009. Turvetuotannon kuivatusvesien ympärivuotinen pumppaus pintavalutuskentälle. Oulun seudun ammattikorkeakoulu, opinnäytetyö. 69 s.+liitteet
- Ronkanen, A-K. 2009. Hydrologic and hydraulic processes in northern treatment peatlands and the significance for phosphorus and nitrogen removal. Oulu, Acta Univ.Oul. C 321. 70 s.+liitteet

A photograph of a forest clearing. The foreground is dominated by tall, dense grasses, some green and some yellowish-brown, suggesting late summer or autumn. The grasses are growing in a clearing that is bordered by a dense forest of tall, thin trees, likely pines and birches. The trees are mostly vertical, with some white bark visible. The sky is overcast and grey. The overall scene is a natural, somewhat wild forest clearing.

KIITOS!