

# Vedenpinnan syvyyden spatiaaliseen vaihteluun vaikuttavat tekijät ojitetussa suometsikössä Pohjois-Suomessa

Factors affecting the spatial variability of water table depth within a drained peatland forest stand in northern Finland

Kersti Haahti, Harri Koivusalo, Hannu Hökkä, Mika Nieminen & Sakari Sarkkola

*Kersti Haahti, Harri Koivusalo, Department of Civil and Environmental Engineering, Aalto University School of Engineering, P.O. Box 15200, FI-00076 Aalto, Finland, e-mail: kersti.haahti@aalto.fi, tel. +358 41 547 5607*

*Hannu Hökkä, Metsäntutkimuslaitos (The Finnish Forest Research Institute), P.O. Box 16, FI-96301 Rovaniemi, Finland*

*Mika Nieminen, Sakari Sarkkola, Metsäntutkimuslaitos (The Finnish Forest Research Institute), P.O. Box 18, FI-01301 Vantaa, Finland*

Tutkimuksessa selvitettiin pohjaveden syvyyden spatiaaliseen vaihteluun vaikuttavia tekijöitä puustoisella ojitetulla turvekankaalla viiden kasvukauden ajan Pohjois-Suomessa. Tutkimusaineisto kerättiin Rovaniemellä sijaitsevalta Sattasuon pieneltä keinotekoiselta valuma-alueelta (0,53 ha), joka oli muodostettu eristämällä alue ympäristöstään kaksinkertaisella ojituksella. Valuma-alueen puusto oli hoidettua nuorta kasvatusmetsää, jonka pääpuulajina oli mänty ja puuston keskitilavuus oli 93 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Kasvupaikkatyypiltään alue oli puolukkaturvekangasta. Alueella seurattiin vedenpinnan syvyyttä 50 pohjavesiputkesta viikoittain viiden kasvukauden ajan vuosina 2006–2010. Vedenpinnan syvyyden vaihtelua eri mittauskerroilla selitettiin pohjavesiputken etäisyydellä lähimpään ojaan, puuston määrällä putken ympärillä (ts. puuston vedenkäytöllä) sekä maanpinnan korkeusvaihtelulla. Aineisto käsiteltiin lineaarisella regressioanalyysillä, jossa selittäväillä tekijöillä kuvattiin vedenpinnan syvyyttä pohjavesiputkissa kullakin mittaushetkellä. Tulokset osoittivat, että etenkin kasvukauden alussa vedenpinnan syvyyttä suovaluma-alueen sisällä selittävät voimakkaimmin etäisyys lähimpään ojaan sekä maanpinnan topografia. Puuston määrä (pohjapinta-ala 2 m:n etäisyydellä mittauspisteestä) selitti vedenpinnan syvyyden vaihtelua loppukesällä keskimääräistä kuivempina vuosina. Vedenpinnan syvyys lisääntyi keskimäärin 1 cm:llä, kun puuston pohjapinta-ala kasvoi 4,7 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (mitattuna 2 m säteellä pohjavesiputkesta) tai kun pohjavesiputken etäisyys ojaan pieneni metrillä. Tulokset vahvistavat aiempaa käsitystä, että pohjoisissa olosuhteissa ojilla on tärkeä merkitys vettä poisjohtavina rakenteina ja puuston määrän tulisi olla suurempi kuin Sattasuon puuston määrä, jotta kuivatustilan ylläpitäminen voisi perustua pelkkään puuston vedenkäyttöön.

Avainsanat: Hydrologia, mäntypuusto, ojitus, suometsä, vedenpinta

## Johdanto

Suomen soista on tällä hetkellä metsäojitettu 4,8 miljoonaa hehtaaria, mikä on noin 54 % soiden kokonaisalasta (Peltola & Ihalainen 2011). Merkittävä osa Suomen metsien kokonaispuumäärästä ja puuston kasvusta sijoittuu metsäojitetuille soille (Hökkä ym. 2002). Metsäojituksella on sekä lyhyen että pitkän aikavälin vaikutuksia suon vesitaseeseen (Koivusalo ym. 2008a). Luonnontilaisilla soilla vedenpinta on tyypillisesti lähellä maanpintaa ja maan vedenvarastointikyky on pieni (Holden ym. 2006). Suoekosysteemin haihdunta on siten lähellä vapaasta vesipinnasta tapahtuvaa evaporaatiota (Verry 1997). Ojituksen välittömiä vaikutuksia ovat suon vedenpinnan tason lasku, valunnan määrän lisääntyminen ja sen muodostumisen nopeutuminen sekä haihduntaprosesseissa tapahtuvat muutokset (Päivänen 2007). Haihdunta vähenee vedenpinnan tason laskiessa eli vedenpinnan ja suokasvillisuuden pinnan välisen etäisyyden kasvaessa ja vesivaraston pienentyessä (Ahti 1987). Haihdunnan väheneminen puolestaan lisää valuntaa ja valuntatapahtumat äärevöityvät. Myöhemmin puuston kehittyessä haihdunnan merkitys kasvupaikan vesitaloudessa kasvaa jälleen. Ajan mittaan kasvillisuuden kokonahaihdunta eli evapotranspiraatio saavuttaa ennen ojitusta vallinneen haihdunnan tason ja varttuneissa puustoissa valunnan osuus kasvukauden aikaisessa vesitaseessa on yleensä pieni (Heikurainen & Joensuu 1981, Koivusalo ym. 2008a, Sarkkola ym. 2012a).

Ajan myötä ojien kunto eli kuivatusteho heikkenee, ja vedenpinnan tason noustessa voi puuston kasvu heikentyä (Päivänen 2007). Siksi ojaverkoston kuivatuskykyä ja puuston suotuisia kasvuolosuhteita on ylläpidettävä kunnostusojituksin. Myös muilla metsätaloustoimenpiteillä, kuten harvennushakkuilla, parannetaan puuston kasvuolosuhteita. Harvennushakkuiden tarkoituksena on vähentää puiden välistä kilpailua ja ohjata tuotosta taloudellisesti arvokkaimpaan puustonosaan. Puustopääoman väheneminen harvennushakkuun vaikutuksesta kuitenkin nostaa suon vedenpinnan tasoa (Heikurainen & Päivänen 1970, Päivänen 1982) ja siksi hakkuu suositellaan suoritettavan kunnostusojituksen kanssa samanaikaisesti (Päivänen 2007). Arvi-

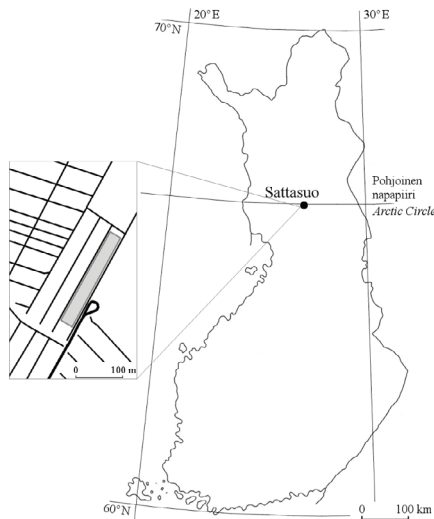
oiden mukaan kolmasosa Suomen ojitusalueista on kunnostusojituksen tarpeessa (Koivusalo ym. 2008b). Vuosittaiseksi kunnostusojitustavoitteeksi on Kansallisessa metsäohjelmassa asetettu 100 000 ha (Kansallinen metsäohjelma 2010), mutta todellinen toteutuma on jäänyt selvästi pienemmäksi. Esimerkiksi vuonna 2010 toteutuneiden kunnostusojitusten kokonaispinta-ala oli vain 59 000 ha (Juntunen & Herrala-Ylinen 2011).

Metsätaloudessa päätös ojien kunnostustarpeesta perustuu pitkälti ojaston kuivatustekniseen kuntoon (Sarkkola ym. 2010, Sarkkola ym. 2012a). Puusto vaikuttaa kuitenkin ojituksen rinnalla oleellisesti kuivatustilaan, sillä latvuspidännällä eli interseptiolla sekä transpiraatiolla eli puuston haihdunnalla on suuri merkitys vesitaseeseen etenkin runsaspuustoissa metsiköissä (Sarkkola ym. 2012a). Tällaisissa kohteissa kunnostusojituksella on arvioitu olevan vain vähäinen vaikutus vedenpinnan syvyyteen (Koivusalo ym. 2008a). Näin ollen myös vaikutukset puuston kasvuun voivat olla pieniä, vaikka ojaverkoston kunto olisikin huono (Sarkkola ym. 2012b). On esitetty joitakin arvioita siitä, kuinka paljon metsikössä olisi oltava puustoa, jotta puuston vedenkäyttö ylläpitäisi riittävää kuivatusta silloinkin, kun ojien kuivatustekninen kunto on huono (esim. Lauhanen & Ahti 2000, Sarkkola ym. 2010). Puuston kasvun ja elinvoimaisuuden kannalta vähämerkityksellisten tai suorastaan tarpeettomien kunnostusojitusten välttäminen olisi tärkeää paitsi taloudellisessa mielessä myös kunnostusojituksen haitallisten vesistövaikutusten vuoksi (Hökkä ym. 2008a). Kunnostusojitus kasvattaa etenkin kiintoainekuormitusta ojitusalueen alapuolisissa vesistöissä. Toimenpidettä seuraavana kolmena vuotena valumavesien kiintoainepitoisuus kasvaa keskimäärin kymmenkertaiseksi riippuen käsiteltävien maa-ainesten eroosioherkkyydestä (Nieminen & Ahti 2000).

Puuston määrän (ts. puuston vedenkäytön) ja vedenpinnan syvyyden välisen yhteyden selvittäminen on suometsätalouden kannalta tärkeää, sillä sen avulla voitaisiin nykyistä paremmin arvioida riskiä puuston kasvuolosuhteiden heikkenemiseen ojaston kunnan heikentyessä (Hökkä ym. 2008b). Ahti ja Hökkä (2006) esittivät, että vedenpinnan syvyyden ja puuston tilavuuden välillä on yhteys loppukesällä ja syksyllä johtuen puiden latvus-

pidännästä ja vedenotosta. Tutkimuksen mukaan keväällä ja alkukesällä vaikutus ei ollut yhtä ilmeinen, syyksi arvioitiin puuston olematonta transpiraatiota talven aikana. Toisaalta tietyn vedenpinnan tason alapuolella puuston tilavuuden ja vedenpinnan syvyyden välillä ei esiintynyt merkitsevää riippuvuutta (Hökkä ym. 2008b, Sarkkola ym. 2010). Sateisina kesinä vedenpinta voi olla lähellä maanpintaa puuston määrästä riippumatta.

Tämän työn tavoitteena oli selvittää, miten ojaverkoston ominaisuudet, puuston määrä ja maanpinnan topografia vaikuttavat vedenpinnan syvyyden vaihteluun metsikön sisällä eri kasvukauden aikoina ja hydrologialtaan erilaisina vuosina. Tarkastelussa keskityttiin tutkimaan pohjaveden syvyyden spatiaalista vaihtelua selittäviä tekijöitä ja syvyyden ajallista vaihtelua selittävät tekijät, kuten sääolosuhteiden vaihtelut, rajattiin työn ulkopuolelle. Tutkimuksen hypoteesina on, että ojien vaikutus vedenpinnan syvyyteen on suuri vedenpinnan ollessa lähellä maanpintaa, mutta vedenpinnan tason syventyessä puuston haihdunta tulee vedenpinnan tasoa määrääväksi tekijäksi.



Kuva 1. Tutkitun Sattasuo metsikkövaluma-alueen (merkitty harmaalla) sijainti ojitetulla suolla Rovaniemellä.

Fig. 1. Location of the experimental Sattasuo mire catchment (grey) in drained peatland in Rovaniemi, Northern Finland.

## Aineisto ja menetelmät

### Tutkimuskohde

Tutkimuksen kohteena oli Metsäntutkimuslaitoksen Kivalon tutkimusalueeseen kuuluva Sattasuo, joka sijaitsee Rovaniemeltä noin 50 km itään (66°30'N, 26°42'E; kuva 1). Sattasuo on ojitettu vuonna 1934 lapiotyönä, minkä jälkeen vuonna 1985 alueella on suoritettu kunnostusojitus (vanhojen ojien perkaus ja täydennysojitus) sekä harvennushakkuu.

Vuonna 2006 Sattasuolle perustettiin 0,53 ha:n kokoinen ojittamalla ympäristöstään erotettu keinotekoinen suorakaiteen muotoinen valuma-alue (taulukko 1). Alue on eristetty ympäröivästä alueesta kahdella sisäkkäisellä ojalla. Sisemmän ojaston sarkaleveys on 23 metriä ja ojien syvyys on keskimäärin 0,95 metriä. Suomensikön turvekerroksen paksuus vaihtelee 0,6 metristä yli kahteen metriin. Ohuimmat turvekerrokset sijait-

Taulukko 1. Sijainti-, kasvupaikka- ja puustotunnukset ojitetussa rämemännikössä Sattasuo metsikkövaluma-alueella Rovaniemellä.

Table 1. Site, climate and stand characteristics of the studied experimental Scots pine stand on the Sattasuo mire artificial catchment area in drained peatland, Rovaniemi, Northern Finland.

Sijainti Location	66°30'N, 26°42'E
Pinta-ala (ha) Area (ha)	0,53
Ojitusvuosi Year of drainage	1934
Keskimääräinen sademäärä (mm) Mean annual precipitation (mm)	580
Keskilämpötila (°C) Mean temperature (°C)	1,5
Puuston tilavuus (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) Stand volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	93 <sup>a</sup>
Sarkaleveys (m) Ditch spacing (m)	23
Kasvupaikkatyyppi Site type	Ptkg <sup>b</sup>

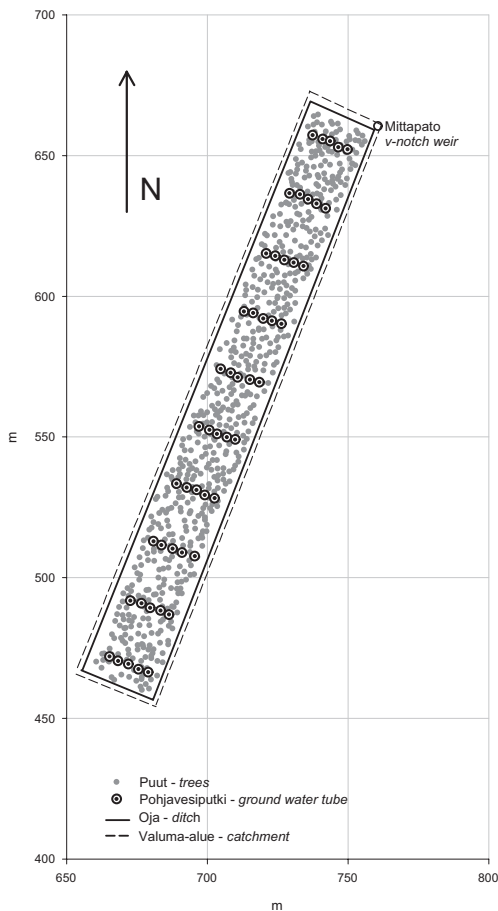
<sup>a</sup> Mitattu vuonna 2006  
Measured in 2006

<sup>b</sup> Vasanderin & Laineen (2008) mukaan  
According to Vasander & Laine (2008)

sevat alueen eteläosissa. Koivusalon ym. (2008b) mukaan turvekerroksen hydraulinen johtavuus Sattasuolla pienenee turpeessa syvyysuunnassa selvästi turvesyvyuden kasvaessa. Valuma-alueen maanpinta on kalteva pohjoispäätä kohti, keskikaltevuuden ollessa  $0,2^\circ$ . Alueen eteläpuolella kulkee valtaoja ja pohjoispään oja on padottu mittapadolla, jolla mitataan alueelta purkautuvaa valuntaa.

Metsikön puusto on mäntyvaltaista (*Pinus sylvestris* L.) nuorta ja hoidettua kasvatusmetsää ja sen tilavuus vuonna 2006 oli  $93 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Sekapuuna esiintyy jonkin verran hieskoivua (*Betula pubescens* Ehrh.) ja alikasvoskuusta (*Picea abies* (L.) Karst). Puuston runkoluku alueella oli  $1243 \text{ kpl ha}^{-1}$  ja rinnan korkeudelta (1,3 m maanpinnasta) mitattu läpimitta keskimäärin 12,6 cm. Valuma-alueen kasvupaikkatyyppi on puolukkaturvekangas (Ptkg, Vasander & Laine 2008), jonka kenttäkerrosta luonnehtivat runsaina esiintyvät varvut, kuten suopursu ja vaivaiskoivu.

Alueen keskilämpötila vuosina 2006–2010 oli  $1,5^\circ\text{C}$  ja vuotuinen sadanta keskimäärin 580 mm (Ilmatieteen laitos 2012). Vuoden 2006 kasvukausi oli selvästi pitkäaikaista keskiarvoa kuivempi (taulukko 2). Smolanderin (2011) ja Smolanderin ym. (2012) alueella aiemmin tekemien vesitasetutkimusten perusteella vuosien 2007–2009 kasvukausina interseption osuus sadannasta oli keskimäärin 19 %. Transpiraation osuus oli samaa suuruusluokkaa (18 %), kun taas valunnan osuus oli huomattavasti suurempi eli keskimäärin 55 % (vaihteluväli 36–83 %).



Kuva 2. Pohjavesiputkien ja puiden sijoittuminen Sattasuon metsikkövaluma-alueella.

Fig. 2. Location of the water table tubes and the trees at the experimental Sattasuo mire catchment.

Taulukko 2. Rovaniemen lentoaseman sääasemalta mitattu keskimääräinen ilman lämpötila ja kuukausisadanta kasvukauden aikana (touko–syyskuu) vuosina 2006–2010 sekä pitkäaikaiset keskiarvot jaksolta 1971–2000 (Ilmatieteenlaitos 2012). Sääasema sijaitsee n. 42 km länteen Sattasuon metsikkövaluma-alueelta.

Table 2. Mean air temperature and mean monthly precipitation during growing season (May–September) in years 2006–2010 and long-term averages in 1971–2000 measured from the weather station at Rovaniemi airport (The Finnish Meteorological Institute 2012). The weather station is located ca 42 km westward from the Sattasuo mire catchment.

	Kasvukausi (touko–syyskuu) — Growing season (May–September)					
	2006	2007	2008	2009	2010	1971–2000
Keskilämpötila ( $^\circ\text{C}$ )	12,3	10,9	9,7	11,9	11,5	10,3
Mean air temperature ( $^\circ\text{C}$ )						
Keskim. sadanta (mm/kk)	34	64	73	65	55	58
Mean precipitation (mm/month)						

## Kenttämittaukset

Jokaisen alueella kasvavan puun sijainti ja läpimitta rinnan korkeudella on määritetty vuonna 2009. Läpimitat määritettiin keskiarvona kahdesta toisiaan vastaan kohtisuorasta mittauksesta.

Vedenpinnan syvyyden mittausta varten alueelle on asennettu alkukesällä 2006 systemaattisesti 50 pohjavesiputkea (kuva 2). Lähimpänä ojaia olevat pohjavesiputket on sijoitettu 5–6 metrin päähän ojasta. Pohjavesiputkien sijoittelussa pyrittiin välttämään sijoittamista mättäeseen tai kuoppaan ja mikäli mahdollista putki sijoitettiin säännömukaista sijaintipistettä lähimpään väli/tasapintaan. Pohjavesiputkien halkaisija on 30 mm ja pituus 1250 mm, josta noin 1 m on maanpinnan alapuolella. Putkien rei'itys ulottuu putken alareunasta 20 cm:n korkeudelle. Viimeisenä mittausesänä (v. 2010) osaan putkista (15 kpl) rei'itystä lisättiin koeluontoisesti niin, että rei'itys ulottui 20 cm turpeen pinnan alle. Tarkoituksena oli kokeilla, olisiko lisärei'itys vedenpinnan vaihtelua havaintoputkissa niin, että vaste esimerkiksi sateisiin ja puuston vedenkäyttöön tulisi selvemmin esille. Aineiston alustavassa analyysissä lisärei'ityksellä ei kuitenkaan näyttänyt olevan merkittävää vaikutusta tuloksiin, eikä lisärei'ityksen vaikutusta vedenpinnan vaihteluun tässä työssä tarkastella.

Vedenpinnan syvyyttä mitattiin vuosina 2006–2010 kaikkiaan 91 kertaa 1–2 viikon välein sulan maan aikaan. Vuoden 2006 mittausajanjakso ulottui toukokuusta joulukuuhun ja muina vuosina mittauksia tehtiin touko-/kesäkuusta syys-/lokakuuhun. Mittaukset tehtiin manuaalisesti millimetrin tarkkuudella. Maanpinnan korkeus jokaisen pohjavesiputken kohdalla määritettiin vaaitsemalla korkeusasema käyttämällä samaa maanpinnan referenssitasona kuin vedenpinnan syvyyksmittauksissa. Korkeusasemat vaaittiin millimetrin tarkkuudella vuoden 2008 kasvukauden alussa.

## Mittausaineiston käsittely

Vedenpinnan syvyyteen vaikuttavien tekijöiden analysointia varten mittausaineistosta määritettiin jokaisen pohjavesiputken etäisyys lähimpään ojaan, pohjavesiputken etäisyys lähimpään puuhun ja ympäröivien puiden yhteenlaskettu

pohjapinta-ala 1, 2, 3 ja 4 metrin säteellä pohjavesiputkesta.

Putkien kohtisuora etäisyys ojiin laskettiin kaavalla:

$$D_{1,i} = \frac{|Ax_i + By_i + C|}{\sqrt{A^2 + B^2}}, \quad (1)$$

missä  $x_i$  on pohjavesiputken  $i$  itäkoordinaatti,  $y_i$  pohjavesiputken  $i$  pohjoiskoordinaatti sekä  $A$ ,  $B$  ja  $C$  ovat sisemmälle ojastolle määritetyn suoran kertoimet. Sisemmän ojaiston jokaiselle neljälle ojalle määritettiin kartoituspisteiden avulla suoran yhtälö  $Ax + By + C = 0$ . Pohjavesiputkien ja ojasuorien välisistä kohtisuorista etäisyyksistä valittiin pienin arvo, jolloin tuloksena saatiin kunkin putken etäisyys lähimpään ojaan.

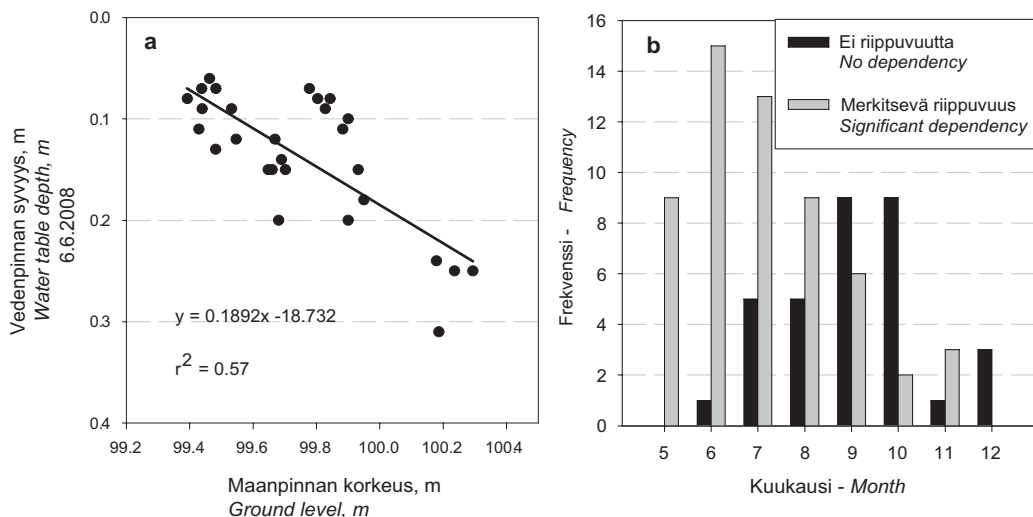
Pohjavesiputkien ja alueen jokaisen puun välinen etäisyys laskettiin kahden pisteen välisenä etäisyytenä kaavalla 2. Putken etäisyys lähimpään puuhun saatiin valitsemalla lasketuista arvoista pienin.

$$D_{2,i} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad (2)$$

missä  $(x_i, y_i)$  ovat pohjavesiputken  $i$  ja  $(x_j, y_j)$  puun  $j$  keskipisteen koordinaatit.

Puiden läpimittojen avulla määritettiin jokaisen puun pohjapinta-ala 1,3 metrin korkeudella maanpinnasta. Putkia ympäröivien puiden yhteenlaskettu pohjapinta-ala eri etäisyyksillä pohjavesiputkesta laskettiin hyödyntämällä kaavalla 2 laskettuja puiden ja putkien välisiä etäisyyksiä. Kaikkien puiden, joiden etäisyys oli halutulla säteellä (1, 2, 3, tai 4 m) tai sen sisäpuolella, pohjapinta-alat ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ) laskettiin yhteen.

Osassa putkista oli tehty pohjahavaintoja mittausjakson aikana. Pohjahavainnolla tarkoitetaan sitä, että pohjavesiputkissa ei ollut ollenkaan tai oli hyvin vähän vettä mittaushetkellä. Aineistoa muokattiin poistamalla kaikki pohjavesimittaukset, jotka olivat alle kahden senttimetrin etäisyydellä putken pohjasta. Regressioanalyysiä varten veden- ja maanpinnan korkeusmittausten erotuksena määritettiin vedenpinnan syvyys maanpinnasta. Joitakin kevään havaintoja jouduttiin jättämään pois roudan takia.



Kuva 3. Maanpinnan korkeuden vaikutus vedenpinnan syvyyteen 6.6.2008 (a) sekä maanpinnan korkeuden ja vedenpinnan syvyyden välisten merkitsevien riippuvuuksien esiintyminen eri kuukausina koko mittausjakson ajalta Sattasuolla (b).  
Fig. 3. The effect of ground level on the depth of the water table on 6<sup>th</sup> of June 2008 (a) and the monthly distribution of statistically significant relationships between the ground level and the depth of the water table over the whole observation period in Sattasuo mire catchment (b).

### Tilastollinen analyysi

Mittattujen vedenpinnan syvyyksien riippuvuutta valuma-alueen ominaisuuksista selvitettiin yhden selittäjän lineaarista regressioanalyysiä käyttäen. Analyysit toteutettiin Microsoft Excel- taulukkolaskentaohjelmalla hyödyntäen Visual Basic -ohjelmointityökaluja. Regressioanalyysi toteutettiin erikseen jokaisen mittauspäivän havainnoille. Analyysissä selitettävänä muuttujana käytettiin vedenpinnan syvyyttä ja selittäjänä vuorollaan etäisyyttä lähimpään ojaan, etäisyyttä lähimpään puuhun, puuston määrää 1, 2, 3 ja 4 m:n etäisyydellä pohjavesiputkesta sekä maanpinnan korkeusasemaa putken kohdalla. Kaava 3 määrittelee lineaarisen regressiomallin:

$$y_k = \beta_0 + \beta_1 x_k + \varepsilon_k, \quad (3)$$

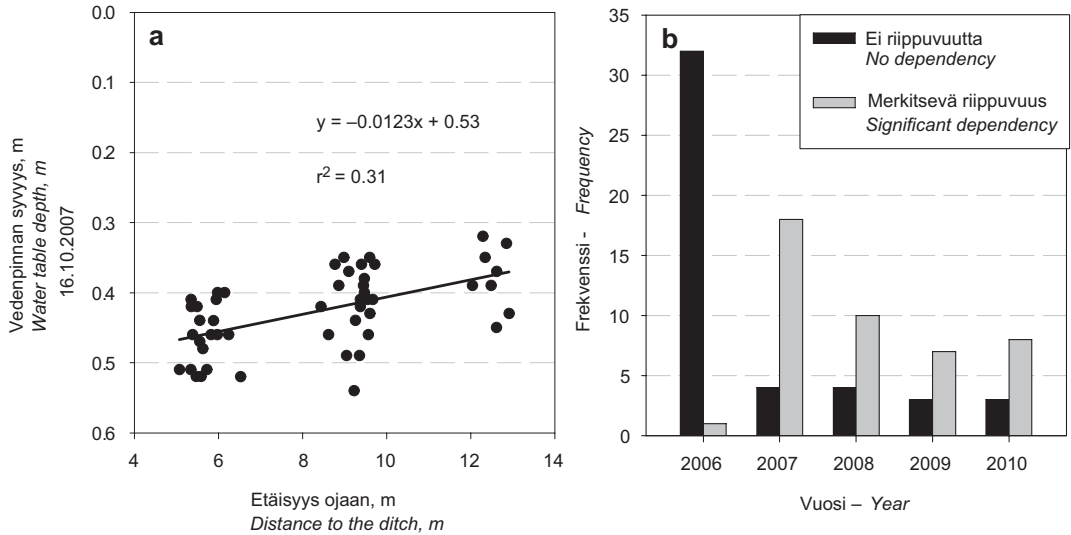
missä  $y_k$  ja  $x_k$  ovat selitettävän ja selittävän muuttujan arvo havaintoyksikössä  $k$ ,  $\beta_0$  mallin vakio,  $\beta_1$  selittäjän  $x_k$  regressiokerroin ja  $\varepsilon_k$  jäännöstermi. Muuttujien välistä riippuvuutta tarkasteltiin 5 %:n merkitsevyystasolla.

Osassa analyyseistä käytettiin luokittelua ojan etäisyyden perusteella. Luokittelun tarkoituksena oli selvittää, onko puuston vaikutus vedenpinnan syvyyteen erilainen eri etäisyyksillä ojasta. Pohjavesiputket jaettiin ojan etäisyyden mukaan kahteen luokkaan (etäisyys ojaan  $\leq 7$  m ja  $> 7$  m).

### Tulokset

Maanpinnan korkeuden kokonaisvaihtelu sisempien ojien rajaamalla alueella oli 0,9 m. Maanpinnan topografian eli korkeusaseman vaihtelu oli merkitsevä vedenpinnan syvyyttä selittävänä tekijänä 63 %:ssa havaintopäivistä. Maanpinnan korkeuden kasvaessa vedenpinnan etäisyys maanpinnasta vastaavasti lisääntyi (kuva 3a). Maanpinnan korkeuden vaikutus oli merkitsevä vuosittaisten mittausjaksojen alussa, etenkin touko- ja kesäkuussa (kuva 3b).

Ojaetäisyyden ja vedenpinnan syvyyden välillä oli lineaarinen riippuvuus 49 %:ssa havaintopäivistä. Ojan vaikutus vedenpinnan syvyyteen oli selkein tilanteissa, joissa vedenpinta oli 0,2–0,5 m:n syvyydellä. Kun vedenpinnan



Kuva 4. Ojien vaikutus vedenpinnan syvyyteen 16.10.2007 (a) ja ojan etäisyyden ja vedenpinnan syvyyden välisten merkitsevien riippuvuuksien esiintyminen eri vuosina Sattasuoilla (b).

Fig. 4. The effect of the distance to the nearest ditch on the depth of the water table on 16<sup>th</sup> of October 2007 (a) and the yearly distribution of statistically significant relationships between the distance to the nearest ditch and the depth of the water table in Sattasuo mire catchment (b).

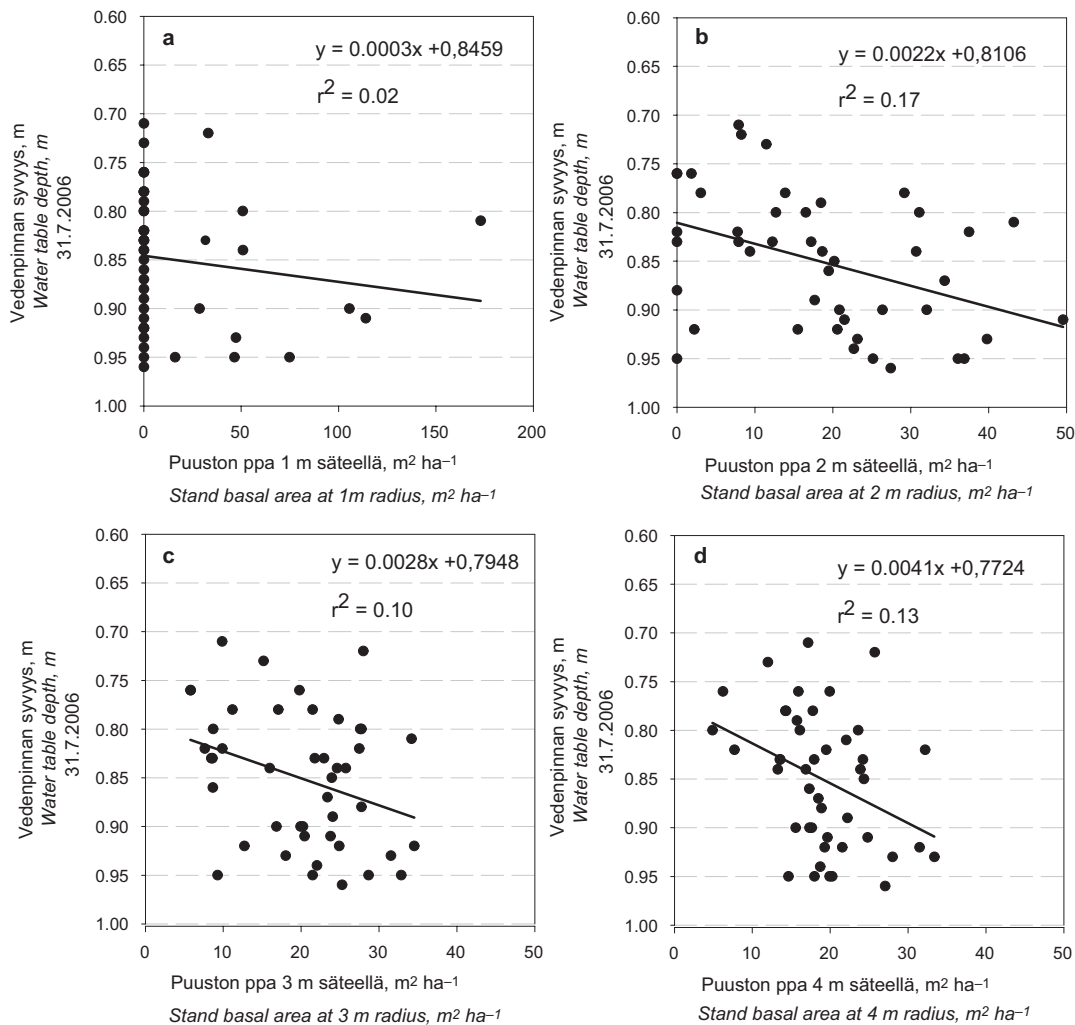
keskimääräinen syvyys oli enemmän kuin 0,6 m, ei ojan vaikutus ollut enää tilastollisesti merkitsevää. Riippuvuuden ollessa merkitsevä vedenpinta oli sitä korkeammalla, mitä kauempana ojasta mittauspiste sijaitsi. Kun etäisyys ojaan kasvoi 1 metrillä, vedenpinnan taso oli keskimäärin 1 cm:n korkeammalla. Vedenpinnan syvyyden ja ojan etäisyyden välinen riippuvuus yhtenä mittaushetkenä lokakuussa 2007 on esitetty kuvassa 4a. Ojan vaikutus vedenpinnan syvyyteen vaihteli vuosittain (kuva 4b). Kasvukauden sisällä jaoetäisyyden vaikutus tuli esiin kesä–lokakuussa.

Lähimmän puun etäisyyden ja mittauspisteen vedenpinnan syvyyden välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää riippuvuutta. Sen sijaan pohjavesiputken ympärillä kasvavan puuston pohjapinta-alan ja vedenpinnan syvyyden välillä oli merkitsevä riippuvuus 2–16 %:ssa havaintopäivistä riippuen etäisyydestä, jolta puustoa otettiin laskelmiin mukaan. Eniten merkitseviä riippuvuuksia esiintyi, kun pohjapinta-alaan laskettiin kahden metrin säteellä olevat puut (kuva 5). Merkitsevien riippuvuuksien keskimääräiset regressiokertoimet säteillä 1, 2 ja 3 metriä poik-

kesivat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan (slope-test) ja kertoimissa oli nouseva trendi. Kasvatettaessa sädettä (1–3 m), jolta puuston määrä laskettiin, regressiosuoran kulmakertoimen siis suuren. Kahden metrin säteellä puuston pohjapinta-ala vaihteli 0–49,6 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> ja oli keskimäärin 18,7 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Mitä suurempi pohjapinta-ala oli, sitä syvemmällä oli myös vedenpinnan taso.

Puuston pohjapinta-ala kahden metrin etäisyydellä pohjavesiputkesta oli useimmin merkitsevä vedenpinnan syvyyden selittäjä kuivana vuonna 2006 (kuva 6a) ja muina vuosina, jolloin pohjavedenpinta oli keskimäärin lähempänä maanpintaa, vaikutus tuli yksittäisillä mittauseroilla esiin harvemmin. Kuvassa 6b on havainnollistettu puuston pohjapinta-alan ja vedenpinnan syvyyden välisen regression merkitsevyyttä keskimääräisen vedenpinnan syvyyden suhteen vuonna 2006. Puuston ja ojan vaikutuksen merkitsevyyys koko mittaussakson yli sekä keskimääräinen vedenpinnan syvyys maanpinnasta on esitetty kuvassa 7.

Ojan etäisyyden perusteella tehdyssä luokittaisessa regressioanalyysissä (taulukko 3) puuston vaikutus vedenpinnan syvyyteen ei ollut



Kuva 5. Puuston pohjapinta-alan vaikutus vedenpinnan syvyyteen 1 (a), 2 (b), 3 (c) ja 4 (d) metrin säteellä pohjavesiputkesta 31.7.2006.

Fig. 5. The effect of stand basal area around the water table tube at 1 (a), 2 (b), 3 (c) and 4 (d) meter radius on the depth of water table on 31<sup>th</sup> of July 2006.

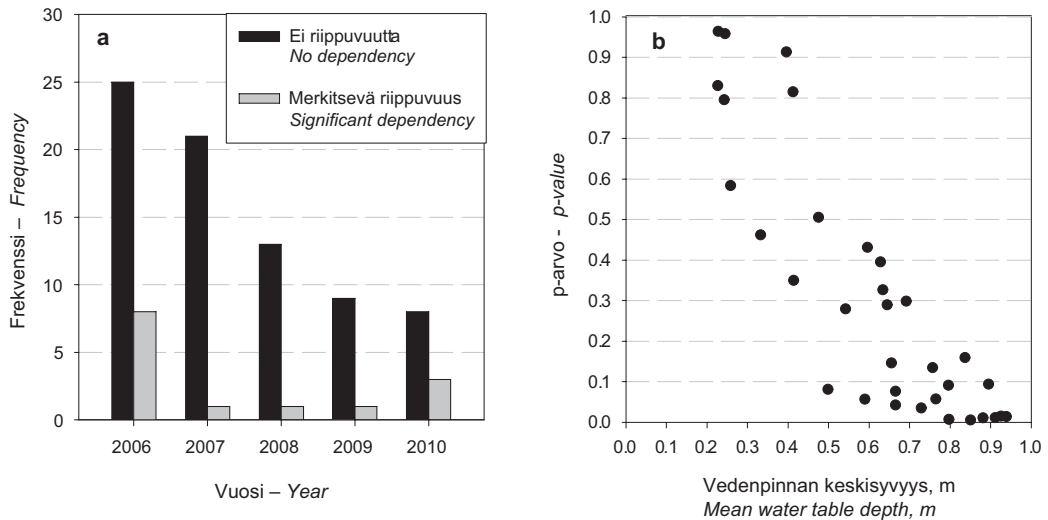
merkitsevä, kun etäisyys lähimpään ojaan oli alle 7 metriä. Alle 7 metrin etäisyydellä ojista vedenpinnan keskimääräinen syvyys oli suurempi kuin lähempänä keskisarkaa, missä puuston vaikutus oli merkitsevä 11 %:ssa havaintopäivistä.

## Tulosten tarkastelu

Tässä tutkimuksessa selvitettiin metsikön vedenpinnan syvyyden spatiaaliseen vaihteluun

vaikuttavia tekijöitä kasvukauden eri aikoina. Aiemmissä tutkimuksissa (Ahti & Hökkä 2006, Hökkä ym. 2008b, Sarkkola ym. 2010) on selvitetty puuston vaikutusta vedenpinnan tasoon käyttäen aineistona useissa suometsäkoissa tehtyjä mittauksia ja niistä laskettuja metsikkökohtaisia keskiarvoja. Hökkä ym. (2000) tutkivat pohjaveden syvyyden ajallista ja spatiaalista vaihtelua yhden metsikön sisällä, mutta spatiaalinen vaihtelu otettiin huomioon vain laaditun mallin





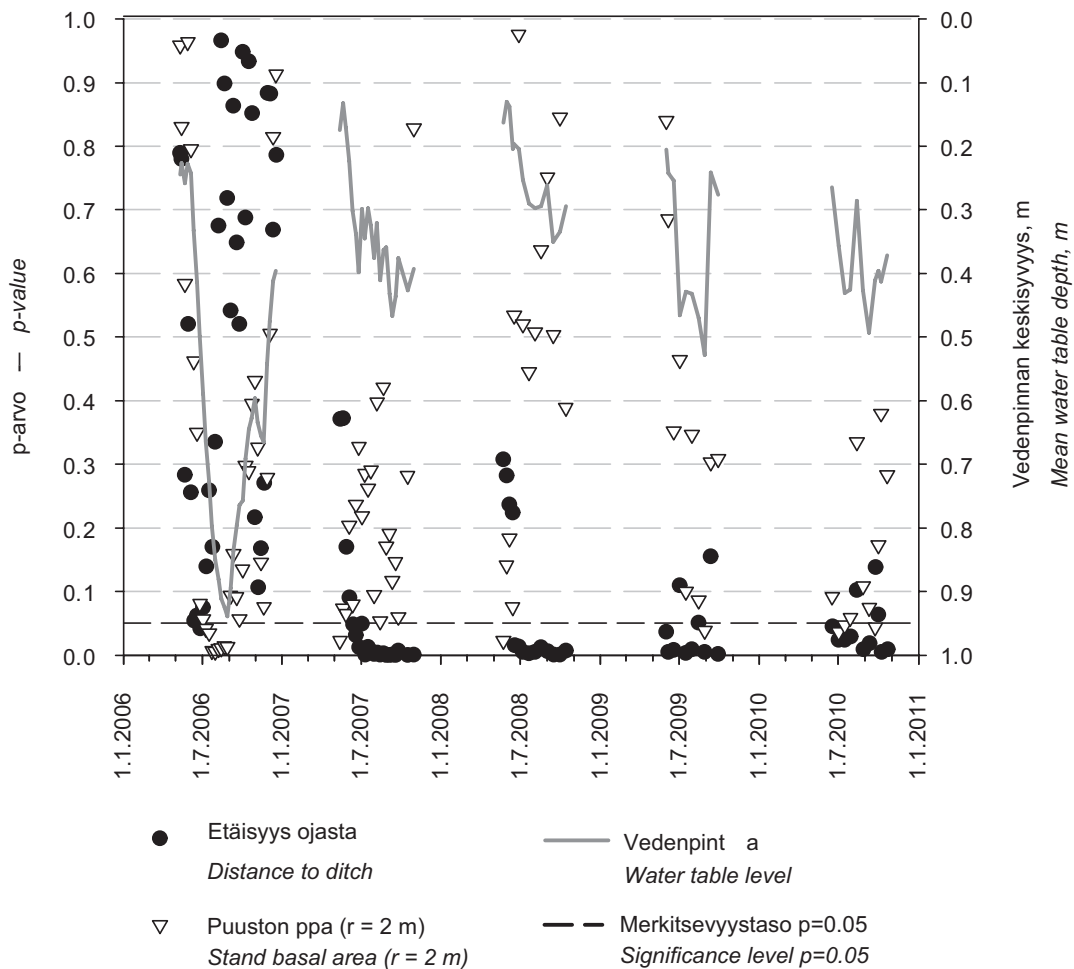
Kuva 6. Puuston pohjapinta-alan (mitattuna 2 m säteellä pohjavesiputkesta) ja vedenpinnan syvyyden välisten merkitsevien riippuvuuksien jakautuminen eri vuosille (a) ja vaikutuksen merkitsevyys (p-arvo) keskimääräisen vedenpinnan syvyyden suhteen vuonna 2006 Sattasuolla (b).

Fig. 6. The yearly distribution of statistically significant relationships between stand basal area (at 2 m radius from the ground water tube) and the depth of the water table (a) and the significance of the relationship (p-value) against the mean water table depth in 2006 in Sattasuo mire catchment (b).

Taulukko 3. Vedenpinnan syvyyden ja pohjavesiputkesta 2 m säteellä olevan puuston pohjapinta-alan ( $G_r=2m$ ) merkitsevien riippuvuuksien suhteellinen osuus kaikista riippuvuuksista, merkitsevien riippuvuuksien keskimääräinen regressiokerroin ( $b_1$ ) ja vedenpinnan keskimääräinen syvyys eri ojaetäisyyssluokissa Sattasuon ojitetun rämemännikön metsikkövaluma-alueella.

Table 3. Frequency of significant dependencies of water table depth on stand basal area at the distance of two meters from the ground water tube ( $G_r=2m$ ), mean regression slope ( $b_1$ ) of these dependencies and average water table depth at  $\leq 7$  m and  $>7$  m distance from the ditch in the drained Sattasuo mire catchment.

Luokka Class	$G_r=2m$		Vedenpinnan keskisyvyys, m Mean water table depth, m
	Merkitsevien riippuvuuksien osuus Relative frequency of significant dependencies, %	Regressiokerroimen keskiarvo $b_1$ Mean regression slope, $b_1$	
1: Etäisyys ojaan $\leq 7$ m Distance to ditch $\leq 7m$	2,2	0,00516	0,450
2: Etäisyys ojaan $> 7$ m Distance to ditch $> 7m$	11,1	0,00216	0,417
Kaikki havainnot All observations	15,6	0,00213	0,430



Kuva 7. Keskimääräinen vedenpinnan syvyys sekä ojan ja pohjapinta-alan vaikutuksen merkitsevyys Sattasuolla 2006–2010.

Fig. 7. The mean water table depth and the significance of the effects of the ditch distance and stand basal area on the water table depth in Sattasuola mire catchment 2006–2010.

satunnaiskomponenttina. Yhden suomensikön vedenpinnan spatiaalista vaihtelua eri muuttujien suhteen ei ole aiemmin tutkittu.

Tutkimuskohteessa maanpinnan topografian rooli vedenpinnan syvyyttä säätelevänä tekijänä oli merkittävä. Myös Holden ym. (2006) havaitsivat Iso-Britanniassa sijaitsevilla valuma-alueilla tehdyissä mittauksissa, että topografialla on vaikutusta vedenpinnan syvyyteen silloin, kun valuma-alueen maanpinnan korkeus vaihtelee. Sattasuolla maanpinnan korkeusaseman ja vedenpinnan syvyyden väliset merkitsevät riip-

puvuudet painottuivat kasvukauden alkupäähän. Korkeusaseman vaihtelun takana on sekä alueen keskimääräinen kaltevuus, että pohjavesiputkien sijoituskohtien muodostama paikallinen mikrotopografia, joiden keskinäistä merkitystä pohjaveden syvyyden vaihtelun selittäjänä ei tässä tutkimuksessa pystytty erottamaan. Kaltevuuden vaikutus vedenpintaan kasvukauden alussa voisi johtua lumen ja roudan sulamisvalunnan viiveestä eli alueen alaosaan vesi ei ole ehtinyt purkautua vielä kasvukauden alussa. Lisäksi muilla tekijöillä, kuten puuston määrällä ja kasvillisuuden

haihdunnalla, on tuolloin vielä vähän vaikutusta vedenpinnan tasoon.

Tulosten mukaan vedenpinnan taso oli sitä matalampi, mitä lähempänä ojaa mittauskohta sijaitti. Vastaavia tuloksia suometsistä on raportoitu myös aiemmissa tutkimuksissa Suomessa ja Kanadassa (esim. Päivänen 1974, Hillman 1992, Jutras & Plamondon 2005). Yleensä vedenpinnan taso ojien välissä saralla noudattaa ellipsin muotoa, jonka eksentrisyys riippuu muun muassa turpeen vedenjohtokyvystä ja sadannan määrästä (Skaggs ym. 2006). Metsikkösadannan ja turpeen hydraulisten ominaisuuksien alueellinen vaihtelu voivat vaikuttaa pohjavedenpinnan spatiaaliseen vaihteluun myös Sattasuolla, mutta tässä työssä näiden muuttujien vaikutus rajattiin tarkastelun ulkopuolelle.

Ojaetäisyyden korrelaatio vedenpinnan syvyyden kanssa oli selvä vuosina 2007–2010, mutta selvästi kuivempina kasvukautena vuonna 2006 ojan vaikutus ei ollut systemaattinen. Merkitseviä riippuvuuksia esiintyi eniten keskimääräisen vedenpinnan syvyyden ollessa 0,2–0,5 m. Vedenpinnan ollessa yli 0,6 metrin syvyydessä ojaetäisyydellä ei ollut enää vaikutusta vedenpinnan tasoon, vaikka ojien syvyys oli tutkimusalueella suurempi, keskimäärin 0,95 m. Ojien vähäinen vaikutus selittyy sekä pienellä hydraulisella gradientilla saralta ojien suuntaan, että selvästi alhaisemmalla maan hydraulisella johtavuudella syvässä turvekerroksissa pintakerrokseen verrattuna (Koivusalo ym. 2008b). Tulos on asetetun hypoteesin mukainen, eli ojan vaikutus on suurin vedenpinnan ollessa lähellä maanpintaa. Hyvin lähellä maanpintaa (alle 0,2 m) ojaetäisyyden vaikutus ei kuitenkaan ollut enää merkitsevä, mikä todennäköisesti johtuu kevään lumensulamiskaudesta, jolloin sulavan lumen synnyttämä vesi ja maassa oleva routa ylläpitävät korkeaa vedenpinnan tasoa koko suoalueella ojaetäisyydestä riippumatta.

Tulosten perusteella tilastollisesti merkitsevin puuston vedenottoa indikoiva puuston määrä oli pohjapinta-ala kahden metrin säteellä pohjavesiputkesta. Tulosta selittänee se, että kahden metrin säteellä eri kaivojen puustot eivät olleet osittain yhteisiä, eli säteet eivät vielä leikanneet. Sädetä suurennettaessa puuston paikallisen vaihtelun erot vähenevät ja muuttujan vaikutus samalla

pienenee. Lisäksi tälle etäisyydelle pohjavesiputkesta laskettu puuston pohjapinta-alojen vaihteluväli oli suuri ja jakauma noudatti selvemmin normaalijakaumaa kuin yhden metrin säteelle lasketun puuston määrän. Toisaalta yksittäisen pohjavesiputken vedenpinnan tason ja puuston määrän välistä riippuvuutta heikentää myös se tosiasia, että vierekkäisten putkien vedenpinnat eivät ole täysin toisistaan riippumattomia, vaan vedenpinnat pyrkivät tasoittumaan keskenään. Tähän puolestaan vaikuttaa turpeen vedenläpäisevyys. Puuston pohjapinta-alan ja vedenpinnan tason riippuvuuden merkitsevyys myös kasvoi vedenpinnan syvyyden kasvaessa, mikä noudattaa lähtöhypoteesia. Puuston ja muun kasvillisuuden vedenkäytön vaikutus kuivatustilaan on siis suurin kuivimpina aikoina eli kuivina vuosina ja kasvukauden lopulla. Loppukesän vedenpinnantasolla on aiemmin todettu olevan merkittävä vaikutus puiden kasvuun (Pelkonen 1975).

Puuston pohjapinta-alan voi ajatella kuvaavan puuston määrän vaikutusta veden kulkuun kahdella eri tavalla: puusto pidättää osan latvustoon tulevasta sateesta ja haihduttaa maassa olevaa vettä. Puiden runkojen pohjapinta-ala ei tosin ole suoraan verrannollinen haihduttavan lehvästön määrään, sillä vain rungon mantopuuosa kuljettaa vettä. Haihduntapotentialin tarkempi arvio edellyttääkin puuston mantopuualan määrittämistä (esim. Granier 1987).

Puuston määrän ja vedenpinnan syvyyden välinen vuorosuhde oli lineaarinen, mihin päätyivät tutkimuksissaan myös Ahti ja Hökkä (2006) ja Hökkä ym. (2008b). Toisaalta on myös esitetty, että vedenpinnan laskiessa syvälle (> 50 cm), puuston vedenkäytön vaikutus vedenpintaan heikenee ja vuorosuhde muuttuu epälineaariseksi (Hökkä ym. 2008b, Sarkkola ym. 2010). Sattasuon tarkastelussa lineaarinen malli kuitenkin soveltui kuvaamaan puuston ja vedenpinnan välistä riippuvuutta myös keskimääräisen vedenpinnan ollessa syvällä. Vedenpinnan taso laski keskimäärin 1 cm:n, kun puuston pohjapinta-ala (säde 2 m) kasvoi  $4,7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ , mikä vastaisi Sattasuolla tilavuutena noin  $26 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Merkitseviä riippuvuuksia esiintyi toisaalta vain 16 %:ssa havaintopäivistä, mikä aiheutunee siitä, että Sattasuon pohjoiseen sijaintiin nähden puuston määrä on liian pieni, jotta puuston vedenkäytöllä olisi merkit-

tävää vaikutusta vedenpinnan tasoon. Aiempien turvemaamänniköissä tehtyjen hakkuukokeiden perusteella koealan keskimääräinen vedenpinnan taso nousee noin 1 cm poistettua  $5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  kohden (Heikurainen 1963, 1967, Heikurainen ja Päivänen 1970, Päivänen 1982), mikä kuvastaa sitä, että vedenpinnan taso muuttuu herkemmin, jos alueen koko puuston määrä muuttuu verrattuna siihen, miten puuston määrän paikallinen vaihtelu vaikuttaa vedenpinnan tasoon.

Puuston vaikutus näkyi selvimmin tarkastelujakson kuivimpana vuotena (2006). Myös Sarkkola ym. (2010) totesivat tutkimuksessaan, että puuston vaikutus on selvempi tavallisina tai kuivina kesinä kuin märkinä ja sateisina. Eniten puuston pohjapinta-alan ja vedenpinnan syvyyden välisiä merkitseviä riippuvuuksia oli heinä–syyskuussa (26 %), mikä on linjassa aikaisemman tutkimustiedon kanssa siitä, että puuston haihdunnan vaikutus vedenpintaan on suurin kasvukauden loppupuolella (Ahti & Hökkä 2006, Hökkä ym. 2008b, Sarkkola ym. 2010). Puuston vaikutus vedenpinnan syvyyteen riippui myös etäisyydestä ojaan. Kun etäisyys ojaan oli alle 7 metriä, ojaetäisyys tuli puustoa merkittävämmäksi vedenpinnan syvyyden säätelijäksi. Syynä tähän oli ojan hyvä kuivatuskyky, kun etäisyys siihen oli lyhyt. Kauempana ojasta puusto oli ojaa merkittävämpi selittäjä taas 12 %:ssa havaintopäivistä.

Sattasuon valuma-alueen vedenpinnan syvyyden vaihtelun syvempi ymmärtäminen vaatisi usean muuttujan regressioanalyysiä tai hydrologista mallinnusta, jossa kaikkia vedenpinnan syvyyteen vaikuttavia tekijöitä tarkasteltaisiin samanaikaisesti. Näin analyysissä ei myöskään tarvitsisi tehdä tekijöiden luokittelua, joka tässä työssä osoittautui hankalaksi havaintoyksikköjen suhteellisen pienen määrän vuoksi, jota puuttuvat havainnot (routa, pohjahavainnot) edelleen vähensivät. Koko aineiston analyysissä havainnot oli mittauspäivää kohti 21–50 ja luokitteisessa analyysissä 7–30.

Myös tutkimuksen laajentaminen muihin kohteisiin toisi mukanaan uusia näkökulmia. Toisistaan eroavien kohteiden avulla voitaisiin esimerkiksi selvittää sitä, onko selittävien tekijöiden vaikutus vedenpinnan syvyyteen erilainen

erikokoisissa puustoissa ja kasvupaikoilla, joilla turpeen ominaisuudet eroavat. Samoin voitaisiin ottaa kantaa siihen, muuttuuko riippuvuuksien esiintymisen ajallinen vaihtelu kohteissa, joissa on Sattasuota suurempi haihduttava puusto.

## Johtopäätökset

Tulosten mukaan selvimmiksi vedenpinnan syvyyden spatiaalista vaihtelua selittäviksi tekijöiksi nousivat tutkitun alueen topografia ja etäisyys ojaan. Suometsikön topografian vaikutus oli selvästi merkitsevin keväällä ja alkukesästä. Ojaetäisyyden vaikutus oli merkitsevä kasvukauden alussa lumien sulamisen synnyttämän veden syötön loputtua. Sateisina kasvukausina puuston määrällä oli vain vähän vaikutusta vedenpinnan tason vaihteluun. Sen sijaan kuivana kesänä puusto nousi transpiraation ja interseption johdosta merkitseväksi vedenpinnan syvyyden vaihtelua sääteleväksi tekijäksi kasvukauden lopulla. Vedenpinnan tason vaihtelua selvimmin säätelevä tekijä siis riippui kasvukauden ajankohdasta ja lisäksi kasvukauden sadantaoloista. Jos suometsikön vedenpinnan syvyyden perusteella halutaan tehdä toimenpidepäätöksiä kunnostus- ja jätustarpeesta, on tärkeää tunnistaa ja ymmärtää tämä riippuvuuksien aikasidonnaisuus, sekä toisaalta myös syytä huomioida pintatopografian ja kaltevuuden vaikutus paikalliseen vedenpinnan syvyyteen.

Suometsätalouden kannalta olisi merkittävää, jos pystyttäisiin määrittämään erilaisille kasvupaikoille ja eri ilmasto-oloihin sellainen puuston määrä, jonka ylittyessä puuston vedenkäyttö yksinään ylläpitäisi hyvää kuivatustilaa. Tutkimuksen kohteena olleen suometsikön puusto oli vielä selvästi liian pientä säätelemään yksin kuivatustilaa, mikä vahvistaa käsitystä siitä, että ainakin pohjoisissa olosuhteissa ja pienissä puustoissa ojaistolla on tärkeä merkitys liiallista kosteutta vähentävänä ja puuston kasvun kannalta suotuisana kosteutilaa ylläpitävänä rakenteena. Näin ollen, tutkimuskohteen ojaiston kunnan heikentyessä se vaikuttaisi negatiivisesti alueen kuivatustilaan ja edelleen puuston kasvuolosuhteisiin.

## Kiitokset

Tutkimusaineisto on kerätty Metlan Rovaniemen yksikön aineistopalvelun organisoimana osana Metlan SUM-tutkimusohjelmaa (2007–2011). Tapio Huttunen on tehnyt pohjavesikaivojen kartoituksen täkymetrillä. Merja Arola on muokannut kartoitusaineiston eri vuosien pohjavesimittaukset yhdenmukaiseen muotoon. Kiitämme kaikkia aineiston keruuseen ja käsittelyyn osallistuneita laadukkaasta työstä.

## Kirjallisuus

- Ahti, E. 1987. Water balance of drained peatlands on the basis of water table simulation during the snowless period. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 141: 1–64.
- Ahti, E. & Hökkä, H. 2006. Effects of the growth and volume of Scots pine stands on the level of the water table on peat in Central Finland. Teoksessa: Amatya, D.M. & Nettles, J. (toim.). *Hydrology and management of forested wetlands. Proceedings of the international conference, New Bern, North Carolina. 8–12.4.2006. Michigan, USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers.* s. 309–315.
- Granier, A. 1987. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology* 3: 309–320.
- Heikurainen, L. 1963. On using ground water table fluctuations for measuring evapotranspiration. *Acta Forestalia Fennica* 76: 1–16.
- Heikurainen, L. 1967. Hakkuun vaikutus ojitettujen soiden vesitalouteen (Summary: On the influence of cutting on the water economy of drained peatlands). *Acta Forestalia Fennica* 82: 1–38.
- Heikurainen, L. & Päivänen, J. 1970. The effect of thinning, clear-cutting and fertilization on the hydrology of peatland drained for forestry (Seloste: Harvennuksen avohakkuun ja lannoituksen vaikutus ojitetun suon vesioloihin). *Acta Forestalia Fennica* 104: 1–23.
- Heikurainen, L. & Joensuu, S. 1981. Metsäojituksen hydrologiset seurausvaikutukset (Summary: The hydrological effects of forest drainage). *Silva Fennica* 15: 285–305.
- Hillman, G. 1992. Some hydrological effects of peatland drainage in Alberta's boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 1588–1596.
- Holden, J., Evans, M.G., Burt, T.P. & Horton, M. 2006. Impact of land drainage on peatland hydrology. *Journal of Environmental Quality* 35: 1764–1778.
- Hökkä, H., Penttilä, T., & Siipola, M. 2000. Spatial and temporal patterns in groundwater table level after thinning in a spruce mire. Teoksessa: Rochefort, L. & Daigle, J-Y (toim.). *Sustaining our peatlands. Proceedings of the 11th International Peat Congress. Quebec 2000. Volume II.* s. 937–942.
- Hökkä, H., Kaunisto, S., Korhonen, K. T., Päivänen, J., Reinikainen, A., & Tomppo, E. 2002. Suomen suometsät 1951–1994. *Metsätieteen aikakauskirja 2A/2002.* s. 201–357.
- Hökkä, H., Koivusalo, H., Ahti, E., Nieminen, M., Laine, J., Saarinen, M., Laurén, A., Alm, J., Nikinmaa, E., Klöve, B. & Marttila, H. 2008a. Effects of tree stand transpiration and interception on site water balance in drained peatlands: experimental design and measurements. Teoksessa: Farrell, C. & Feehan, J. (toim.). *After wise use — The future of peatlands. Proceedings of the 13th international peat congress, Tullamore, Ireland. 8–13.6.2008. International Peat Society.* s. 169–171.
- Hökkä, H., Repola, J. & Laine, J. 2008b. Quantifying the interrelationship between tree stand growth rate and water table level in drained peatland sites within Central Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 1775–1783.
- Ilmatieteen laitos. 2012. Ilmastokatsaus arkisto. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmastokatsaus-arkisto/>. Viitattu 31.7.2012.
- Juntunen, M. & Herrala-Ylinen, H. 2011. Metsien hoito. Teoksessa: *Metsätalastollinen vuosikirja 2011 (Summary: Finnish statistical year book of forestry).* Metsäntutkimuslaitos. s. 117–164.
- Jutras, S. & Plamondon A. P. 2005. Water table rise after harvesting in a treed fen previously drained for forestry. *Suo* 56: 95–100.
- Kansallinen metsäohjelma 2010. Kansallinen metsäohjelma 2010 — monipuolisesti metsästä. Maa- ja metsätalousministeriö 2006. 65 s.
- Koivusalo, H., Ahti, E., Laurén, A., Kokkonen,

- T., Karvonen, T., Nevalainen, R. & Finér, L. 2008a. Impacts of ditch cleaning on hydrological processes in a drained peatland forest. *Hydrology and Earth System Sciences* 12: 1211–1227.
- Koivusalo, H., Hökkä, H., Laurén, A., Nikinmaa, E., Laine, J. & Ahti, E. 2008b. Splitting the water balance of drained peatland forests into hydrological components. Teoksessa: Farrell, C. & Feehan, J. (toim.). *After wise use — The future of peatlands. Proceedings of the 13th international peat congress, Tullamore, Ireland. 8–13.6.2008.* International Peat Society. s.485–487.
- Lauhanen, R. & Ahti, E. 2000. Kunnostusojituksella kestävään suometsien kasvatukseen. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2000. s. 308–315.
- Nieminen, M. & Ahti, E. 2000. Soiden metsätalouskäytön vesistövaikutukset. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2000. s. 321–325.
- Pelkonen, E. 1975. Vuoden eri aikoina korkealla olevan pohjaveden vaikutus männyn kasvuun (Summary: Effects of Scots Pine growth of ground water adjusted to the ground surface for periods of varying length during different seasons of the year). *Suo* 26: 25–32.
- Peltola, A. & Ihalainen, A. 2011. Metsävarat. Teoksessa: Ylitalo, E. (toim.). *Metsätalostollinen vuosikirja 2011* (Summary: Finnish statistical year book of forestry). Metsäntutkimuslaitos. s. 39–84.
- Päivänen, J. 1974. Sarkaleveyden ja naveroinnin vaikutus pohjavesipinnan syvyyteen ja männyn taimiston kehitykseen lyhytkortisella nevalalla (Summary: The effect of ditch spacing and furrowing on the depth of the ground water table and on the development of a scots pine plantation on small-sedge bog). *Silva Fennica* 8: 215–224.
- Päivänen, J. 1982. Hakkuun ja lannoituksen vaikutus vanhan metsäojitusalueen vesitalouteen (Summary: The effect of cutting and fertilization on the hydrology of an old forest drainage area). *Folia Forestalia* 516: 1–19.
- Päivänen, J. 2007. Suot ja suometsät — järkevän käytön perusteet. Helsinki: Metsäkustannus Oy. 368 s.
- Sarkkola, S., Nieminen, M., Ahti, E., Hökkä, H., Koivusalo, H., Päivänen, J. & Laine, J. 2010. Role of tree stand evapotranspiration in maintaining satisfactory drainage conditions in drained peatlands. *Canadian Journal of Forest Research* 40: 1485–1496.
- Sarkkola, S., Hökkä, H., Nieminen, M., Koivusalo, H., Laurén, A., Ahti, E., Launiainen, S., Marttila, H. & Laine, J. 2012a. Can tree stand water use compensate for maintenance of ditch networks in peatlands? Implications from water balance measurements. Teoksessa: Magnusson, T. (toim.). *Abstracts of the 14th International Peat Congress. Stockholm, 3.–8.6. 2012.* Abstract No. 53.
- Sarkkola, S., Hökkä, H., Ahti, E., Koivusalo, H. & Nieminen, M. 2012b. Depth of water table prior to ditch network maintenance is a key factor for tree growth response. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27: 649–658. doi: 10.1080/02827581.2012.689004.
- Skaggs, W. Amatya, D., Chescheir, G.M., Blanton, C.D. & Gilliam, J.W. 2006. Effect of Drainage and Management practices on Hydrology of Pine Plantation. Teoksessa: Amatya, D.M. & Nettles, J. (toim.). *Hydrology and management of forested wetlands. Proceedings of the international conference, New Bern, North Carolina. 8.–12.4.2006.* Michigan, USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers. s. 3–14.
- Smolander, M. 2011. Vesitase ojitetussa suometsikössä (Abstract: Water balance in a drained peatland forest). *Diplomityö. Aalto-yliopisto, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma.* Espoo. 103 s.
- Smolander, M., Koivusalo, H., Hökkä, H., Laurén, A., Sarkkola, S. & Nieminen, M. 2012. Sateen määränpää suometsikössä. *Vesitalous* 1/2012. s. 44–48.
- Vasander, H. & Laine, J. 2008. Site type classification on drained peatlands. Teoksessa: Korhonen, R., Korpela, L. & Sarkkola, S. (toim.). *Finland — Fenland — Research and sustainable utilisation of mires and peat.* Finnish Peatland Society and Maahenki Ltd. s. 146–151.
- Verry, E.S. 1997. Hydrological processes of natural, northern forested wetlands. Teoksessa: Trettin, C., Jurgensen, M., Grigal, D., Gale, M. & Jeglum J. (toim.). *Northern forested wetlands: ecology and management.* CRC Press, Lewis Publishers. Boca Raton, Fla. s. 163–188.

**Summary: Factors affecting the spatial variability of water table depth within a drained peatland forest stand in northern Finland**

It is lately estimated that about one third of drained peatland forests in Finland are under suboptimal drainage conditions and need ditch network maintenance. In order to improve forest growth conditions, ditch network maintenance operations (complementary ditching and/or cleaning of existing ditches) are annually conducted on an area of about 70000 ha. Ditch network maintenance also has negative impacts in terms of operational costs and increased environmental load to receiving rivers and lakes. Recent studies suggest that ditch network maintenance may not be necessary in all sites where ditches are visually in poor condition. In a well-developed tree stand the water table level may remain sufficiently low and soil moisture conditions favorable for tree growth due to stand interception and transpiration. Understanding the relationship between the tree stand (its interception and transpiration demand) and the water table depth in peat can aid in determining the conditions, when the ditch network maintenance operations are unnecessary.

The objective was to study how the local stand basal area, the distance to the nearest ditch and the topography affect the water table depth in a drained peatland forest. The study site was a 0.53 ha artificial (isolated from surroundings by double ditching) catchment of the Sattasuo mire in northern Finland, where depth to water table was measured from 50 tubes installed in a regular grid. The water table measurements were conducted during the unfrozen period from 2006 to 2010. For each tube, the distance to the nearest ditch, the stand basal area at different radius from the tube and the elevation relative to the other tubes were determined, and used one by one as an explanatory variable in the linear regression analysis to explain the variation in water table depth at different measurement times.

The results suggested that the distance to a ditch and the elevation explained most of the variation in the water table depth within the site. Elevation showed strong correlation with the depth of water table during early growing season, when the water table was close to soil surface after spring snowmelt. In the early growing season, when soil was partly frozen, the distance to a ditch and the stand basal area had only minor effect on the water table. The effect of the distance to a ditch became significant after the water table level lowered.

The relationship between the local stand basal area (at 2 m radius from the tube) and the water table depth was significant in the late summer of the driest year 2006, but only occasionally visible during the wet years, probably due to the relatively low stand stocking ( $93 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) and consequently low stand evapotranspiration potential. According to the results, the water table decreased on average by 1 cm when the stand basal area at 2 m radius from the tube increased by  $4.7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  or, alternatively, when the distance to the nearest ditch was reduced by 1 m.

The results confirmed that in northern conditions with cold climate and low vegetation transpiration ditch networks have an important role in decreasing excessive soil moisture and that the tree stand should be larger than in Sattasuo mire to become the main factor controlling the soil moisture conditions.

Received 22.8.2012, accepted 27.11.2012

Editor: Leila Korpela