

Heli Hyttinen

**Putkipatomenetelmän vaikutus kunnostusojitusalueen
puuston kasvuun**

Opinnäytetyö

Kevät 2010

Maa- ja metsätalouden yksikkö

Metsätalouden koulutusohjelma

Metsätaloustuotannon suuntautumisvaihtoehto



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Maa- ja metsätalouden yksikkö

Koulutusohjelma: Metsätalous

Suuntautumisvaihtoehto: Metsätaloustuotanto

Tekijä: Heli Hyttinen

Työn nimi: Putkipatomenetelmän vaikutus kunnostusojitusalueen puuston kasvuun

Ohjaajat: Hannu Hökkä, Juha Jämsén, Helena Merisaari

Vuosi: 2010

Sivumäärä: 74

Liitteiden lukumäärä: 4

Tutkimuksessa selvitettiin tulvavesien tilapäisen varastoinnin vaikutusta kunnostusojitusalueen puuston kasvuun. Viitasaarelta pohjoisesta Keski-Suomesta valittiin 10 mäntyvaltaista metsikköä, joissa putkipato oli ollut käytössä vähintään 5 kasvukautta inventointihetkeen mennessä. Kuhunkin metsikköön perustettiin padon läheinen toimenpidekoeala sekä vastaava vertailukoeala, jotka inventoitiin syksyllä 2009.

Keskimääräiset tilavuuskasvut mitattiin kairatuista lustonäytteistä lustomikroskooppilla. Puuston kokonaistilavuudet puolestaan laskettiin mitattujen puustotunnusten perusteella. Koealoilta kerätyistä turvenäytteistä määritettiin ylimmän turvekerroksen pääravinteiden pitoisuudet. Toimenpidekoealoilla seurattiin lisäksi pohjavesipinnan syvyyttä. Putkipatojen ja koealakeskipisteiden korkeusasemat määritettiin vaaitsemalla, jotta voitiin arvioida padotuksen vaikutusalueen ulottuvuutta.

Putkipadot eivät aiheuttaneet keskimääräisen pohjavesipinnan haitallista kohoamista loppukesällä, jolloin puiden vedenkestävyys on heikoimmillaan. Tulvesi ei myöskään ollut huuhtonut pääravinteita juuristokerroksesta. Puuston keskimääräiset tilavuuskasvut eivät poikenneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi toimenpide- ja vertailukoealoilla.

Tulosten perusteella putkipatojen rakentamista voidaan suositella. Padotuksen aiheuttama virtausnopeuden hidastuminen vähentää eroosiota ja tehostaa liikkeelle lähteneen kiintoaineen laskeutumista ojan pohjalle. Putkipatojen toimivuudesta kunnostusojitusalueiden vesiensuojelussa on saatu lupaavia tuloksia.

Avainsanat: ojitetut turvemaat, putkipato, tilavuuskasvu, vesiensuojelu, virtaamansäätö

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Agriculture and Forestry
Degree programme: Forestry
Specialisation: Forestry Production

Author: Heli Hyttinen

Title of thesis: The effect of the PRC method on volume growth of tree stands in ditch maintenance areas

Supervisors: Hannu Hökkä, Juha Jämsén, Helena Merisaari

Year: 2010

Number of pages: 74 Number of appendices: 4

The aim of the study was to investigate the possible interrelationship between the temporary storing of peak runoff water in ditch networks and the tree stand volume growth on peatland sites ditched and maintained for forestry. 10 Scots pine dominant sample stands where the peak runoff control (PRC) structure had been functioning for at least 5 growing seasons were measured in the autumn of 2009. On each stand the sample plot was situated near the PRC structure and the control plot farther upstream. All the stands were located in Viitasaari in Central Finland.

The mean volume growths of the tree stands were determined from the growth ring samples by using a growth ring microscope. The total stand volumes were calculated according to plot measurements. The contents of the main nutrients in the upper peat layer were also analyzed and the level of the groundwater table was measured on the sample plots. The altitudes of the PRC structures and the plots were determined to evaluate the area affected by the PRC method.

No harmful rise in the level of the groundwater table caused by the PRC structure was detected during the late summer when the trees are most vulnerable to the effects of flooding. Nutrients had not been leached from the root layer either. There was no significant difference in the mean volume growth between the sample and control plots.

Based on the results the use of the PRC method can be recommended. Reducing peak flows and flow velocity prevents ditch erosion and enables sedimentation of suspended solids. Recent studies clearly indicate that the PRC method benefits water protection in ditched peatland forestry areas.

Keywords: ditched peatlands, PRC method, volume growth, water protection, peak runoff control

Esipuhe

Tämä työ on elämäni kolmas tutkinnon päättötyö ja olkoon se myös viimeinen. Työn aihepiiri oli ajankohtainen, kiinnostava – haastavakin ja siksi minulle mieluisen. Haluan kiittää kaikkia ohjaajiani – lehtori Helena Merisaarta Seinäjoen ammattikorkeakoulusta Tuomarniemeltä, dosentti, erikoistutkija Hannu Hökkää Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen toimintayksiköstä ja luonnonhoidon asiantuntija Juha Jämséniä Keski-Suomen metsäkekkuksesta. Kaikilta teiltä sain asiantuntevia neuvoja ja kommentteja, oli ilo työskennellä kanssanne. Juha ansaitsee lisäksi erityiset kiitokset merkittävästä työajan uhraamisesta ja kaikesta kärsivällisyydestä. Hannu Marttilaa kiitän työni kommentoinnista sekä käyttööni uskotuista käsikirjoituksista.

Lämpimät kiitokseni esitän inventointityöhön osallistuneille POKE:n luonto- ja ympäristöalan perustutkinnon aikuisopiskelijoille, joiden ansiosta pari viikkoa kestäneet maastotyöt sujuivat mainiosti. Lopuksi kiitän omaa perhettäni kaikesta siitä joustavuudesta, sopeutuvaisuudesta ja ymmärtävyydestä, jota äidin opiskelu on vaatinut.

Liimattalassa keväällä 2010

Heli Hyttinen

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract	3
Esipuhe	4
SISÄLTÖ	5
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	7
1 JOHDANTO	12
2 TURVEMAIDEN MERKITYS METSÄTALOUESSA	13
2.1 Suopuustojen osuus ja hyödyntäminen.....	13
2.2 Suopuustojen kasvuolosuhteet.....	15
3 VESIENSUOJELUN YLEISET TAVOITTEET	16
4 METSÄTALOUS VESISTÖKUORMITTAJANA	16
5 METSÄTALouden OMINAISKUORMITUSLUVUT.....	19
5.1 Fosfori ja typpi	19
5.2 Kiintoaine	20
6 KUNNOSTUSOJITUKSET JA VESIENSUOJELU	21
6.1 Yleistä	21
6.2 Ojakohtaiset vesiensuojelumenetelmät.....	22
6.3 Laskeutusaltaat.....	23
6.4 Pintavalutuskentät	24
6.5 Kosteikot	27
7 PUTKIPATO VESIENSUOJELURAKENTEENA.....	28
7.1 Periaate.....	28
7.2 Vesiensuojelulliset hyödyt	31
8 MAAPERÄN VESI JA PUUSTON KASVU	34
8.1 Puusto ja pohjavesipinnan syvyys.....	34
8.1.1 Luonnontilaiset suot	34
8.1.2 Ojitusalueet.....	35
8.2 Puiden juuristot ja pohjavesipinnan syvyys	38

8.3 Männyn ja kuusen vedenkestävyys.....	39
8.4 Anaerobisuuden vaikutuksia.....	41
8.5 Puuston morfologisia sopeutumismekanismeja	43
9 TEHTÄVÄNASETTELU	43
10 AINEISTO JA MENETELMÄT	44
10.1 Tutkimuksen periaate.....	44
10.2 Tutkimuskohteet.....	44
10.3 Aineiston kerääminen	46
10.3.1 Koealojen inventointi	46
10.3.2 Pohjavesipinnan syvyys	48
10.3.3 Muut taustatiedot.....	48
10.4 Aineiston käsittely	48
10.5 Aineiston tilastollinen analysointi	50
11 TULOKSET	51
11.1 Kohteiden taustatiedot	51
11.2 Pohjavesipinnan syvyys.....	54
11.3 Turpeen ravinteet.....	57
11.4 Puuston tilavuuskasvu	59
12 TULOSTEN TARKASTELO	62
12.1 Tulosten luotettavuus.....	62
12.2 Koejärjestelyn onnistuminen.....	63
12.3 Pohjavesipinnan syvyys ja turpeen ravinnepitoisuudet	64
12.4 Puuston tilavuuskasvu	65
13 LOPUKSI.....	67
LÄHTEET	69
LIITTEET	

Kuvio- ja taulukkoluetelo

KUVIO 1. Puuston keskitilavuus metsämaalla koko maassa (Korhonen, Ihalainen, Heikkinen, Henttonen & Pitkänen 2007).	14
KUVIO 2. Fosforipäästölähteet Suomessa v. 2008 (Pintavesien ekologinen ja kemiallinen tila 2009).	17
KUVIO 3. Typpipäästölähteet Suomessa v. 2008 (Pintavesien ekologinen ja kemiallinen tila 2009).	18
KUVIO 4. Metsätalouden ravinnekuormitus (t/v) vuosina 2004 ja 2008 sekä kuormituksen vähentämiseksi asetetut tavoitteet (Leivonen 2005; Nyroos ym. 2006; Pintavesien ekologinen ja kemiallinen tila 2009).	18
KUVIO 5. Putkipadon padotusta ojitusalueella. Keväällä vettä varastoituu tilapäisesti yläpuolisiin ojiin. (Kuva: Juha Jämsén.)	29
KUVIO 6. Putkipadon periaatekuva (Marttila, Vuori, Hökkä, Jämsén & Kløve 2010).	29
KUVIO 7. Putkipadon rakentaminen metsäojoaan. Kuva on otettu padon yläpuolelta. (Kuva: Juha Jämsén.)	30
KUVIO 8. Putkipadon ohjeellinen mitoitus. Vasemmanpuoleinen nomogrammi on tarkoitettu alueille, joilla on laaja ojitusalueen ulkopuolinen valuma-alue ja oikeanpuoleinen kohteille, jotka ovat kokonaan ojitusaluetta ja/tai joilla on rakenteen alapuolista padotusta. (Marttila ym. 2010.)	31
KUVIO 9. Mitattu lähtevä virtaama (outflow) ja laskennallinen tuleva virtaama (inflow) rankkasateen (sademäärä 47 mm) jälkeen myöhäissyksyllä 2007. a)	

Keuhkosenneva, b) Kivisuo, c) Ulppaa, d) Kiviselkämä ja e) Lavasuo (Marttila ym. 2010).....	32
KUVIO 10. Varastotilavuuden suhteellinen täyttyminen (mitattu vedenpinnan korkeus suhteessa maksimaaliseen korkeuteen) rankkasateiden jälkeen (a, b ja d) ja kevättulvan aikana (c) (Marttila ym. 2010).....	33
KUVIO 11. Pohjavesipinnan syvyys loppukesällä puuston keskimääräisen kokonaistilavuuden funktiona eri ojitusalueineistoissa. Malli on laadittu olettaen keskimääräiset sää- ja kuivatusolosuhteet (sademäärä 75 mm/kk, ojasyvyys 50 cm) (Sarkkola ym. 2008, 2010).	36
KUVIO 12. Tutkimusmetsiköiden sijainti Viitasaarella pohjoisessa Keski-Suomessa.....	45
KUVIO 13. Putkipadon sekä koealojen 1 ja 2 sijainnit ja korkeusasemat metsikössä 1 (Varissuo 1).	52
KUVIO 14. Pohjavesipinnan keskimääräinen syvyys 1-koealoilla heinä-elokuussa 2009.....	55
KUVIO 15. Pohjavesipinnan syvyyden vaihtelu metsikössä 4 (Kivisuo), koeala 41. Tähdellä merkityt kuukaudet sisältävät epätäydellisiä mittausjaksoja.	56
KUVIO 16. Pohjavesipinnan syvyyden vaihtelu metsikössä 6 (Ulppaa), koeala 61. Tähdellä merkityt kuukaudet sisältävät epätäydellisiä mittausjaksoja.	56
KUVIO 17. Ylimmän turvekerroksen (0–20 cm) keskimääräiset typpipitoisuudet (% kuivamassasta) (N = 10, p = 0,732) toimenpide- ja vertailukoealoilla.....	57
KUVIO 18. Ylimmän turvekerroksen (0–20 cm) keskimääräiset fosforipitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta) (N = 10, p = 0,698) toimenpide- ja vertailukoealoilla.	58

KUVIO 19. Ylimmän turvekerroksen (0–20 cm) keskimääräiset kaliumpitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta) (N = 10, p = 0,172) toimenpide- ja vertailukoealoilla.	58
KUVIO 20. Puuston keskimääräinen tilavuuskasvu (m ³ /ha/v) toimenpide- (sijainti 1) ja vertailukoealoilla (sijainti 2) viiden vuoden havaintojaksoilla ennen ja jälkeen putkipadon rakentamisen. Kuviossa on esitetty keskihajonnat.	59
KUVIO 21. Puuston keskimääräisen kokonaistilavuuden (m ³ /ha) kehitys kalibrointi- ja havaintojaksojen aikana toimenpide- (sijainti 1) ja vertailukoealoilla (sijainti 2). Kuviossa on esitetty keskihajonnat. V-5 = tilavuus (m ³ /ha) 5 vuotta ennen padon rakentamista, V0 = tilavuus (m ³ /ha) padon rakentamishetkellä, V+5 = tilavuus (m ³ /ha) 5 vuotta padon rakentamisen jälkeen.	60
KUVIO 22. Viiden vuoden kalibrointi- ja havaintojaksojen kokonaiskasvut (m ³ /ha/5v) ennen ja jälkeen putkipadon rakentamisen tutkimusmetsiköiden toimenpidekoealoilla.	61
KUVIO 23. Viiden vuoden kalibrointi- ja havaintojaksojen kokonaiskasvut (m ³ /ha/5v) ennen ja jälkeen putkipadon rakentamisen tutkimusmetsiköiden vertailukoealoilla.	61
KUVIO 24. Putkipadon ja koealojen 1 ja 2 sijainti ja korkeusasemat metsikössä 1 (Varissuo 1).	1
KUVIO 25. Putkipadon ja koealojen 1 ja 2 sijainti ja korkeusasemat metsikössä 2 (Varissuo 2).	1
KUVIO 26. Putkipadon ja koealojen 1 ja 2 sijainti ja korkeusasemat metsikössä 3 (Pentinniemi).	2
KUVIO 27. Putkipadon ja koealojen 1 ja 2 sijainti ja korkeusasemat metsikössä 4 (Kivisuo).	2

KUVIO 28. Putkipadon ja koealojen 1 ja 2 sijainti ja korkeusasemat metsikössä 5 (Kiviselkämä).	3
KUVIO 29. Putkipadon ja koealojen sijainti ja korkeusasemat metsikössä 6 (Ulppaa).	3
KUVIO 30. Putkipadon ja koealojen 1 ja 2 sijainti ja korkeusasemat metsikössä 7 (Toivola).	4
KUVIO 31. Putkipadon ja koealojen 1 ja 2 sijainti ja korkeusasemat metsikössä 8 (Toulatsuo 1).	4
KUVIO 32. Putkipadon ja koealojen 1 ja 2 sijainti ja korkeusasemat metsikössä 9 (Toulatsuo 2).	5
KUVIO 33. Putkipadon ja koealojen 1 ja 2 sijainti metsikössä 10 (Keuhkosenneva).	5
TAULUKKO 1. MESUVE-projektissa ja KMO 2015 -laskelmissa käytetyt eri metsätaloustoimenpiteiden keskimääräiset ominaiskuormitusluvut (kg/ha/v) jaksolla, jolla toimenpiteen vaikutus näkyy. Oletuksena on, että hakkuiden ja ojitusten vaikutus jatkuu 10 vuotta, kangasmaiden typpilannoituksen 2 vuotta ja turvemaiden fosforilannoituksen 5 vuotta. Lisäksi oletetaan, että toimenpiteiden vesiensuojelusta on huolehdittu suositusten mukaisesti. (Tattari ym. 2008.)	19
TAULUKKO 2. Kunnostusojituksen aiheuttama kiintoaineen ominaiskuormitus, josta on vähennetty vesiensuojelutoimenpiteiden osuus (50 %) (Koivusalo ym. 2008, 16).	21
TAULUKKO 3. Ravinteiden pidättyminen Hovin kosteikolla kahdella eri seurantajaksolla (Koskiaho 2009).	28

TAULUKKO 4. Putkipatojen rakentamisen ajankohdat, tiedossa olevat ojitukset sekä toteutetut tuhkalannoitukset eri tutkimusmetsiköissä.	51
TAULUKKO 5. Koealojen väliset korkeuserot ja etäisyydet sekä putkipadon korkeusasema suhteessa toimenpidealueeseen eri tutkimusmetsiköissä.....	52
TAULUKKO 6. Koealojen kasvupaikka- ja puustotiedot (G = pohjapinta-ala m^2/ha , DMD = mediaaniläpimitta cm , V = kokonaistilavuus m^3/ha) kasvukauden lopussa 2009.....	54
TAULUKKO 7. Koealakeskipisteiden ja putkipatojen korkeusasemat ja sijaintikoordinaatit.	75
TAULUKKO 8. Koealakohtaiset keskimääräiset turvekerroksen paksuudet sekä turvelaji ja turpeen maatumisaste ylimmässä 0-10 ja 10–20 $cm:n$ turvekerroksessa.	1
TAULUKKO 9. Ylimmän turvekerroksen (0-20 cm) keskimääräiset pääravinteiden pitoisuudet kuiva-aineessa.	1
TAULUKKO 10. Koealojen sarkaleveydet ja sarkojien etäisyydet koealakeskipisteistä sekä arvioitu sarkojien kunto.....	2
TAULUKKO 11. Kuukausittaisia pohjaveden korkeustietoja (cm maanpinnasta) koealoilta vuosina 2007-2009. Tähdellä (*) merkityt mittausjaksot eivät ole kokonaisia kuukausia ja niiden osalta tarkemmat jaksot on esitetty taulukossa.....	1

1 JOHDANTO

Putkipato on Keski-Suomen metsäkeskuksen luonnonhoitohankkeiden yhteydessä kehitetty uusi vesiensuojelumenetelmä, jonka toimivuudesta on saatu lupaavia tuloksia. Putkipato on tierumpua muistuttava rakenne, joka tehdään metsäojoaan kunnostusojituksen yhteydessä. Padon avulla tulvavesiä varastoidaan tilapäisesti ojitusalueella, jolloin eroosioriski vähenee ja liikkeelle lähtenyt kiintoainesta laskeutuu ojan pohjalle virtauksen hidastuessa. Tavoitteena on, että putkipato vakiinnuttaisi asemansa yhtenä metsätaloudessa yleisesti käytetyistä vesiensuojelumenetelmistä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli koealainventointien avulla selvittää, onko tulvavesien tilapäinen varastoiminen ja siihen liittyvä mahdollinen pohjavesipinnan nousu vaikuttanut puuston tilavuuskasvuun padotuksen vaikutusalueella sijaitsevilla metsiköissä. Tutkimus on osa laajempaa Vesiensuojelun ja tulvienhallinnan yhdistäminen metsätalouden kunnostusojituksissa -tutkimushanketta, jonka keskeisiä toimijoita ovat Oulun yliopiston Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorio, Metsäntutkimuslaitos ja Keski-Suomen metsäkeskus.

Suometsien puunkorjuun on ennustettu lähitulevaisuudessa entisestään lisääntyvän (Päivänen 2007). Puuntuotannon harjoittaminen turvemaalla on kuitenkin haasteellista esimerkiksi epävakaiden kasvuolosuhteiden vuoksi. Tyydyttävän kuivatustilan ylläpito edellyttää yleensä toistuvia kunnostusojituksia ja samanaikaista vesiensuojelusta huolehtimista.

Kunnostusojitus on yksi vesistöjä eniten kuormittavista metsätaloustoimenpiteistä (Joensuu, Makkonen & Matila 2007, 6). Vesienhoidon yleisenä tavoitteena on pintavesimuodostumien vähintään hyvän tilan saavuttaminen viimeistään vuonna 2015 (L. 30.12.2004 / 1299). Vaikka metsätalouden osuus rehevöitymistä aiheuttavasta kokonaiskuormituksesta on kokonaisuudessaan vähäinen, voi paikallinen merkitys olla huomattava (Joensuu, Makkonen & Matila 2007).

Metsätaloudessa käytetään yleisesti useita vesiensuojelumenetelmiä, joiden toivuudesta ja käyttökelpoisuudesta on saatu vaihtelevia tuloksia. Parhaat vesiensuojelulliset hyödyt saavutetaan erilaisia menetelmiä yhdistelemällä. Virtaamia tasoittamalla putkipato voi parantaa myös ylä- ja alapuolisten vesiensuojelurakenteiden kuten lietekuoppien, laskeutusaltaiden tai pintavalutuskenttien toimintaa. Putkipatomenetelmän toivotaan vakiinnuttavan asemansa yhtenä metsätaloudessa yleisesti käytetyistä vesiensuojelumenetelmistä. Menetelmän käyttö ei kuitenkaan saa vaarantaa puuston kasvua patojen läheisissä metsiköissä. Tähän tutkimukseen liittyvä puuston inventointi tehtiin ajankohtana, jolloin putkipadot olivat olleet käytössä vähintään viisi kasvukautta.

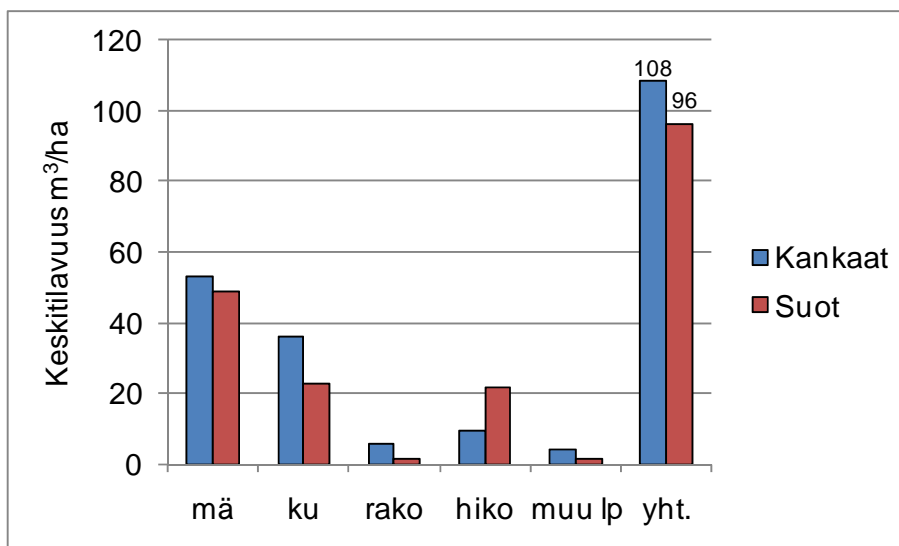
Pohjavesipinnan syvyys vaihtelee luontaisesti kasvukauden eri aikoina. Keväällä lumien sulaessa pohjavesi on yleensä korkealla. Kesällä pohjaveden korkeus vaihtelee puuston määrän ja sateisuuden mukaan. (Ahti & Hökkä 2006; Sarkkola ym. 2010.) Syksyllä pohjaveden pinta yleensä nousee runsaiden sateiden seurauksena (Heikurainen 1967). Pitkäkestoisin putkipadolla aikaansaattava tulvahuippujen varastointi ajoittuu kevääseen (Marttila, Vuori, Hökkä, Jämsén & Kløve 2010). Puiden vedenkestävyys puolestaan on heikoimmillaan loppukesällä, jolloin myös juurten kasvu on vilkkainta (Pelkonen 1975). Tilapäinen säännöllisesti toistuva kevät-tulva saattaa olla puuston kasvun kannalta jopa hyödyllinen (Tuononen, Vähsäyrinki & Österlund 1981).

2 TURVEMAI DEN MERKITYS METSÄTALOUESSA

2.1 Suopuustojen osuus ja hyödyntäminen

Suomessa on metsätalousmaata yhteensä 26,3 milj. ha ja soiden osuus tästä on 34 % (Metsätalastollinen vuosikirja 2008, 51–52). Metsätalouden soista 54 % on ojitettu (Metsätalastollinen vuosikirja 2008, 53). Suopuustojen osuus metsämaan puustojen kokonaistilavuudesta on puolestaan 22 %. Metsämaan suopuustojen kokonaistilavuudesta 50 % on mäntyä, 24 % kuusta ja 26 % lehtipuuta. Metsä-

maan puuston keskitilavuus koko maassa on soilla 96,3 m³/ha ja kankailla 108,4 m³/ha. Puulajeittaiset keskitilavuudet metsämaan kankailla ja soilla on esitetty kuviossa 1.



KUVIO 1. Puuston keskitilavuus metsämaalla koko maassa (Korhonen, Ihalainen, Heikkinen, Henttonen & Pitkänen 2007).

Metsämaan puuston keskimääräinen kasvu on soilla 4,6 m³/ha/a ja kankailla 4,9 m³/ha/a. Soiden osuus metsämaan puuston vuotuisesta kokonaiskasvusta on 24 %. (Korhonen, Ihalainen, Heikkinen, Henttonen & Pitkänen 2007.) Suometsissä on kivennäismaihin verrattuna vähän uudistuskypsiä metsiä ja runsaammin nuoria kasvatusmetsiä, tosin viime vuosina varttuneempien kehitysluokkien osuus on lisääntynyt.

Toistaiseksi suuri osa suometsien hakkuukertymästä on peräisin harvennushakkuista. (Päivänen 2007, 220–221.) Viime vuosina suometsien vuotuiset hakkuumäärät ovat olleet 5-7 milj. m³. Vuosien 2006–2015 suurin kestävä hakkuusuunnite on kuitenkin 12 milj. m³/a, mikä on suunnilleen kuudesosa koko yhteenlasketusta suunnitearviosta. (Kojola 2009, 11.) Lisäksi on arvioitu, että vuoden 2025 tienoilla suometsien puunkorjuu ylittää 20 % koko maan vuotuisesta hakkuukertymästä. Joidenkin metsäkeskusten alueilla osuus on jo nyt yli 20 %. (Päivänen 2007, 221.) Toisaalta pienet harvennuskertymät ja hankalat korjuuolosuhteet heikentävät oji-

tusalueilla toimimisen kiinnostavuutta. Myös käsitykset ojitusalueilta saatavan puutavaran laadusta vaihtelevat. (Kojola 2009, 12–15.)

2.2 Suopuustojen kasvuolosuhteet

Luonnontilaisella suolla puuston kasvua rajoittaa kasvualustan vähähappisuus. Ojituksen avulla saadaan puiden juuriston hapensaantia heikentävä liiallinen vesi liikkeelle ja alennetaan pohjavesipinnan tasoa. Ojituksella aikaansaadut vesitalouden muutokset eivät kuitenkaan ole pysyviä, ja riittävän kuivatustilan ylläpito vaatii toistuvia kunnostusojituksia. Tämän vuoksi ojitetun suon kasvupaikka ei ole olosuhteiltaan yhtä vakaa kuin kangasmaan kasvupaikka. (Kojola 2009, 12–15.)

Turvemaa poikkeaa kivennäismaasta myös ravinteiden määrän ja saatavuuden suhteen. Kokonaisravinnemääriä vertailtaessa turvemaassa on yleensä runsaasti typpeä mutta vähän fosforia, kaliumia ja kalsiumia verrattuna kivennäismaahan. Mikäli turve on pitkälle maatonut, typen saatavuus on hyvä. Fosforin, kaliumin ja hivenravinteiden puutokset saattavat sen sijaan rajoittaa puuston kasvua.

Ojituksen seurauksena pintaturpeen ravinnemäärät ja ravinteiden keskinäiset määräsuhteet muuttuvat. Pintaturpeen tiivistymisen seurauksena typen ja fosforin määrä lisääntyy ja mikrobitoiminnan tuloksena ravinteita vapautuu puustolle käyttökelpoiseen muotoon. Fosforia kuitenkin mineralisoituu typpeen verrattuna vähemmän kuin kasvavaan puustoon sitoutuu.

Kalium on maassa liukoisessa muodossa, jolloin kasvava puusto sitoo sitä tehokkaasti. Ojituksen seurauksena kaliumin määrä suhteessa typen ja fosforin määriin näyttäisi vähenevän pintaturvekerroksessa. Eteläisessä Suomessa kaliumlaskeuma voi kuitenkin olla jopa samansuuruinen kuin puuston sitoma kaliumin nettomäärä. Toisaalta avo- ja sekatyypin soista kehittyneissä ojitetuissa suometsissä kaliumin puutos on usein ongelma, sillä niissä kaliumia on luontaisestikin vähemmän kuin aidoilla puustoisilla soilla. (Päivänen 2007, 78–83.)

3 VESIENSUOJELUN YLEISET TAVOITTEET

Vesienhoidon yleisenä tavoitteena on suojella, parantaa ja ennallistaa pinta- ja pohjavesiä niin, että niiden tila ei heikkene ja että niiden tila olisi vähintään hyvä viimeistään vuonna 2015. Suomi on jaettu vesienhoitoalueisiin ja näistä kullekin on laadittu vesienhoitosuunnitelma ja siihen sisältyvä toimenpideohjelma vesienhoidon ympäristötavoitteiden saavuttamiseksi. (L. 30.12.2004 / 1299.) Valtioneuvosto hyväksyi alueelliset vesienhoitosuunnitelmat joulukuussa 2009 (Koljonen 2009).

Tällä hetkellä jokivesistä 52 %, järvistä 73 % ja rannikkovesistämme vain 15 % luokitellaan ekologiselta tilaltaan vähintään hyväksi (Pintavesien ekologinen ja kemiallinen tila 2009). Vesiensuojelun suuntaviivojen valmistelun yhteydessä laaditun taustaselvityksen perusteella on todettu, että vesien hyvän tilan saavuttaminen ei onnistu kaikissa vesistöissä vuoteen 2015 mennessä. Viimeisimmän arvion mukaan vesien hyvä tila voidaan vuoteen 2015 mennessä turvata tai saavuttaa yli 90 %:sa järvipinta-alasta, noin 70 %:sa jokipituuksista, yli 40 %:sa rannikkovesistä ja 98 %:sa pohjavesistä (Koljonen 2009). Vesienhoitosuunnitelmissa voidaankin lain asettamia määräaikoja tietyin edellytyksin pidentää, jos tavoitteiden saavuttaminen on mahdollista vain vaiheittain.

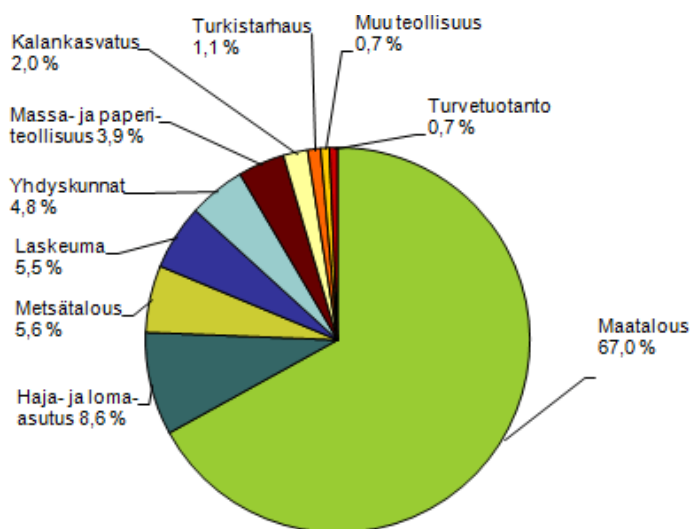
4 METSÄTALOUS VESISTÖKUORMITTAJANA

Ylivoimaisesti eniten vesistöjä kuormittavat maatalouden ravinnepäästöt (kuviot 2 ja 3). Metsätaloustoimenpiteistä vesistöjä kuormittavat eniten kunnostusojitus, maanmuokkaus ja lannoitus (Joensuu ym. 2007, 6). Latva- ja pienvesillä metsätalous voi olla ainoa kuormituslähde ja paikallisesti sen merkitys voi olla suuri. Metsätaloudessa ei ole erityistä toiminnan vesiensuojelua ohjaavaa erillislainsäädäntöä tai lupakäytäntöä, vaan toiminta perustuu välilliseen lainsäädäntöön, sertifiointikriteereihin, valtioneuvoston periaatepäätöksiin, ohjelmiin ja suosituksiin.

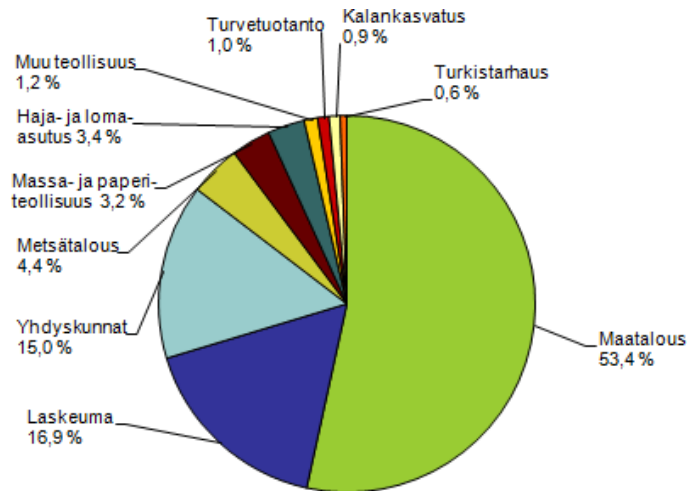
Metsälaki velvoittaa hoitamaan metsiä kestävästi ja huomioimaan ympäristöasiat. Metsäsertifiointikriteerit ja laki kestävän metsätalouden rahoituksesta edellyttävät,

että kunnostusojitushankkeissa on oltava vesiensuojelusuunnitelma ja hankkeista on ilmoitettava ympäristöviranomaisille. Yli 200 hehtaarin yhtenäisen metsä-, suo- tai kosteikkoalueen pysyvä muuttaminen, esimerkiksi uudisojitus, vaatii YVA-lain (laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 10.6.1994 / 468) mukaisen ympäristövaikutusten arvioinnin. Metsäsertifioinnin mukaan uudisojituksia ei kuitenkaan enää tehdä. Yleisiä suosituksia ovat esimerkiksi eroosion ehkäiseminen kunnostusojituksissa ja pohjavesialueiden jättäminen kunnostusojituksen ulkopuolelle, mikäli vaarana olisi pohjaveden pilaantuminen. (Yhteistyöllä parempaan vesienhoitoon 2009, 129–130.)

Suomen ympäristökeskuksen laskeman arvion mukaan metsätalouden aiheuttama fosforikuormitus oli 231 t/v ja typpikuormitus 3 253 t/v vuonna 2008. Metsätalouden osuus ihmistoiminnan aiheuttamasta vuotuisesta fosforikuormituksesta on vastaavasti 5,6 % (kuvio 2) ja typpikuormituksesta 4,4 % (kuvio 3). Metsätalouden osuudet ovat hieman vähentyneet vuoden 2004 arviointiin verrattuna (fosfori 8 % ja typpi 5 %) (Nyroos, Partanen-Hertell, Silvo & Kleemola 2006, 24.)

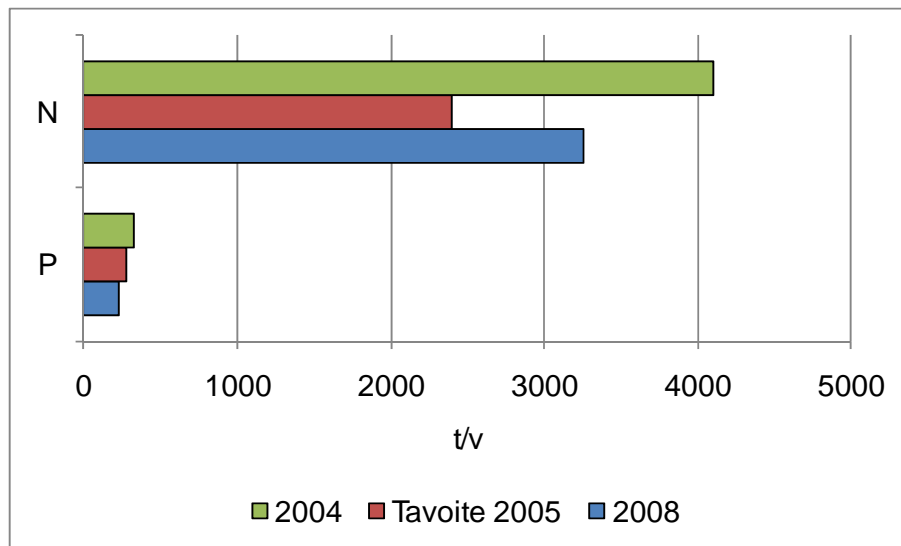


KUVIO 2. Fosforipäästölähteet Suomessa v. 2008 (Pintavesien ekologinen ja kemiallinen tila 2009).



KUVIO 3. Typpipäästölähteet Suomessa v. 2008 (Pintavesien ekologinen ja kemiallinen tila 2009).

Vuoteen 2005 mennessä metsätalouden aiheuttama ravinnekuormitus oli tavoitteena vähentää puoleen vuoden 1993 tasosta (Leivonen 2005). Fosforikuormituksen vähentämistavoite on tällä hetkellä saavutettu, mutta typpikuormitus on edelleen tavoitetasoa suurempaa (kuvio 4).



KUVIO 4. Metsätalouden ravinnekuormitus (t/v) vuosina 2004 ja 2008 sekä kuormituksen vähentämiseksi asetetut tavoitteet (Leivonen 2005; Nyroos ym. 2006; Pintavesien ekologinen ja kemiallinen tila 2009).

5 METSÄTALouden OMINAISKUORMITUSLUVUT

5.1 Fosfori ja typpi

Viimeisimmät metsätalouden kuormituslaskelmat on tehty MESUVE-projektissa (Metsätalouden alueellisen kuormitusarvioinnin ja metsäsuunnitteluun integroidun vesiensuojelun edistäminen paikkatietoihin perustuvalla huuhtoutumisherkkyyden arvioinnilla) (Kenttämies 2006) sekä KMO 2015 (Kansallinen metsäohjelma 2015) laatimisen yhteydessä (Finér ym. 2008). Valtakunnalliset ominaiskuormitusluvut (taulukko 1) perustuvat yksittäisiltä valuma-alueilta usean vuoden aikana saatuihin mittaustuloksiin. Eri tutkimusalueilla määritetyt ominaiskuormitusluvut poikkeavat toisistaan selvästi, eikä syitä toistaiseksi tunneta. Lisäksi kaikille metsätaloustoimenpiteille (esimerkiksi energiapuun korjuu) ei ole voitu määrittellä ominaiskuormituslukuja, koska tutkimustietoa ei ole vielä saatavilla. Keskimääräiseksi fosforin taustakuormitukseksi on arvioitu 0,05 kg/ha/v ja typen puolestaan 1,30 kg/ha/v. (Tattari, Finér, Mattsson & Koskiaho 2008, 6–8.)

TAULUKKO 1. MESUVE-projektissa ja KMO 2015 -laskelmissa käytetyt eri metsätaloustoimenpiteiden keskimääräiset ominaiskuormitusluvut (kg/ha/v) jaksolla, jolla toimenpiteen vaikutus näkyy. Oletuksena on, että hakkuiden ja ojitusten vaikutus jatkuu 10 vuotta, kangasmaiden typpilannoituksen 2 vuotta ja turvemaiden fosforilannoituksen 5 vuotta. Lisäksi oletetaan, että toimenpiteiden vesiensuojelusta on huolehdittu suositusten mukaisesti. (Tattari ym. 2008.)

	Typpi kg/ha/a		Fosfori kg/ha/a	
	MESUVE	KMO 2015	MESUVE	KMO 2015
Päätehakkuu (auraus ja mätästys)	0,48		0,016	
Päätehakkuu (äestys ja laikutus)	0,75		0,035	
Metsänuudistaminen kangasmaat		0,50		0,025
Metsänuudistaminen turvemaat		1,83		0,042
Ojitus ja kunnostusojitus	2,11		0,161	
Kunnostusojitus		0		0,07
Lannoitus	1,5	1,5	0,23	0,23

1980- ja 1990-luvuilla tehtyjen valuma-aluemittausten perusteella metsävaltaisten alueiden (peltoa < 5 %) ominaiskuormitusluvuiksi määriteltiin 0,09 kg P/ha/v ja 2,5

kg N/ha/v. Näissä kuormitusluvuissa ei ole eroteltu erikseen taustakuormitusta ja metsätaloustoimenpiteiden vaikutuksia. (Vuorenmaa, Rekolainen, Lepistö, Kenttämies & Kauppila 2002.)

Nykytiedon perusteella ojitettujen mäntyvaltaisten turvemaiden päätehakkuut ovat metsätalouden merkittävimpiä vesistöjen fosforikuormittajia. Mäntyvaltaiset suot ovat yleensä kohosoita, joiden rauta- ja alumiinipitoisuus on vähäinen. Siten myös niiden fosforinpidätyskyky on heikko. (Nieminen ym. 2008, 9–10.) Eräässä tutkimuksessa havaittiin, että metsävalumavesissä leville käyttökelpoisen fosforin määrä oli 20 ± 8 %. Koska liukoinen fosfori on leville käyttökelpoisinta, on suurin osa metsävalumavesien fosforista kiintoaineeseen sitoutunutta. (Ekholm, Kenttämies & Haapanen 2006, 98–100.)

Metsämaassa typen niukkuus yleensä rajoittaa perustuotantoa, jolloin kasvillisuus ja eliöstö hyödyntävät tehokkaasti käytettävissä olevan typen. Toisaalta rehevimmiltä kasvupaikoilta typpeä voi myös huuhtoutua. Metsämaalta luontaisesti tulevasta typpikuormituksesta suurin osa on liuenneessa orgaanisessa muodossa. Metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama kuormituksen lisäys sen sijaan on lähinnä nitraatti- ja ammoniumtyppeä. (Laurén, Mattsson, Kortelainen, Koivusalo & Lappalainen 2008, 12.)

5.2 Kiintoaine

Merkittävin kiintoainekuormitusta aiheuttava metsätaloustoimenpide on kunnostusojitus. Kunnostusojituksen aiheuttamalle kiintoainekuormitukselle laadittiin ensimmäistä kertaa ominaiskuormitusarvot KMO 2015 laatimisen yhteydessä (taulukko 2). Ominaiskuormitusluku on hyvin karkea arvio, sillä kiintoaineen kulkeutumiseen vaikuttavat mm. kulloisetkin virtausolosuhteet sekä erodoituvan maan aineksen koostumus. Kiintoaineen laadulla ja raekokojakaumalla on lisäksi huomattava merkitys eroosion ja sedimentaation kannalta. (Koivusalo ym. 2008, 16–18.)

TAULUKKO 2. Kunnostusojituksen aiheuttama kiintoaineen ominaiskuormitus, josta on vähennetty vesiensuojelutoimenpiteiden osuus (50 %) (Koivusalo ym. 2008, 16).

Vuotta toimenpiteestä	Kiintoaine kg/ha/a
1	300
2	100
3	80
4	60
5	50
6	40
7	30
8	20
9	10
10	5
Yhteensä kg/ha/10 a	695

6 KUNNOSTUSOJITUKSET JA VESIENSUOJELU

6.1 Yleistä

Kansallisen metsäohjelman (KMO 2015) tavoitteiden mukaisesti kunnostusojituk-
sia tulisi tehdä 100 000 hehtaarin alueella vuosittain (KMO 2015, 16). 2000-luvulla
kunnostusojitusten määrä on vaihdellut noin 67 000 hehtaarista 83 000 hehtaariin
vuodessa (Metsätilastollinen vuosikirja 2008, 141). Kunnostusojitusten lisääntymi-
nen edellyttää myös vesiensuojelun tehostamista.

Valtioneuvoston periaatepäätöksessä (Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015,
30) korostetaan erityisesti metsätaloustoimien hyvää ennakkosuunnittelua, riittävi-
en suojavyöhykkeiden käyttöä ja eroosion vähentämistä. Kunnostusojituk-
sia tulisi tehdä vain sellaisissa kohteissa, joissa se on metsätaloudellisesti kannattavaa ja
kannattamattomia ojitusalueita tulisi ennallistaa ja palauttaa hydrologialtaan luon-
nontilaisiksi.

Alueellisissa vesienhoitosuunnitelmissa esitetään sektorikohtaisia toimenpiteitä, joita toteuttamalla on tarkoitus saavuttaa vesien hyvä tila. Esimerkiksi Kymijoen-Suomenlahden vesienhoitoalueella metsäojitusalueita koskevia nykykäytännön mukaisia perustoimenpiteitä ovat kunnostusojitusten vesiensuojelun perusrakenteet (kaivu- ja perkauskatkot, lietekuopat, laskeutusaltaat ja pintavalutuskentät) sekä metsätalouden eroosiohaittojen torjunta (pintavalutuskentät, kosteikot, pohja- ja putkipadot). Vuosina 2010–2015 perusrakenteita käytetään 56 000 ojitusaluehehtaarilla ja eroosiohaittojen torjumiseksi tehdään 460 vesiensuojelurakennetta.

Lisäksi on esitetty, että edellisiä täydentävinä lisätoimenpiteinä rakennettaisiin 290 vesiensuojelurakennetta eroosiohaittojen torjumiseksi ja 300 vesiensuojelurakennetta kunnostusojitusten vesiensuojelun tehostamiseksi. Edelleen tehostettua vesiensuojelun suunnittelua tulisi toteuttaa 28 000 hehtaarin alueella. Esitettyjen perustoimenpiteiden investoinnit ovat arvoltaan 2,3 milj. € ja lisätoimenpiteiden puolestaan 1,5 milj. €. Kemera-lain mukaiset tuet ovat keskeinen metsätalouden vesiensuojelua tukeva rahoitusjärjestelmä.

Edellä mainitussa alueellisessa vesienhoitosuunnitelmassa korostetaan entistä laadukkaampaa hanke- ja valuma-aluekohtaista suunnittelua. Kestävän metsätalouden rahoituslain mukaisia luonnonhoitohankkeita voidaan perustaa esimerkiksi ojitusten aiheuttamien haittojen vähentämiseksi eroosioherkillä kohteilla. Muita keskeisiä ohjauskeinoja ovat esimerkiksi pintavalutuskenttien ja kosteikkojen yleissuunnitelmat sekä alan toimijoiden jatkuva koulutus ja kunnostusojituksia ohjaavan lainsäädännön kehittäminen. (Yhteistyöllä parempaan vesienhoitoon 2009, 129–133.)

6.2 Ojakohtaiset vesiensuojelumenetelmät

Eroosiota ja kiintoainekuormitusta voidaan vähentää jättämällä ojiin kaivu- ja perkauskatkoja. Kaivukatkon tulisi yleensä olla vähintään 20 m:n mittainen. Perkauskatko voi olla tätä pidempi, mikäli ojan kaltevuus on veden virtauksen kannalta

riittävä. Yksittäisiin sarkaojiin voidaan myös kaivaa tilavuudeltaan 1–2 m³:n kokoisia lietekuoppia, jotka pidättävät raskaimpia kiintoaineshiukkasia. Lietekuoppia tehdään noin 100 m:n välein. Kaivamisen aikana eroosioherkän aineksen liikkeelle lähtöä voidaan vähentää havuista tehdyillä tilapäispadoilla.

Pienillä ojitusalueilla kokoojaojaa voidaan leventää ja syventää 10–100 m:n matkalla, jolloin ojaan kertyy liikkeelle lähtenyt kiintoainesta laskeutusaltaan tavoin. Kivistä tai muusta materiaalista rakennetut pohjapadot estävät ojan syöpymistä ja hidastavat veden virtausnopeutta. Pohjapatosarjat soveltuvat erityisesti kalteviin kohtiin, jolloin virtausnopeus hidastuu patojen välillä eroosion kannalta riittävän alhaiseksi. (Joensuu ym. 2007, 26–27.)

6.3 Laskeutusaltaat

Laskeutusaltaat pidättävät karkeaa kiintoainesta ja siihen sitoutuneita ravinteita. Laskeutusallasta ei pidä sijoittaa hienojakoisille maille tai eroosioherkkiin kohteisiin. Laskeutusallas mitoitetaan yläpuolisen valuma-alueen koon ja tulevan vesimäärän mukaisesti. Veden virtausnopeuden tulisi olla altaassa enintään 1 cm/s ja viipymän vähintään 1 tunti, jotta kiintoainesta ehtii laskeutua. Suositeltava allaspinta-ala on 3–8 m² / valuma-aluehehtaari, pintaleveys 5–7 m ja lietetilavuus 2–5 m³ / valuma-aluehehtaari. (Joensuu ym. 2007, 31–32.)

Joensuu, Ahti ja Vuollekoski (1999) tutkivat 37 eri laskeutusaltaan kiintoaineen pidätyskykyä kunnostusojitusta seuranneen kolmen vuoden aikana. Ensimmäisen vuoden aikana laskeutusaltaat vähensivät tulevan veden kiintoainepitoisuutta keskimäärin 18,3 %. Huomioitavaa kuitenkin on, että altaista vain 20 vähensi kiintoainepitoisuutta, loput toimivat nettokuormittajina. Mainittujen 20 altaan keskimääräinen kiintoaineen pidätysprosentti oli 28,4.

Tutkimuksessa havaittiin, että hienojakoisille maille, erityisesti savimaille, rakennettujen laskeutusaltaiden merkitys oli mitätön. Osa altaista oli myös mitoitustaan liian pieniä. Jotkut altaista puolestaan olivat aluksi tehottomia, koska niiden

reunat sortuivat. Altaan reunat tulisikin muotoilla loiviksi, jotta syöpyminen voitaisiin estää.

Osaan altaista lietettä oli kertynyt vain muutamia kuutiometrejä vuodessa. Jotkut altaista sen sijaan täytyivät osittain tai kokonaan jo yhdessä vuodessa. (Joensuu ym. 1999, 350–353.) Silverin, Joensuun ja Pakkalan (2009) tuoreen tutkimuksen mukaan laskeutusaltaita ei tarvitsisi systemaattisesti tyhjentää ennen seuraavaa kunnostusojitusta ja tällöinkin kosteikoiksi kehittyneet vanhat altaat tulisi säilyttää ja kaivaa uusi allas entisen yläpuolelle. Lounais-Suomessa sijainneista tutkituista 10–15 vuotta vanhoista laskeutusaltaista yksikään ei ollut välittömän tyhjennyksen tarpeessa ja noin kolmannes oli kehittynyt pienimuotoisiksi kosteikoiksi tai pintavalutuskentiksi. (Silver ym. 2009, 37.)

6.4 Pintavalutuskentät

Pintavalutuskentäksi soveltuu mikä tahansa tasainen alue, jossa veden virtausnopeus hidastuu, vesi leviää laajalle alueelle ja suodattuu kasvillisuuden peittämän pintamaakerroksen läpi. Pintavalutuskenttänä voi toimia esimerkiksi osa vanhasta ojitusalueesta, kunnostusojituskelvoton suon osa, luonnontilainen suo tai soistuva kivennäismaa. (Joensuu ym. 2008.) On kuitenkin muistettava, ettei pintavalutuskenttää tai muitakaan vesiensuojeluratkaisuja voi sijoittaa luonnontilaiselle suolle, jos kyseessä on metsälain 10 §:n tarkoittama erityisen arvokas elinympäristö (L. 12.12.1996 / 1094; L. 12.12.1996 / 1093).

Yleisesti suositellaan, että pintavalutuskentän koko tulisi olla vähintään 1 % yläpuolisen valuma-alueen pinta-alasta (Joensuu ym. 2007, 30). Muita tärkeitä toimituuteen vaikuttavia tekijöitä ovat hydrologinen kuormitus eli kentälle tuleva vesimäärä, virtausnopeus, oikovirtausten estäminen, turpeen maatuneisuus, kentällä oleva kasvillisuus sekä tehokas virtausala eli veden mahdollisimman tasainen jakautuminen pintavalutuskentälle (Heikkinen, Ihme & Lakso 1994; Puustinen ym. 2001; Ronkanen 2009).

Fosforin poiston tehokkuuteen vaikuttavat turpeen tai kivennäismaan rikastumiskerroksen rautapitoisuus sekä kemiallinen fosforinsitomiskyky ja happitilanne. Virtausvyvyys vaikuttaa siihen, syntykö veden ja pidätyskykyisen maa-aineksen välistä kontaktia. Turpeen fosforinpidätyskyvyssä on suurta vaihtelua, kivennäismaan rikastumiskerrokseen fosforia voi puolestaan pidättyä jopa useita satoja kiloja hehtaarille. Tyypeä poistuu lähinnä denitrifikaation ja nitrifikaation seurauksena. Tähän vaaditaan sekä hapellisia että hapettomia olosuhteita, joiden vaihtelua edistää esimerkiksi maanpinnan mättäisyys. (Heikkinen ym. 1994; Nieminen ym. 2008)

Pintavalutuskenttien ja erilaisten suojavyöhykkeiden toimivuudesta ravinteiden pidättäjinä on saatu vaihtelevia tuloksia. Joensuu ym. (2007, 28) toteavat, että hyvin toimiville pintavalutuskentille jää 70–90 % kiintoaineesta.

Silvan, Sallantaus, Vasander ja Laine (2005) osoittivat tutkimuksessaan, että perustettu turvemaasuojavyöhyke pidatti tehokkaasti sekä lisätyn nitraattitypen että fosfaattifosforin. Suojavyöhykkeen pinta-ala oli noin 0,5 ha (n. 15–25 % yläpuolisen valuma-alueen pinta-alasta). Alueen turvekerroksen paksuus oli yli 2 m. Suojavyöhykkeelle tulevaan veteen lisättiin kesä-heinäkuun aikana 1999 nitraattitypeä ja fosfaattifosforia siten, että määrä vastasi yhteensä 90 kg N/ha ja 30 kg P/ha. Ravinteiden pidättymistä seurattiin seuraavan kolmen vuoden ajan, ja kyseisellä jaksolla ainoastaan n. 0,5 % lisätystä nitraattitypestä ja n. 7 % lisätystä fosfaattifosforista huuhtoutui suojavyöhykkeeltä. (Silvan ym. 2005.)

Väänänen ym. (2008) tutkivat kuuden turvemaalle perustetun suojavyöhykkeen fosforinpidätyskykyä lisäyskokeen avulla. Suojavyöhykkeistä 3 oli luonnontilaisia soita ja 3 ojitettuja soita. Pinta-alat olivat 0,09–4,9 % yläpuolisen valuma-alueen pinta-alasta. Suojavyöhykkeille lisättiin kasvukauden eri aikoina fosfaattifosforiliuosta siten, että lisäys pinta-alayksikköä kohti oli 10–80 kg/ha.

Kaksi suurinta suojavyöhykettä pidatti 100 % lisätystä fosforista ja kolmanneksi suurin 94 %. Pienimmistä suojavyöhykkeistä kaksi pidatti 95 % ja kolmas 24 % lisätystä fosforista. Turpeen fosforinpidätyskyky oli alun perin kohtalainen kolmessa ja hyvä kahdessa kohteessa. Kokeen jälkeen fosforinpidätyskyky heikkeni kol-

messa ja säilyi muuttumattomana yhdessä kohteessa. Pidätystehokkuutta paransi alhainen hydrologinen kuormitus. Keväällä ja myöhäissyksyllä pidättyminen ei ollut yhtä tehokasta kuin kasvukauden muina ajankohtina.

Kuohattijärven valuma-alueella Pohjois-Karjalassa selvitettiin 13 pintavalutuskentän ravinteidenpidätyskykyä vuosina 1998–2001. Pintavalutuskenttien koot olivat 0,003–4,23 % yläpuolisen valuma-alueen koosta. Mediaanikoko oli 0,1 % ja ainoastaan kaksi kentistä oli suurempia kuin 1 % valuma-alueen koosta. Kentän suhteellisen koon ja pidätystehokkuuden välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota. Tyydyttäviä pidätysprosentteja todettiin kentillä, joiden pinta-ala oli yli 0,1 % yläpuolisen valuma-alueen koosta, mutta tyydyttävät tulokset rajoittuivat yksittäisiin havaintokertoihin.

Tutkittujen pintavalutuskenttien todettiin olevan keskimäärin liian pieniä. Vaikka virtaus oli aluksi jakautunut tasaisesti, oikovirtauksia saattoi muodostua jo vuoden kuluttua käyttöönnotosta. Suurin osa kohteista oli alun perin ollut mustikkaturvekan-kaita. Kolmen vuoden kuluessa kasvillisuus oli voimakkaasti muuttunut, esimerkiksi rehevyyttä ilmentävät korpikastikka- ja siniheinäkasvustot olivat runsastuneet. Rehevempien suotyyppien todettiin pidättävän fosforia karuja soita tehokkaammin. Puuston todettiin kärsineen vain yhdessä kohteessa, jossa vettä virtasi kohtalaisesti myös kesäisin. (Lyytikäinen, Vuori & Kotanen 2003.)

Vikman, Saari ja Väänänen (2009) toteavat, että ravinnelisäyskokeissa suuret pintavalutuskentät ovat pidättäneet tehokkaasti typpeä ja fosforia, mutta metsätaloustoimenpiteiden jälkeen ne ovat usein aiheuttaneet ravinteiden nettohuuhtoumaa. Lisäksi suuret ravinnepitoisuudet pidättyvät tehokkaammin kuin pienet, eikä syytä tähän toistaiseksi tunneta. Kuitenkin pintavalutuskentät vähentävät vesistöihin kulkeutuvaa kiintoainekuormitusta.

6.5 Kosteikot

Kosteikolla tarkoitetaan aluetta, joka sisältää syvänteen ja matalan veden osan. Kosteikko on runsaimman virtaaman aikana jopa veden peitossa ja muuna aikana se säilyy märkänä ja kosteana. Laskeutusaltaan ja pintavalutuskentän yhdistelmää voidaan pitää rakennettuna kosteikkona. Pintavalutuskenttä voi myös muuttua pienimuotoiseksi kosteikoksi (Joensuu ym. 2007, 28,33; Joensuu ym. 2008.) Kosteikon ja pintavalutuskentän välinen ero ei aina ole täysin yksiselitteinen. Asiantuntijoidenkaan näkemykset eivät välttämättä ole yhteneväisiä. Kirjallisuudessa saateetaan lisäksi puhua yleisesti suojavyyhykkeistä, jolloin kyseessä saattaa olla myös kosteikko tai pintavalutuskenttä.

Kosteikon pinta-alan tulisi olla vähintään 1–2 % yläpuolisen valuma-alueen pinta-alasta. Tavoitteena on mahdollisimman pitkä veden virtausreitti ja suositeltava pituuden ja leveyden suhde on 5:1. Kosteikossa on syviä avovesipintoja, matalan veden alueita, kannaksia ja saarekkeita. (Joensuu ym. 2007, 33.) Pintavalutuskentän tavoin tärkeimmät ravinteiden poistoon liittyvät prosessit ovat kiintoaineen sedimentoituminen, fosforin kemiallinen pidättäminen maa-ainekseen sekä typen poistuminen denitrifikaatiossa. Kasvillisuus lähinnä hidastaa virtausnopeutta ja toimii lisäksi kiintoaineen tarttumispintana. (Puustinen ym. 2001).

Pohjois-Suomessa sijaitsevan turvetuotantoalueen vesiä käsittelevän Kompassuon kosteikon todettiin pidättävän ravinteita tehokkaasti vielä 16 käyttövuoden jälkeen. Vuodelta 2002 raportoidut pidätysprosentit olivat kokonaistyyppi 52 %, ammoniumtyppi 94 %, nitraattityppi 57 %, kokonaisfosfori 47 %, fosfaattifosfori 47 % ja kiintoaine 31 %. (Heikkinen ym. 2006.)

Vuonna 1998 perustetun Etelä-Suomessa sijaitsevan Hovin kosteikon ravinteiden pidätystehokkuutta on seurattu aktiivisesti. Ravinteiden pidättäminen on ollut varsin tehokasta, eikä se ole kymmenessä vuodessa heikentynyt (taulukko 3). Viimeisin seurantajakso perustuu jatkuvatoimiseen ja automaattiseen näytteenottoon.

TAULUKKO 3. Ravinteiden pidättyminen Hovin kosteikolla kahdella eri seuranta-jaksolla (Koskiaho 2009).

	Kiintoa.	Kok-P	DRP	Kok-N	NO _x -N	NH ₄ -N	NO ₃ -N
5/99-4/00	68 %	62 %	27 %	36 %	35 %	20 %	
11/07-10/08	70 %	67 %	60 %				67 %

DRP=liuennut reaktiivinen fosfori

Hovin kosteikon tehokkuus perustuu riittävään pinta-alaan (5 % yläpuolisen valuma-alueen koosta) ja sijaintiin kuormituslähteen eli peltojen välittömässä läheisyydessä. Lisäksi kosteikon maaperän fosforinpidätyskyky on todettu erinomaiseksi ja kosteikkoon on myös kehittynyt kasvillisuutta, joka tehostaa ravinteiden pidättymistä. (Koskiaho 2009.)

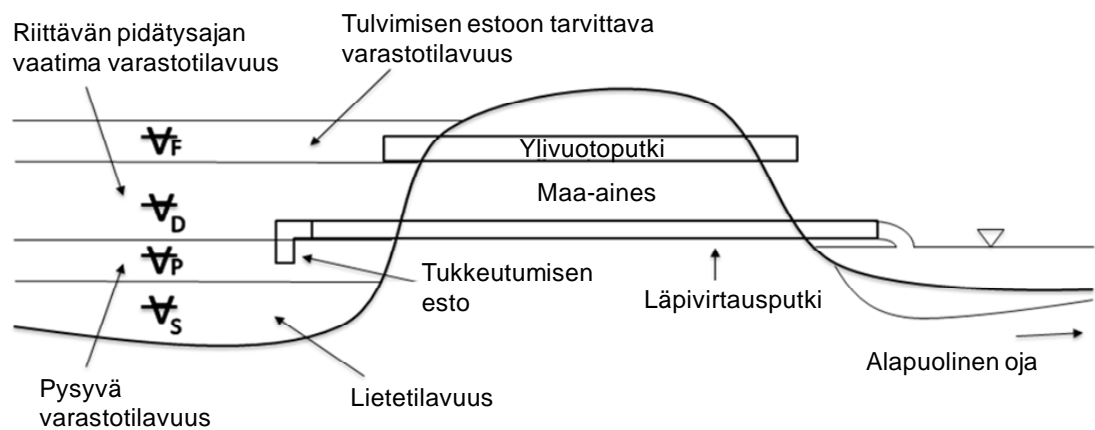
7 PUTKIPATO VESIENSUOJELURAKENTEENA

7.1 Periaate

Putkipato on Keski-Suomen metsäkeskuksen toteuttamien luonnonhoitohankkeiden yhteydessä kehitetty virtaamansäätörakenne. Putkipadon tarkoituksena on varastoida vettä ojitusalueelle väliaikaisesti tulvahuippujen aikana (kuvio 5). Virtaamien tasoittaminen pienentää veden virtausnopeutta yläpuolisessa ojaverkostossa, jolloin eroosioriski sekä kiintoaine- ja ravinnekuormitus vähenevät. Osa liikkeelle lähteneestä kiintoaineesta pidättyy padon etupuoliseen altaaseen. Myös padon alapuoliset virtaamat tasoittuvat.



KUVIO 5. Putkipadon padotusta ojitusalueella. Keväällä vettä varastoituu tilapäisesti yläpuolisiin ojiin. (Kuva: Juha Jämsén.)



KUVIO 6. Putkipadon periaatekuva (Marttila, Vuori, Hökkä, Jämsén & Kløve 2010).

Putkipadon rakenne on esitetty kuviossa 6. Padon yläpuolelle kaivetaan riittävän syvä allas, joka lisää pysyvää veden varastotilavuutta ja toimii pidättyvän kiintoaineen varastona. Altaan pohjan tulisi olla vähintään 70 cm läpimenoputken päätä syvemmällä.

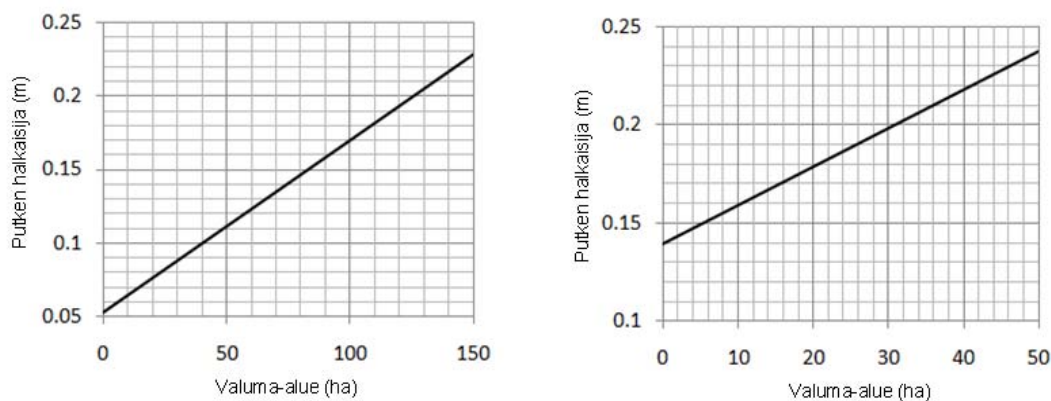
Läpimenoputkena käytetään vähintään 6 m:n mittaista halkaisijaltaan 200 mm:n muoviputkea. Padon mitoitus säädetään putken päähän liitettävän kulmayhteen avulla. Kulmayhde vähentää myös pintaroskien pääsyä putkeen ja estää siten putken tukkeutumisen. Padossa voi olla myös ylivuotoputki, mikäli padotus halutaan rajoittaa tiettyyn maksimikorkeuteen.

Pato rakennetaan kaivinkoneella paikalla olevasta maa-aineksesta kunnostusojituksen yhteydessä (kuvio 7). Pato tehdään ympäröivää maastoa korkeammaksi ja tiivistetään hyvin. Putkipadon rakentamiskustannus on noin 100–200 €. Kustannuksiin sisältyy putki ja kaivinkonetyö.



KUVIO 7. Putkipadon rakentaminen metsäojoaan. Kuva on otettu padon yläpuolelta. (Kuva: Juha Jämsén.)

Putkipadon mitoituksen lähtökohtana on padolle tulevan virtaaman määrä. Tulevan virtaaman määrään vaikuttaa ensisijaisesti yläpuolisen valuma-alueen koko. Putki mitoitetaan kulmayhteen avulla siten, ettei putki läpäise kokonaan keskimääräisiä keväisiä ja kesäisiä tulvahuippuja. Keski-Suomen olosuhteissa mitoitus voidaan tehdä kuvion 8 mukaisesti (Marttila ym. 2010).



KUVIO 8. Putkipadon ohjeellinen mitoitus. Vasemmanpuoleinen nomogrammi on tarkoitettu alueille, joilla on laaja ojitusalueen ulkopuolinen valuma-alue ja oikeanpuoleinen kohteille, jotka ovat kokonaan ojitusaluetta ja/tai joilla on rakenteen alapuolista padotusta. (Marttila ym. 2010.)

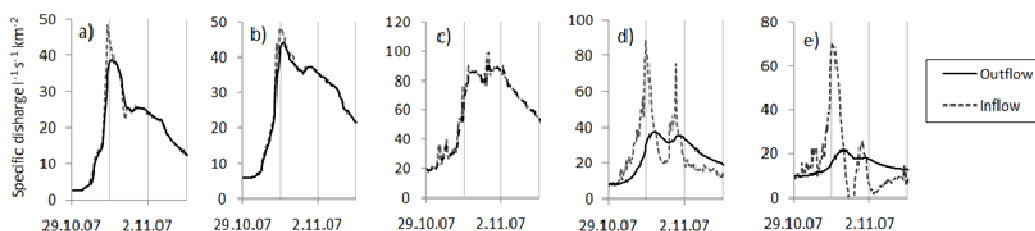
Putkipatoja voidaan rakentaa kohteisiin, joiden pituuskaltevuus on vähäinen. Tällöin padon yläpuolelle jää riittävästi varastotilavuutta. Hyviä sijoituspaikkoja ovat kokoojaojat, joissa esiintyy hetkellisiä valuntahuippuja. Kokoojaojiin laskevat sarkaojat lisäävät veden varastointitilavuutta. Putkipatojen avulla voidaan tehostaa myös padon alapuolisten vesiensuojelurakenteiden toimintaa. Virtaamien tasoittaminen ja pidemmät viipymäajat parantavat esimerkiksi pintavalutuskentän tai vesiensuojelukosteikon toimintaedellytyksiä. Samoin esimerkiksi padon yläpuolella olevien lietekuoppien toimintatehokkuus paranee.

7.2 Vesiensuojelulliset hyödyt

Seurantatutkimuksissa putkipatojen on havaittu leikkaavan huippuvirtaamia 10–91 % (Marttila ym. 2010; Marttila & Kløve 2010). Vähäiseen virtaamanleikkaamiseen on ollut syynä liian suuri putki tai esimerkiksi maaston kaltevuudesta aiheutuva

riittämätön varastotilavuus. Jos ojitusalue on pieni ja valuma-alueesta suuri osa on ojittamatonta aluetta, ei ojitusalueen varastotilavuus välttämättä ole myöskään riittävä. Esimerkkejä tulevista ja lähtevistä virtaamista on esitetty kuviossa 9.

Kolme vuotta kestäneen seurantajakson aikana tutkimuskohteissa ei ollut merkkejä eroosiosta. Yhdessä kohteessa (Kivisuo) oli selviä merkkejä eroosion estymisestä padotuksen seurauksena. Ennen padon rakentamista alapuolinen oja oli voimakkaasti syöpynyt, mutta padon rakentamisen jälkeen eroosiota ei enää havaittu. (Marttila ym. 2010.)

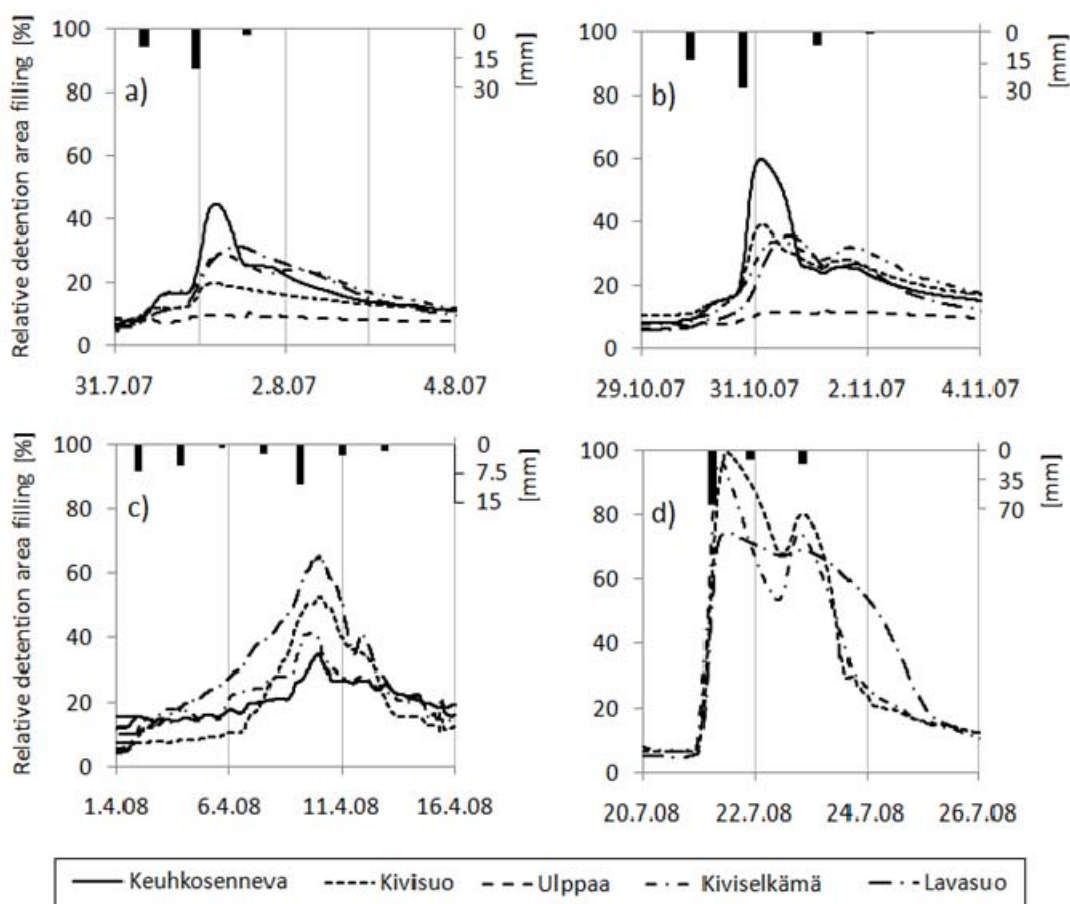


KUVIO 9. Mitattu lähtevä virtaama (outflow) ja laskennallinen tuleva virtaama (inflow) rankkasateen (sademäärä 47 mm) jälkeen myöhäissyksyllä 2007. a) Keuhkosenneva, b) Kivisuo, c) Ulppaa, d) Kiviselkämä ja e) Lavasuo (Marttila ym. 2010).

Marttilan ja Kløven (2010) mukaan padotuksen aiheuttama keskimääräinen kiintoainepoistuma on 86 %, kokonaisfosforin poistuma 67 % ja kokonaistypen poistuma 65 %. Suurin osa typestä ja fosforista on tutkituissa kohteissa ollut kiintoaineseen sitoutunutta. Ravinteita on pidättynyt eniten kesällä, mutta pidättymistä on kuitenkin havaittu kaikkina vuodenaikoina. Putkipato ei kykene tehokkaasti pidättämään liukoisia ravinteita eikä pienimpiä kiintoainehiukkasia, koska niiden laskeutumiseen tarvittava aika on pidempi kuin veden varastointiaika oja- ja padon osastossa.

Putkipato voi poistaa veden mukana kulkeutuvaa kiintoainetta perinteistä laskeutusalustasta tehokkaammin. Kiintoaineen sedimentaatio tehostuu vedenpinnan noustessa, sillä samalla sedimentoitumiseen käytettävissä oleva pinta-ala kasvaa. Tehokkain vesiensuojelullinen hyöty saavutetaan kuitenkin erilaisia vesiensuojelurakenteita yhdistelemällä. (Marttila & Kløve 2010.)

Padon yläpuolinen varastotilavuus voi täytyä äkillisen rankkasateen tai pitkään jatkuneiden sateiden jälkeen sekä keväällä lumien sulaessa. Keväällä maksimaalinen padotus on kestänyt enimmillään 10 päivää ja kesällä rankkasateen jälkeen enintään 2 päivää. Esimerkkejä varastotilavuuden täyttymisestä on esitetty kuviossa 10.



KUVIO 10. Varastotilavuuden suhteellinen täyttyminen (mitattu vedenpinnan korkeus suhteessa maksimaaliseen korkeuteen) rankkasateiden jälkeen (a, b ja d) ja kevättulvan aikana (c) (Marttila ym. 2010).

Veden johtuminen ojasta ympäröivään maaperään on hidasta, koska turpeen vedenjohtokyky on yleensä heikko ja veden varastointiaika ojassa suhteellisen lyhyt. Siten vettä varastoituu lähes pelkästään kuivatusojiin, mikäli vesi ei tulvi ojan ulkopuolelle. Tutkimuskohteissa veden tulviminen metsään estettiin rakentamalla pato riittävän matalaksi tai asentamalla siihen ylivuotoputki. Kolmen vuoden seuranta-

jakson aikana veden havaittiin tulvivan padon yli ainoastaan yhdessä kohteessa. (Marttila ym. 2010.)

Padotus ei nostanut pohjaveden pintaa läheisissä metsiköissä, joten metsiköiden kuivatustila ei heikentynyt. Juuristovyöhykkeeltä tapahtuvaa kaliumin huuhtoutumista ei myöskään havaittu. Ojan pohjalle sedimentoituneen kiintoaineksen uudelleen liikkeelle lähtemistä ei ollut osoitettavissa. (Marttila & Kløve 2010.)

8 MAAPERÄN VESI JA PUUSTON KASVU

8.1 Puusto ja pohjavesipinnan syvyys

8.1.1 Luonnontilaiset suot

Liiallinen märkyys haittaa puiden kasvua samoin kuin veden puute. Ravinteikas, liikkuva ja happipitoinen vesi kuitenkin mahdollistaa kasvun, joten seisova vesi on kasvun kannalta haitallisinta. Pohjavesipinnan syvyyden ja puuston tilavuuden välillä on käänteinen riippuvuus, jota on havainnollistettu esimerkiksi Oriveden Lakkasuolla. (Päivänen 2007, 99.)

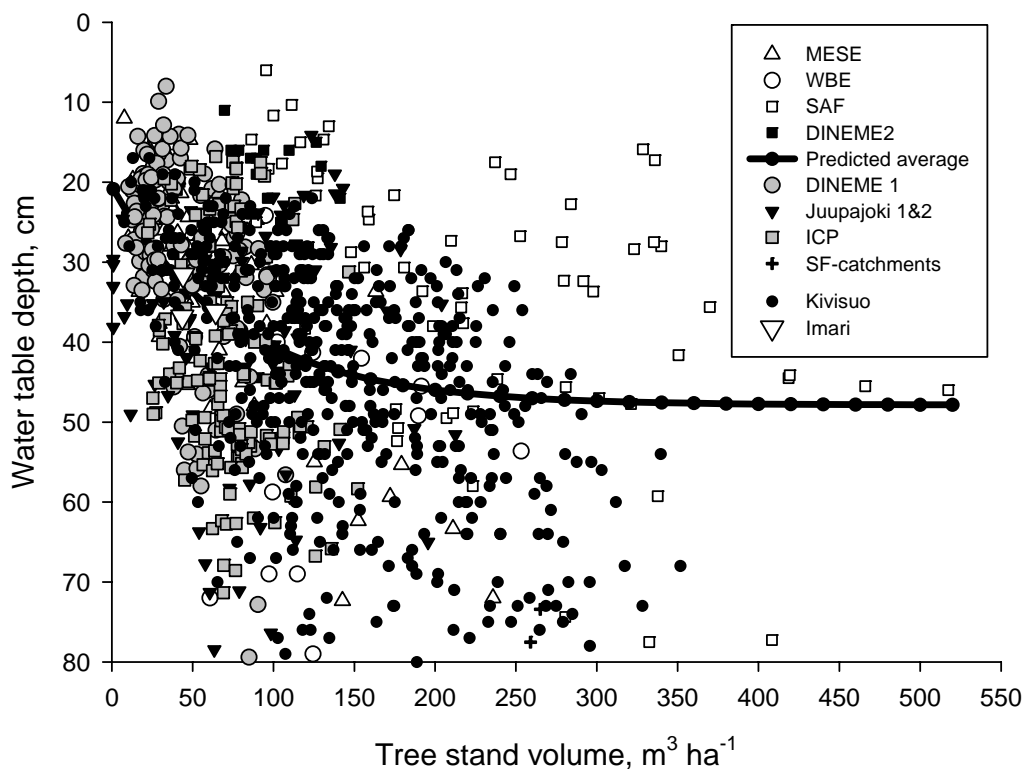
Verry (1997, 176) puolestaan on esittänyt kasvukauden aikaisen keskimääräisen pohjavesipinnan syvyyden ja suokasvillisuuden korkeuden välisiä riippuvuussuhteita. Hänen tarkastelussaan puusto voisi saavuttaa esimerkiksi 20 metrin valtiutuden, jos pohjavesipinnan syvyys olisi ainakin puolet kasvukaudesta vähintään noin 30 cm. Päiväsen (2007, 99) mukaan vedenpinnan tason yksiselitteistä vaikutusta puuston määrään tai kasvuun on kuitenkin hyvin vaikea osoittaa. Myös Verry (1997, 176) toteaa, että puuston pituuteen vaikuttavat muutkin tekijät kuten ravinteet ja lämpösumma. Hänen mukaansa 0–15 cm:n pohjavesipinnan syvyys on kuitenkin kriittisin ja muilla tekijöillä on vaikutusta puuston kasvuun vasta, kun pohjavesipinnan syvyys on tätä alhaisempi.

8.1.2 Ojitusalueet

Turpeen vedenpidätyskyvyn ja veden kapillaarisen nousun perusteella puuston kasvun kannalta optimaaliseksi kuivatussyvyudeksi on esitetty oligomesotrofiatason heikosti maatuneille turvemaille 40 cm (30–50 cm) ja eutrofisille hyvin maatuneille turvemaille 60 cm (50–70 cm) (Vompersky & Sirin 1997, 192–193). Suomessa sopivana kuivatussyvyytenä pidetään yleensä 35–55 cm pohjavesipinnan etäisyyttä maanpinnasta (Paavilainen & Päivänen 1995, 104).

Ojitusalueiden pohjavesipinnan syvyys vaihtelee voimakkaasti kasvukauden aikana. Keväällä lumien sulaessa pohjaveden pinta on korkealla. Kesän aikana pohjaveden pinta laskee valunnan ja biologisen kuivatuksen seurauksena. Biologisella kuivatuksella tarkoitetaan latvuspidäntää ja puuston vedenkäyttöä. Metsikön vartuneissa kehitysvaiheissa biologinen kuivatus vaikuttaa pohjavesipinnan syvyyteen enemmän kuin ojien tekninen kunto. Runsaspuustoisissa metsiköissä haihdunnan määrä lisääntyy ja sulkeutuneempi latvuskerros kykenee pidättämään suuremman osan sadevedestä.

Ojitettujen turvemaiden männiköitä koskevassa tutkimuksessa havaittiin, että loppukesällä ja syksyllä pohjaveden pinta aleni noin yhden senttimetrin, kun vuotuinen tilavuuskasvu lisääntyi 1 m³/ha tai kun puuston kokonaistilavuus lisääntyi 10–15 m³/ha. Aineisto sisälsi yhteensä 200 koealaa. (Ahti & Hökkä 2006.) Puuston määrän lisääntyminen voi alentaa pohjavesipinnan syvyyttä niin kauan, kun puuston kokonaistilavuus on alle 150–200 m³/ha (kuvio 11). Kesän aikana pohjavesipinnan tason voidaan ennustaa laskevan sitä enemmän, mitä runsaampi on kasvupaikan puusto. (Sarkkola ym. 2008, 2010.)



KUVIO 11. Pohjavesipinnan syvyys loppukesällä puuston keskimääräisen kokonaistilavuuden funktiona eri ojitusalueaineistoissa. Malli on laadittu olettaen keskimääräiset sää- ja kuivatusolosuhteet (sademäärä 75 mm/kk, ojasyvyys 50 cm) (Sarkkola ym. 2008, 2010).

Kun ojitusalueen kuivatusteho on riittävä, puuston määrä vaikuttaa pohjavesipinnan syvyyteen eikä päinvastoin. Siten pohjavesipinnan syvyyttä ei tulisi käyttää kasvun vaihteluita selittävänä tekijänä varttuneissa ojitusalueiden metsiköissä (Ahti & Hökkä 2006). Runsaspuustoisissa metsiköissä puiden vedenotto voi osittain korvata kunnostusojituksen tarvetta.

Sen sijaan niukkaravinteisilla kasvupaikoilla kasvu on hidasta ja puuston kehitys on siksi pidempään riippuvainen ojen kunnosta. (Ahti & Hökkä 2006.) Kuivatusojien kunnolla ja syvyydellä on huomattavaa merkitystä erityisesti metsikön nuorissa kehitysvaiheissa sekä Pohjois-Suomessa, missä haihdunta on vähäisempää. On myös huomattava, että puuston kokonaistilavuuden ja pohjavesipinnan syvyyden

välinen riippuvuus heikkenee, mikäli metsikön kasvu on heikentynyt esimerkiksi ravinnepuutoksen tai liiallisen tiheyden vuoksi. (Sarkkola ym. 2010.)

Kesällä pohjavesipinnan syvyys vaihtelee myös sateiden seurauksena. Normaalisateisina kesinä (keskimääräinen sademäärä 75 mm/kk) keskimääräinen pohjavesipinnan syvyys on usein enemmän kuin 40 cm, kun metsikön puuston kokonaistilavuus on yli 100 m³/ha (kuvio 11). Sateisina kesinä (sademäärä yli 80 mm/kk) pohjaveden pinta voi kuitenkin olla lähellä maanpintaa myös runsaspuustoisissa metsiköissä. Toisaalta puuston määrä vaikuttaa pohjavesipinnan syvyyteen myös erittäin runsassateisina kesinä (sademäärä yli 120 mm/kk). (Sarkkola ym. 2010.)

Turpeen ominaisuudet vaikuttavat veden liikkumiseen turvekerroksessa. Turpeen tiheyden lisääntyessä huokoisuus ja veden varastotilavuus pienenevät. Siten maatuneessa turpeessa pohjavesipinnan syvyys voi olla jopa yli 10 cm alempana kuin heikommin maatuneessa turpeessa, kun kasvupaikkojen puuston kokonaistilavuudet ovat yhtä suuret. Toisaalta turpeen vedenjohtokyky heikkenee tiheyden ja maatuneisuusasteen kasvaessa, minkä vuoksi voisi olettaa, että pohjavesipinnan taso olisi korkeammalla hyvin maatuneissa turpeissa. Pitkälle maatunutta turvetta kuitenkin esiintyy yleensä vanhoilla ojitusalueilla, joiden puusto on varttunutta. Tällöin haihdunta voi korvata heikommasta vedenjohtokyvystä aiheutuvat vaikutukset. (Sarkkola ym. 2010.)

Syksyllä runsaiden sateiden aikana pohjavesipinta jälleen nousee. Sääolosuhteiden vuoksi pohjavesipinnan syvyys vaihtelee myös eri vuosina. (Heikurainen 1967, 386.) Lisäksi pohjavesipinnan syvyys vaihtelee saran eri osissa, eikä yhdestä pisteestä mitattu pohjaveden korkeus useinkaan kuvaa tilannetta koko saran alueella.

Turvekerroksen anaerobisuusraja vaihtelee pohjavesipinnan syvyyden mukaan. Anaerobisuusraja on yleensä lähimpänä maanpintaa silloin, kun pohjaveden pinta on korkeimmillaan. Anaerobisuuden raja ei kuitenkaan välttämättä ole sama kuin pohjavesipinnan syvyys. Keskikesällä pohjaveden pinta saattaa olla jopa 10–30

cm alempana kuin anaerobisuuden raja. Alkukesällä ja syksyllä pohjaveden pinta voi puolestaan olla anaerobisuusrajan yläpuolella. Tätä selittää ainakin osittain se, että keväällä liikkeessä oleva ylivirtaama sisältää runsaammin happea, kun taas sadeveden mukanaan tuoma happi kuluu nopeasti loppuun. (Lähde 1969.) Lisäksi kylmä vesi voi sitoa enemmän happea kuin lämmin vesi, jolloin se on vähemmän haitallista (Glenz, Schlaepfer, Iorgulescu & Kienast 2006, 9).

8.2 Puiden juuristot ja pohjavesipinnan syvyys

Juurten kasvua tapahtuu kaikkina kasvukauden aikoina, mutta varsinkin männyllä juurten kasvu nopeutuu loppukesällä verson pituuskasvun päätyttyä. Hidas kasvu keskikesällä voi olla yhteydessä muiden elinten nopeaan kasvuun ja siitä aiheutuvaan yhteyttämistuotteiden puutteeseen. (Kellomäki 2005, 130.)

Rämemänniköiden juuristot ovat hyvin pinnallisia. Yleensä yli 90 % juurista on 0–10 cm:n syvyydessä (Paavilainen 1967; Heikurainen 1957). Heikuraisen (1957a) mukaan eläviä juuria tavataan vain poikkeustapauksissa 20 cm syvemältä. Paavilaisen (1967) mukaan yksittäisiä juuria sen sijaan saattaa esiintyä vielä 25–30 cm:n syvyydessä. Luonnontilaisten soiden rämemäntyjen pääjuuri on lisäksi yleensä kuollut tai kääntynyt pinnanmyötäiseksi jo puuyksilön alkukehityksen aikana (Päivänen 2007, 100).

Pohjavesipinnan syvyyden ja juuriston keskisyvyyden välillä on yhteys, mutta juuriston syveneminen kuivatuksen seurauksena on kuitenkin hyvin hidasta. Heikuraisen (1955) aineistossa noin 10 cm:n ero keskimääräisessä kasvukaudenaikaisessa pohjavesipinnan syvyydessä merkitsi noin 1 cm:n eroa juuriston keskisyvyydessä. Myös Vompersky ja Sirin (1997) toteavat, etteivät männyn juuret yllä 20–30 cm:ä syvemälle tehokkaasti kuivatetuilla oligotrofisilla rämeillä.

Turpeen liian pieni ilmatila on todennäköisesti yksi tärkeimmistä rämemännikön juuriston pinnallisuuteen vaikuttavista tekijöistä. Myös biologinen aktiivisuus ja ravinteiden saatavuus heikkenevät tästä syystä. (Paavilainen 1967.) Juuristo tulee

happitalouden kannalta toimeen noin 1–5 vrk, kun pohjavesi peittää kokonaan juuriston aktiivisen ravinteita ottavan osan (Tuononen, Vähäsöyrinki & Österlund 1982, 76). Paavilainen (1967) havaitsi tutkimuksessaan, että turpeen ilmatila oli yli 15 cm:n syvyydessä alle 10 %, ja tätä syvemältä löytyi vain yksittäisiä männyn juuria. Hänen mukaansa pohjavesipinnan alentaminen 10 cm:llä lisäsi turpeen ilmatilaa 0–30 cm:n kerroksessa 3,8–6,8 %. Vähintään 10 %:n ilmatilaa pidetään edelleen edellytyksenä turvemaapuustojen juuriston kasvulle. Raja-arvo on kuitenkin toistaiseksi sopimuksenvarainen, koska asiaa ei ole riittävästi tutkittu. (Päivänen 2007, 65; 67.)

8.3 Männyn ja kuusen vedenkestävyys

Yleisesti tulvan vahingollisuuteen vaikuttavat tulvan toistuvuus, kesto, ajoittuminen, vesipinnan syvyys ja vedenlaatu (liikkuvuus ja happipitoisuus) sekä puulaji, puuston ikä ja yksilölliset ominaisuudet (Glenz ym. 2006; Kozlowski 1984, 133; Tuononen ym. 1981, 108). Puut vahingoittuvat yleensä sitä herkemmin, mitä harvemmin tulvia esiintyy. Säännölliset, vuosittain toistuvat kevättulvat eivät sen sijaan näytä saavan aikaan tuhoja. (Tuononen ym. 1981, 108, 110). Luonnossa myös pohjaveden pinta on keväällä ja alkukesällä yleensä korkealla (Pelkonen 1975; Ahti & Hökkä 2006). Toisaalta Glenz ym. (2006, 9) esittävät, että usein toistuvat tulvat heikentävät puiden vedenkestävyyttä, koska puusto ei välttämättä ehdi toipua edellisen tulvan aiheuttamista vaurioista.

Jos kyseessä on maanpinnan peittävä tulva, ei vesikatteen syvyydellä ole kovin suurta merkitystä, ellei puun lehvästö peity veden alle. Vahingot ovat sitä vakavampia, mitä suurempi osa latvuksesta peittyy veteen. Siten kookkaammat puut ovat kestävämpiä kuin pienemmät. (Glenz ym. 2006, 8.) Kokeissa, joissa pohjaveden pintaa pidettiin pysyvästi säännösteltynä, ainoastaan 10 cm:n pohjavesipinnan syvyys näytti olevan selvästi liian vähäinen männyn kasvun kannalta. Tällöin myös männyn pituuskasvu päättyi selvästi aiemmin kuin niillä koeruuduilla, joilla kuivaussyvyys oli 50 tai 70 cm. (Paarlahti 1984, 54.) Samalla koealueella Paavilainen (1966) havaitsi, että kuusen juurien kokonaismäärä oli vähentynyt 3 vuoden aika-

na, kun pohjaveden pinta pidettiin pysyvästi 10 cm:n etäisyydellä maanpinnasta. Hieskoivulla vastaavaa ei havaittu.

Kokeissa, joissa pohjaveden pintaa on pidetty keinotekoisesti nostettuna eripituisia ajanjaksoja eri vuodenaikoina, on selvitetty männyn ympärysmitan kasvua panta-mittausmenetelmällä. Nostettuna olevan pohjaveden pinta oli keskimäärin noin 10 cm:n etäisyydellä maanpinnasta. Kokeiden perusteella heinä-elokuussa pitkähkön ajan korkealla oleva pohjavesi vaikuttaa männyn kasvuun erittäin haitallisesti. Myös myöhemmin syksyllä pitkän aikaa nostettuna oleva pohjaveden pinta näytti lievästi heikentäneen männyn kasvua. (Pelkonen 1975.)

Tuononen ym. (1981) toteavat rantamaiden puustoja koskevassa tutkimuksessaan, että puiden vedenkestävyys on heikointa elo-syyskuussa ja se paranee huomattavasti loka-marraskuuhun mennessä. Heidän mukaansa elo-syyskuussa sattuva vähintään 2 viikkoa kestävä yhtenäinen vesikate tai korkea pohjavesipinta heikentää männyn kasvua. Samoin kesäkuukausien aikana mänty kärsii yli kuu-kauden ja kuusi jo parin viikon mittaisista vesikatteista. Glenzin ym. (2006, 7) mukaan männyn kuolemista ei ole havaittu, kun tulvan kesto on ollut enintään noin kolmannes kasvukaudesta. Tulvan ajankohtaa ei ole kuitenkaan yksilöity.

Loppukesään ajoittuva heikko vedenkestävyys liittyy vilkkaasti kasvavien juurten hengitykseen ja suureen hapentarpeeseen (Päivänen 2007, 101). Lämpötilan ollessa korkealla myös mikrobitoiminta on aktiivista. Loppukesällä aluskasvillisuuden kuoleminen vähentää ravinnepilpailua ja lisää hajotustoimintaa. Hajotustoiminnan tuloksena ravinteiden saatavuus paranee, mutta samalla hapen kulutus lisääntyy merkittävästi. (Pelkonen 1975; Päivänen 2007, 101; Tuononen ym. 1981, 76.)

Puiden ravinteiden otto alkaa jo huhtikuun puolivälissä ja kevättulvat voivat nopeuttaa maan sulamista ja siten aikaistaa ravinteiden ottoa. Alkukesän voimakkaan kasvun ja liiallisen kuivuuden ansiosta ravinteiden otto saattaa häiriintyä, joten tulvavesien tilapäinen varastoituminen voi jopa parantaa kasvuedellytyksiä. Tulvavesi voi myös kuljettaa mukanaan käyttökelpoisia ravinteita. Säännöllinen

huhti-toukokuussa toistuva tulva voikin olla puustolle jopa hyödyllinen. (Tuononen ym. 1981, 120.)

Pelkosen (1975) mukaan talvella ja keväällä korkealla oleva pohjaveden pinta ei vaikuttanut männyn kasvuun negatiivisesti. Keväällä tulvavesien pitäisi purkautua ojitusalueelta viimeistään kesäkuun puolivälin tienoilla. Männyn kasvu heikkenee, jos pohjaveden pinta pidetään nostettuna kevästä heinäkuulle asti. Männyn pituuskasvun on myös havaittu käynnistyvän sitä myöhemmin, mitä lähempänä maanpintaa pohjavesipinnan taso on (Päivänen 2007, 100). Tuonosen ym. (1981) mukaan yhtäjaksoinen vesikate heikentää kuusen kasvua, jos se kestää kesäkuun puolelle. Kozlowski (1984, 156) toteaa, että usein tulvan aiheuttamaa puiden kuolemista edeltää hyvin nopean kasvun vaihe.

Mänty kestää vesikatetta kuusta paremmin. Männyn nuoret yksilöt (noin 20-vuotiaat) kestävät tulvia heikommin kuin vanhemmat (yli 40-vuotiaat). (Tuononen ym. 1981, 112.) Puiden taimet voivat lisäksi peittyä veteen, huuhtoutua tulvan mukaan tai hautautua veden mukanaan kuljettamaan lietteeseen (Kozlowski 1984, 138).

8.4 Anaerobisuuden vaikutuksia

Tulvasta tai pohjavesipinnan noususta aiheutuva kasvun väheneminen on monimutkainen fysiologinen prosessi, eikä toistaiseksi ole yksimielistä selvyyttä siitä, onko ilmiön pääasiallinen aiheuttaja hapenpuute, liika hiilidioksidi, myrkyllisten yhdisteiden syntyminen hapettomissa olosuhteissa vai puiden hormonitasapainon järkkäminen (Kozlowski 1982, 151; Päivänen 2007, 101). Joidenkin tutkimusten perusteella hapen puute on haitallisempaa kuin liika hiilidioksidi, mutta myös päinvastaisia väittämiä on esitetty.

Hapettomissa olosuhteissa muodostuvat pelkistyneet yhdisteet sekä anaerobisen mikrobitoiminnan sivutuotteet voivat olla puille myrkyllisiä. Tällaisia ovat esimerkiksi pelkistyneet rauta- ja mangaaniyhdisteet, sulfidit, fenolihapot, haihtuvat rasva-

hapot ja etyleeni. Kyseiset yhdisteet voivat esimerkiksi haitata juurten kasvua sekä rajoittaa ravinteiden ottoa tai entsyymitoimintaa. Vähähappisessa maaperässä on havaittu etyleenin tuotannon lisääntymistä. Etyleeni puolestaan aiheuttaa mm. lehtien ennen aikaista irtoamista ja vanhenemista sekä korkkihuokosten liikakasvua.

Liiallisen märkyuden ja siitä aiheutuvan vähähappisuuden on todettu vaikuttavan auksiinien, gibberelliinien ja sytokiniinien pitoisuuksiin sekä niiden suhteellisiin määriin juurissa ja versoissa. On myös arveltu, että abskissihappopitoisuuden lisääntyminen voi aiheuttaa ilmarakojen sulkeutumista.

Tulvan ja vähähappisuuden seurauksena ilmarat sulkeutuvat, minkä johdosta yhteyttäminen vähenee. Yhteyttämisen vähenemiseen vaikuttavat myös lehtivihreäpitoisuuden väheneminen, lehtien varhainen vanheneminen ja irtoaminen sekä lehtien kasvun heikkeneminen.

Hapettomissa olosuhteissa juurten vedenläpäisykyky lisääntyy ja lopulta vaurioituneiden juurten vedenottokyky heikkenee. Juuriston rappeutuminen ja heikentynyt kasvu johtaa myös ravinteiden oton vähenemiseen. Lisäksi suurin osa mykorritsoista on aerobisia, joten anaerobisuus vähentää myös mykorritsojen aktiivisuutta ja sitä kautta tapahtuvaa ravinteiden ottoa. (Kozłowski 1982, 148; 151–152.) Tilapäisen kevättulvan ei kuitenkaan havaittu muuttaneen eräitä ekto- ja endomykorritsapopulaatioita. Vakavasti vaurioituneet juuret joutuvat helposti sieni-invaasion kohteeksi, koska juuria lahottavat sienet tulevat toimeen vähähappisissa olosuhteissa. (Kozłowski 1984, 146; 150.)

Tulvavesi saattaa huuhtoa mukaansa ravinteita kuten typpeä, kaliumia ja kalsiumia. Typpeä voi poistua myös denitrifikaatiossa. Hapettomissa olosuhteissa saostuneita fosforiyhdisteitä vapautuu lisäksi liukoiseen muotoon. Mahdollisen huuhtoutumisen ohella nämä ovat myös kasvien saatavilla. Myös rautayhdisteitä vapautuu, mutta nämä voivat olla kasveille haitallisia hapettomissa olosuhteissa. (Kozłowski 1982, 148.)

8.5 Puuston morfologisia sopeutumismekanismeja

Kuusi voi muodostaa myöhäisjuuria ja mänty puolestaan korkkihuokosia ja aerenkyy- eli tuuletussolukkoa kärsiessään liiallisesta märkyydestä (Glenz ym. 2006, 4). Alkuperäisten juurten kuollessa uusia juuria muodostuu joko olemassa olevaan juuristoon, vedenalaiseen rungon osaan tai näihin molempiin. Uudet juuret ovat usein entistä paksumpia ja ne ovat paremmin sopeutuneet vähähappisiin olosuhteisiin.

Runkoon tai juuriin kehittyvien korkkihuokosten kautta voi tapahtua kaasujenvaihtoa. Korkkihuokosten kautta voi kulkeutua veteen liuennutta happea ja niiden kautta saattaa myös poistua anaerobisen aineenvaihdunnan tuloksena syntyneitä haitallisia yhdisteitä. (Glenz ym. 2006, 4–5; Kozlowski 1984, 146; 154–155.) Havupuut sietävät anaerobisia olosuhteita lehtipuita heikommin osittain sen vuoksi, että niiden putkisolut eivät kykene kuljettamaan liuennutta happea lehtipuiden siiviläsolujen tapaan. Esimerkiksi koivut voivat siirtää happea versojen kautta juuristoon. (Huikari 1954, 13; Tuononen ym. 1981, 96.) Aerenkyymsolukot ovat solujenvälisiä ilmatiloja, joiden kautta voi tapahtua hapen kulkeutumista kohti juuria (Glenz ym. 2006, 4).

9 TEHTÄVÄNASETTELU

Putkipatoja on rakennettu vuodesta 2000 lähtien. Useiden luonnonhoito- ja tutkimushankkeiden yhteydessä on kokeiltu ja kehitetty padon rakennetta ja seurattu virtaamansäätörakenteen toimivuutta. Lisäksi on seurattu patorakenteiden vaikutusta virtaamiin sekä ravinteiden ja kiintoaineksen poiston tehokkuuteen.

Putkipatomenetelmän käytöstä turvemaiden metsätalouden vesiensuojelussa on saatu hyviä kokemuksia. Pohjavesipinnan syvyyttä metsämaalla on seurattu patorakenteiden läheisyydessä. Lisäksi on selvitetty padotuksen aiheuttamaa mahdollista ravinteiden huuhtoutumista turvemaan juuristokerroksesta. Toistaiseksi ei ole havaittu puuston kasvun kannalta haitallisia merkkejä kasvukauden aikaisesta

pohjavesipinnan noususta tai ravinteiden huuhtoutumisesta. Myöskään näkyviä puustovaurioita ei ole esiintynyt. (Marttila 2010; Marttila & Kløve 2010).

Tavoitteena on, että putkipatomenetelmä vakiinnuttaa asemansa metsätaloudessa yleisesti käytettyjen vesiensuojelumenetelmien joukossa. Menetelmän käyttö ei kuitenkaan saa heikentää kohteiden kasvukaudenaikaista kuivatustilaa eikä siten vaarantaa niiden metsänkasvatuskelpoisuutta. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa selvitetään koealainventointien avulla, onko tilapäinen valumavesien varastoiminen ojitusalueella vaikuttanut puuston tilavuuskasvuun.

10 AINEISTO JA MENETELMÄT

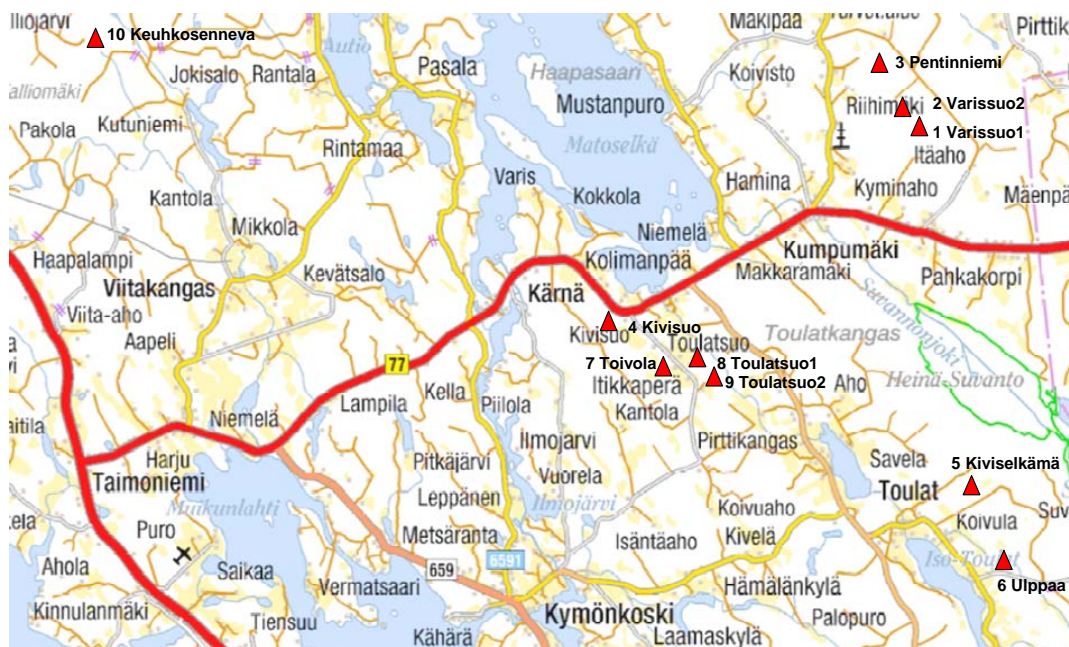
10.1 Tutkimuksen periaate

Tutkimuksessa käytettiin kalibrointiaika-vertailualuemenetelmää. Menetelmässä verrataan keskenään lähekkäin sijaitsevia alueita, joiden tulisi erota toisistaan vain tutkittavan toimenpiteen suhteen. (Päivänen 2007, 109–110.) Tutkittavalle suureelle eli puuston keskimääräiselle tilavuuskasvulle määritettiin todellinen havaintosarja tutkittavan toimenpiteen eli padon rakentamisen jälkeen 5 vuoden pituiselta seurantaajaksolta. Vastaavasti määritettiin vastinhavaintosarja toimenpidettä edeltäneeltä 5 vuoden kalibrointijaksolta. Menetelmän avulla voitiin eliminoida toimenpide- ja vertailualueiden väliset erot puuston tilavuudessa toimenpidehetkellä sekä puuston kasvussa ennen toimenpidettä.

10.2 Tutkimuskohteet

Tutkimuskohteiksi valittiin 10 mäntyvaltaista metsikköä Viitasaarelta pohjoisesta Keski-Suomesta (kuvio 12). Metsiköt valittiin ja koealakeskipisteiden paikat merkittiin keväällä 2008. Keskipisteeseen laitettiin pohjavesiputki ja kohteen koordinaatit tallennettiin gps:llä. Kussakin metsikössä toimenpidealue (koeala 1) valittiin mah-

dollisimman läheltä putkipatoa ja vertailualue (koeala 2) vähintään 50 metrin etäisyydeltä edellisestä - alueelta, johon padotuksen vaikutuksen ei oletettu ulottuvan. Tutkimuskohteiksi valittiin sellaisia metsiköitä, joissa putkipato oli syksyyn 2009 mennessä ollut käytössä vähintään viisi kasvukautta.



KUVIO 12. Tutkimusmetsiköiden sijainti Viitasaarella pohjoisessa Keski-Suomessa.

Jokaisessa metsikössä koealat 1 ja 2 pyrittiin valitsemaan siten, että puuston kehitysluokka ja puulajisuhteet sekä sarkaleveys ja turvekerroksen paksuus olisivat keskenään mahdollisimman yhdenmukaiset. Kasvupaikka määritettiin turvekan-gastyypinä ja sen tuli olla sama molemmilla koealoilla. Koealojen ei kuitenkaan välttämättä tarvinnut sijaita samalla metsikkökuviolla.

10.3 Aineiston kerääminen

10.3.1 Koealojen inventointi

Koealojen inventoinnissa sovellettiin Metlan SINKA-ohjetta (Penttilä & Honkanen 1986). Tutkimusaineisto kerättiin 28.8–15.9.2009. Koealalta 41 jouduttiin kuitenkin hakemaan 6 uutta lustonäytettä 12.11.2009 alkuperäisten näytteiden katoamisen vuoksi.

Mahdollisia myöhempiä tutkimuksia varten jokaiselle koealalle merkittiin maalimerkki harvennuksessa jäävän puun tyvelle. Suunta maalimerkistä koealan keskipisteeseen määritettiin astelevyllä, jonka suuntaamiseen käytettiin bussolia. Etäisyys puolestaan määritettiin Vertex-mittalaitteella.

Kultakin koealalta mitattiin turvekerroksen paksuus ja mahdollinen liekoisuus viidestä eri pisteestä. Mittaukset tehtiin turverassilla koealan keskipisteessä ja lisäksi kussakin pääilmansuunnassa noin 5 metrin etäisyydellä keskipisteestä. Mikäli mittauskohdassa oli liekopuuta, kirjattiin liekosyvyys ja mitattiin turvekerroksen paksuus uudelleen edellisen mittauskohdan vierestä.

Turvenäytteet otettiin turvekairalla kuudesta eri pisteestä. Näytteet otettiin keskipisteen kahdelta eri puolelta noin 1 metrin etäisyydellä keskipisteestä ja lisäksi kaikissa pääilmansuunnissa noin 5 metrin etäisyydellä keskipisteestä. Näytteen pinnasta poistettiin elävä vihreä sammal tai muu kasvillisuus. 0–10 cm:n ja 10–20 cm:n kerrokset otettiin talteen. Kultakin koealalta kaikki 0–10 cm:n kerrokset ja vastaavasti 10–20 cm:n kerrokset yhdistettiin yhdeksi kokoomänäytteeksi. Turvenäytteet säilytettiin viileässä.

Kummankin sarkaojan suunta ja etäisyys koealan keskipisteestä määritettiin pisteessä, joka sijaitsi silmämääräisesti 90 °:een kulmassa koealan keskipisteeseen nähden. Suunta määritettiin astelevyllä ja etäisyys Vertexillä. Samassa kohdassa mitattiin ojan syvyys ja pintaleveys SINKA-ohjeen mukaisesti sekä kirjattiin ojan

kunto ja ensisijaiset kuntoa heikentävät tekijät. Ojan kaltevuus arvioitiin silmämääräisesti.

Metsikkö- ja koealatiedot kirjattiin Metlan SINKA-ohjetta käyttäen. Kullekin koealalle määritettiin kaksi sädettä. Säde 1 (lukupuusäde) valittiin siten, että mukaan saatiin vähintään 30 puuta, joiden rinnankorkeusläpimitta ($d_{1.3}$) oli vähintään 45 mm. Säde 2 (koeuusäde) puolestaan saatiin SINKA-ohjeen taulukosta edellisen perusteella. Koealan suurin ($d_{1.3}$) puu oli myös aina koepuu.

Lukupuut numeroitiin ja jokaisen puun suunta ja etäisyys koealan keskipisteestä kirjattiin muistiin. Suunta määritettiin astelevyllä ja etäisyys Vertexillä. Kaikista lukuista kirjattiin puulaji, latvuskerros ja rinnankorkeusläpimitta ($d_{1.3}$). Rinnankorkeusläpimitta mitattiin mittasaksilla 1 mm:n tarkkuudella lukuun suuntaluvun suuntaisesti eli siten, että mittasaksien varsi osoitti koealan keskipisteeseen. Rinnankorkeudelle tehtiin raapaisumerkki myöhempiä mittauksia varten.

Koepuista mitattiin lisäksi pituus (h), latvusraja, viimeisen viiden vuoden pituuskasvu (ih_5) ja yläläpimitta ($d_{6.0}$) sekä arvioitiin mahdollisen ensisijaisen tuhon syy ja ilmiäsu. Yläläpimitta mitattiin vain puista, joiden pituus oli vähintään 9 m. Pituudet mitattiin Vertexillä ja yläläpimitta kaulaimella. Lisäksi koepuista kairattiin lustonäytteet rinnankorkeudelta, mikäli kyseessä oli vallitsevaan latvuskerrokseen kuuluva havupuu. Lustonäytteet säilytettiin muoviin pakattuina viileässä.

Jokaiselta koealalta tuli saada vähintään 10 sellaista koepuuta, joista voitiin kairata lustonäytteet kasvun laskentaa varten. SINKA-ohjeen taulukon mukaiselta koealasäteeltä ei kaikilla koealoilla löytynyt riittävästi kairattavia koepuita, jolloin tarpeellinen määrä lisäkoepuita valittiin lukupuusäteeltä. Lisäkoepuut valittiin sellaisista läpimittaluokista, joita koepuusäteellä ei esiintynyt.

10.3.2 Pohjavesipinnan syvyys

Toimenpidealueiden eli kaikkien 1-koalojen keskipisteissä mitattiin pohjavesipinnan syvyyttä pohjavesiputkien ja jatkuvatoimisten TruTrac-pinnankorkeusantureiden avulla. Havaintoja pohjaveden korkeudesta kerättiin vuosina 2008–2009 ja muutamassa kohteessa lisäksi syksyllä 2007.

10.3.3 Muut taustatiedot

Koalakeskipisteiden ja putkipatojen korkeusasemat määritettiin vaaitsemalla syksyllä 2009. Padon harjan korkeusasemana käytettiin padon alinta kohtaa. Vaaituksen suoritti Suomen Salaojakeskus Oy, joka samalla määritteli koalakeskipisteiden ja patojen tarkat sijaintikoordinaatit. Metsikössä numero 6 padon korkeusaseman mittausta oli epähuomiossa suoritettu väärällä padolla. Metsikössä numero 10 vaaitusta ei suoritettu. Tämän vuoksi kyseisissä metsiköissä käytettiin myös aiempia Suomen Salaojakeskus Oy:n vuonna 2007 määrittämiä korkeusasematietoja.

Koalojen väliset etäisyydet mitattiin peruskartalta ArcMap-ohjelmaa käyttäen. Putkipatojen rakentamisajankohdat, kohteiden ojitukset ja toteutetut lannoitukset selvitettiin Keski-Suomen metsäkeskuksen asiakirjoista. Kaikkien metsiköiden alkuperäisiä ojitusajankohtia ei saatu selville.

10.4 Aineiston käsittely

Mitattujen puustotunnusten perusteella laskettiin kullekin koelalle runkoluku (N, kpl/ha), pohjapinta-ala (G, m²/ha), keskiläpimitta (DW, cm), mediaaniläpimitta (DMD, cm), valtapuiden läpimitta (D00, cm), valtapituus (H00, m), tilavuus (V, m³/ha) sekä tukki-, kuitu- ja hukkapuun tilavuus (m³/ha) vuoden 2009 kasvukauden lopussa. Laskenta tehtiin Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetyllä KPL-laskentaohjelmistolla (Heinonen 1994) Rovaniemen toimintayksikössä.

Tilavuuskasvun laskentaa varten lustonäytteistä mitattiin koepuiden vuotuiset sädekasvut 0,01 mm:n tarkkuudella mittausvuodesta ytimeen tai vähintään 10 kasvukautta taaksepäin. Mittaukset tehtiin lustomikroskoopilla Metlan Parkanon toimintayksikössä. Metsikkökoealojen tilavuuskasvut laskettiin viiden vuoden jaksolta putkipadon käyttöönoton jälkeen ja vastaavasti padon käyttöönottoa edeltäneeltä viiden vuoden jaksolta. Jos pato oli ollut käytössä kasvukaudesta 2004 lähtien, määritettiin kasvut jaksoilta 1999–2003 ja 2004–2008. Mikäli käyttöönotto vuosi oli 2005, olivat vastaavat laskentajaksot 2000–2004 ja 2005–2009. Keskimääräinen kasvu saatiin käyttämällä viisivuotisjakson keskiarvoa. Koealoittaisten jaksoittaisen kasvujen perusteella määritettiin puuston tilavuus padon rakennusvuonna (kasvu-kauden alussa) sekä viisi vuotta aiemmin.

Koealakohtaiset turvekerroksen paksuudet saatiin laskemalla keskiarvot mittaustuloksista. Turvenäytteet esikäsiteltiin Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen toimintayksikön laboratoriossa analyysimenetelmän ROLMA01 mukaisesti. Näytteistä määritettiin tuoremassa, turvelaji ja maatumisaste, minkä jälkeen näytteet kuivatettiin 50 °C:ssa. Kuivatuista näytteistä määritettiin kuivamassa ja tiheys (g/ml). Kuivatut näytteet seulottiin ja seulonnan jälkeen punnittiin näytteen sisältämän puuaineksen ja juurten massa.

Esikäsiteltyjen turvenäytteiden ravinnepitoisuudet analysoitiin Metsäntutkimuslaitoksen keskuslaboratoriossa Vantaalla. Näytteistä määritettiin typen (N, % kuiva-aineessa), fosforin (P, mg/kg) ja kaliumin (K, mg/kg) pitoisuudet. Typpipitoisuuden testausmenetelmä oli standardin ISO 13878 mukainen. Näytteet kuivatuhkittiin analyysimenetelmän KLAMA30 mukaisesti. Ravinteet määritettiin kuivatuhkitetuista näytteistä ICP-emissiospektrometrillä (analyysimenetelmä KLAMA32). Näytteistä analysoitiin myös muita pää- ja hivenravinteita, mutta niitä ei huomioitu tässä tutkimuksessa.

Pohjaveden syvyyden havaintoaineistosta laskettiin keskimääräiset pohjavesipinnan syvyydet heinä- ja elokuussa 2009 kullakin toimenpidealueella (1-koealat). Ylimmän 0–10 ja 10–20 cm turvekerroksen ravinnepitoisuudet yhdistettiin ja niille laskettiin koealakohtaiset keskiarvot.

10.5 Aineiston tilastollinen analysointi

Tulosten tilastollinen käsittely tehtiin SPSS-ohjelmalla (SPSS Statistics 17 for Windows). Padotuksen vaikutusta puuston keskimääräiseen tilavuuskasvuun testattiin kovarianssianalyysillä, jossa selitettävänä muuttujana oli keskimääräinen tilavuuskasvu ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{v}$) 5 vuoden jaksolla padon rakentamisen jälkeen (I_{V5ka}) ja selittävänä muuttujana koealan sijainti padon suhteen (sijainti). Kovariaatteina käytettiin keskimääräistä tilavuuskasvua ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{v}$) 5 vuoden jaksolla ennen padon rakentamista (kalibrointijakso) (I_{V5kb}) sekä puuston kokonaistilavuutta (m^3/ha) padon rakentamisen hetkellä (V_0). Tilastollinen malli voidaan esittää seuraavasti:

$$y = \mu + \text{sijainti} + V_0 + I_{V5kb} + e$$

Yhtälössä y = 5 vuoden keskimääräinen tilavuuskasvu padon rakentamisen jälkeen, μ = yleiskeskisarvo, sijainti = koealan sijainti padon vieressä tai kauempana (luokkamuuttuja 1 tai 2), V_0 = puuston kokonaistilavuus padon rakentamisen hetkellä, I_{V5kb} = 5 vuoden keskimääräinen tilavuuskasvu ennen padon rakentamista ja e = mallin virhetermi.

Turpeen keskimääräiset ravinnepitoisuudet puolestaan testattiin kahden riippumattoman otoksen t-testillä. Testattavana nollahypoteesina oli oletus, että koealan sijainti padon suhteen ei ole vaikuttanut puuston keskimääräiseen tilavuuskasvuun padon rakentamisen jälkeisellä viiden vuoden jaksolla eivätkä ylimmän 0-20 cm turvekerroksen pääravinteiden keskimääräiset pitoisuudet poikkeaisi toisistaan toimenpide- ja vertailukoealoilla.

11 TULOKSET

11.1 Kohteiden taustatiedot

Putkipadon rakentamisen ajankohta eri metsiköissä sekä metsikkökohtaiset ojitus- ja lannoitustiedot on esitetty taulukossa 4. Tammikuussa 2006 toteutetuissa tuhkalannoituksissa käytettiin Äänevoima Oy:n lentotuhkaa (P 17,6 kg/t, K 21 kg/t, Ca 160 kg/t, Mg 15 kg/t) (Viljavuuspalvelu Oy 2004).

TAULUKKO 4. Putkipatojen rakentamisen ajankohdat, tiedossa olevat ojitukset sekä toteutetut tuhkalannoitukset eri tutkimusmetsiköissä.

Metsikön nro	Pato rakennettu	Viimeisin kunnostusojitus	Aiemmat ojitukset	Tuhkalannoitus talvi 2005-06
1	2005	2001-02		6 t/ha
2	2005	2001-02		
3	2004	2001-02		
4	2004	1991-1992 / 2004 ⁽¹⁾	1968	
5	2004	2001-02		5 t/ha
6	2004	2004		
7	2004	2004 ⁽²⁾	1987, 1938	
8	2004	2004	1938	
9	2004	⁽³⁾	1968	
10	2005	2004		

⁽¹⁾ 2004 perattu ainoastaan padon yläpuolinen oja

⁽²⁾ 2004 perattu ainoastaan kokoojaoja

⁽³⁾ ei kunnostusojitusta padon rakentamisen yhteydessä; koealaa 1 käytetään myös pintavalutuskenttänä

Koealojen väliset etäisyydet ja korkeuserot sekä padon harjan ja vastaavan koealan 1 väliset korkeuserot on esitetty taulukossa 5. Koealakeskipisteiden ja patojen tarkat sijaintitiedot ja korkeusasemat (mpy) ovat liitteessä 1 (taulukko 7). Esimerkkikartta koealojen ja putkipadon sijainnista metsikössä 1 on esitetty kuviossa 13. Kaikkien tutkimusmetsiköiden kartat ovat liitteessä 2 (kuviot 24–33).

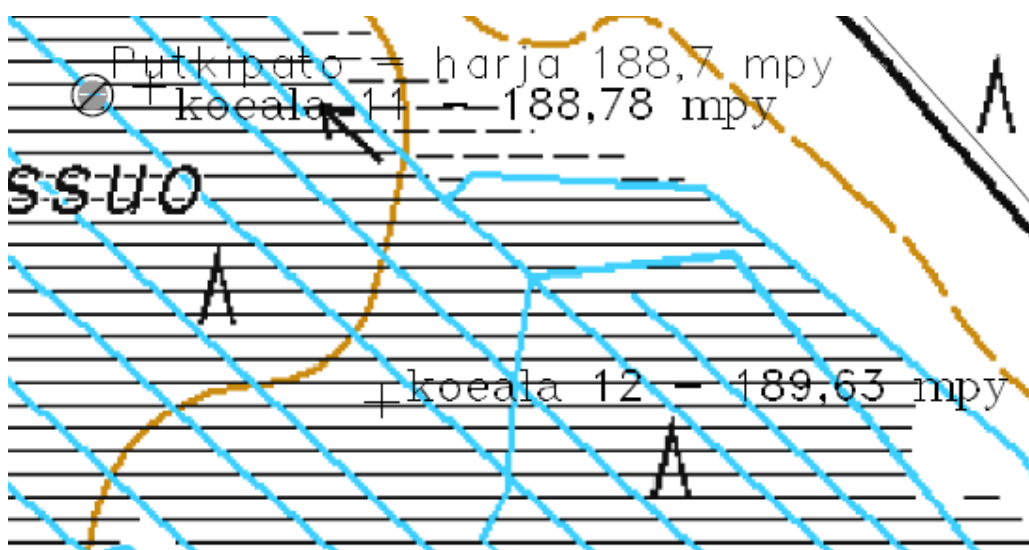
TAULUKKO 5. Koealojen väliset korkeuserot ja etäisyydet sekä putkipadon korkeusasema suhteessa toimenpidealueeseen eri tutkimusmetsiköissä.

Metsikön nro	Korkeusero (m) padon harja - koeala 1	Korkeusero (m) koeala 1 - koeala 2	Etäisyys (m) koeala 1 - koeala 2
1	-0,08	-0,85	243
2	-0,34	-0,15	72
3	-0,29	-0,44	69
4	-0,08	-0,07	67
5	+0,23	-0,11	299
6	-0,06 ⁽¹⁾	-1,23	151
7	-0,37	-0,08	132
8	-0,38	-0,21	106
9	-0,20	-0,29	75
10	-0,15 ⁽²⁾	-	74

⁽¹⁾ Padon harjan korkeusaseman määrittäminen Suomen Salaojakeskus Oy v. 2007

⁽²⁾ Suomen Salaojakeskus Oy v. 2007 likimääräinen arvio; korkeusaseman määrittämyspiste ei ole tarkasti koealan 1 keskipisteessä

Muut korkeusasemat Suomen Salaojakeskus Oy v. 2009



KUVIO 13. Putkipadon sekä koealojen 1 ja 2 sijainnit ja korkeusasemat metsikössä 1 (Varissuo 1).

Taulukon 5 mukaisesti padon harjan ja toimenpidealueen (koeala 1) välinen korkeusero on enintään 0,2 m metsiköissä 1, 4, 6, 9 ja 10. Kyseisissä kohteissa pohjaveden pinta voisi teoriassa nousta padotuksen vaikutuksesta korkeammalle kuin

20 cm:n etäisyydelle maanpinnasta. Metsikössä 5 padon harja on koealan 1 maanpintaa korkeammalla, jolloin vesi voisi teoriassa tulvia metsään. Muissa metsiköissä ei ole todennäköistä, että padotus voisi edes teoriassa aiheuttaa pohjavesipinnan kohoamisen korkeammalle kuin 30 cm:n etäisyydelle maanpinnasta.

Metsiköissä 1, 2, 3, 6, 8 ja 9 koealojen 1 ja 2 välinen korkeusero on vähintään 0,15 m (taulukko 5), jolloin voidaan olettaa, ettei padotuksen vaikutus voi ulottua vertailukoealoille. Lisäksi metsiköissä 5 ja 7 koealojen välinen etäisyys on niin suuri, että vertailukoealat ovat padotuksen vaikutusalueen ulkopuolella. Teoriassa padotuksen vaikutus saattaisi yltää myös vertailukoealalle metsikössä 4, jossa korkeuserot ovat hyvin vähäiset. Kyseisen kohteen putkipadossa on kuitenkin melko suuri putki (250 mm), eikä pohjavesi ole ollut erityisen korkealla myöskään toimenpidealueella (liite 4, taulukko 10).

Koealakohtaiset turvekerroksen paksuudet sekä turvelajit, turpeen maatuneisuudet ja keskimääräiset pääravinteiden pitoisuudet ovat liitteessä 3 (taulukot 8 ja 9). Kaikki tutkimusmetsiköt määriteltiin kuivatusasteeltaan muuttumiksi. Kaikissa tapauksissa metsikön pääpuulaji oli mänty ja metsiköt olivat varttuneita kasvatusmetsiä. Kaikkien metsiköiden laatu määriteltiin tyydyttäväksi. Metsikkökohtaiset turvekangastyypit sekä koealakohtaiset puustotunnukset on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Koealojen kasvupaikka- ja puustotiedot (G = pohjapinta-ala m²/ha, DMD = mediaanilämpimitta cm, V = kokonaistilavuus m³/ha) kasvukauden lopussa 2009.

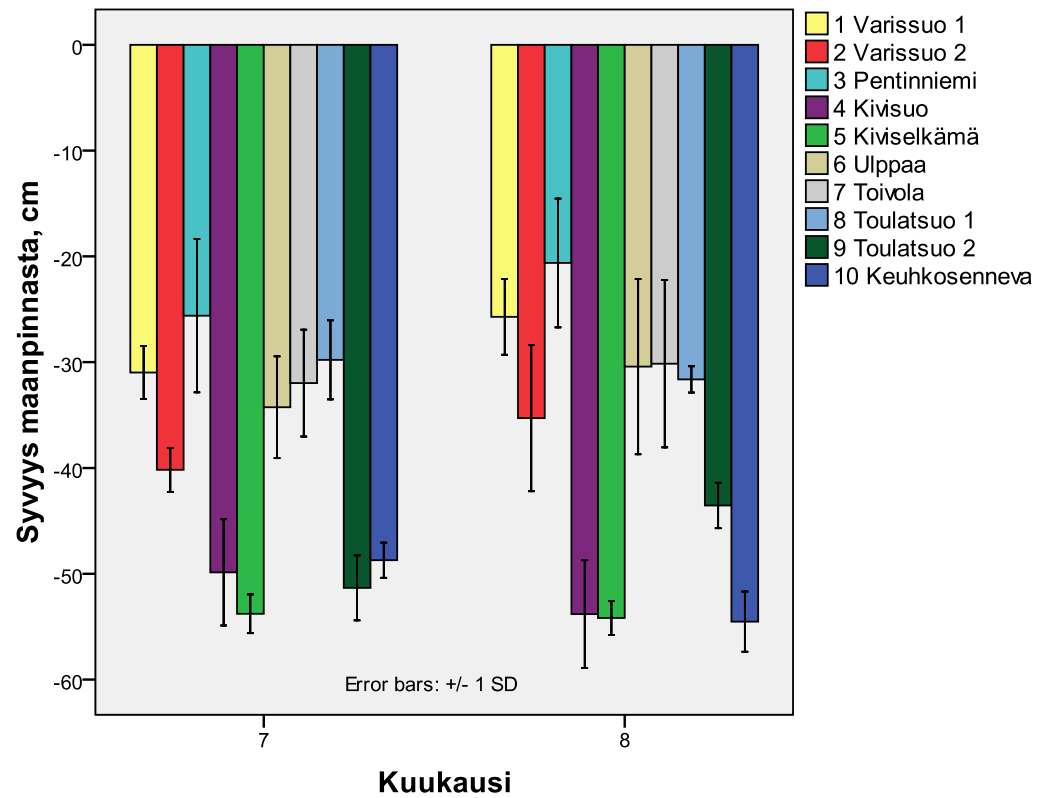
Koeala	Turvekangastyyppi	G	DMD	V
11	Vatkg	14	19	92
12		14	19	81
21	Ptkg II	17	25	127
22		16	23	133
31	Ptkg II	18	18	103
32		14	17	91
41	Ptkg II	14	20	103
42		22	20	151
51	Ptkg II	16	24	126
52		19	23	149
61	Ptkg II	20	17	119
62		13	17	74
71	Mtkg II	15	24	115
72		15	23	111
81	Mtkg II	19	28	158
82		21	21	149
91	Rhtkg	18	17	110
92		15	16	102
101	Mtkg II	14	20	85
102		18	17	110

Metsiköt 4, 9 ja 10 olivat todennäköisesti istutettuja, muut ovat luontaisesti syntyneitä. Koealakohtaiset sarkaleveydet sekä sarkaojien kunto on esitetty liitteessä 3 (taulukko 10). Tavallisimpia ojien kuntoa heikentäviä tekijöitä olivat ruohot, heinät ja rahkaisuus. Joissakin kohteissa oli lisäksi havaittavissa ojien liettymistä, syöpmistä tai vesakoitumista.

11.2 Pohjavesipinnan syvyys

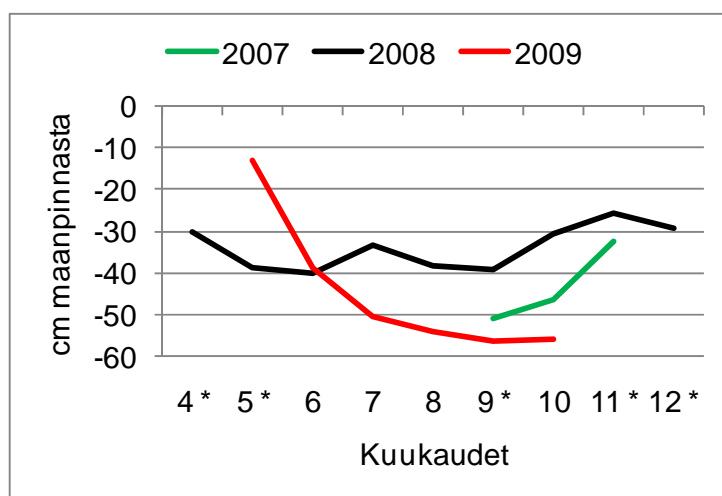
Pohjavesipinnan keskimääräiset syvyudet toimenpidealueilla (1-koealat) loppukesällä 2009 on esitetty kuviossa 14. Sen perusteella riittävä kasvukauden aikainen kuivatussyvyys näyttää toteutuneen lähes kaikissa kohteissa. Suurten korke-

userojen vuoksi padotus ei ole syytä siihen, että pohjavesipinnan keskimääräinen syvyys metsikoissä 1 ja 3 on ollut alle 30 cm maanpinnasta.

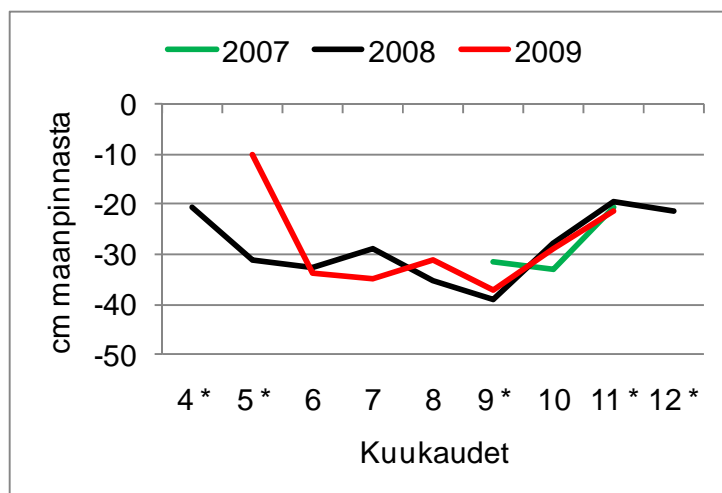


KUVIO 14. Pohjavesipinnan keskimääräinen syvyys 1-koelaloilla heinä-elokuussa 2009.

Pohjavesipinnan syvyys vaihtelee vuosittain mm. sateiden vaikutuksesta. Myös puuston määrä vaikuttaa pohjavesipinnan syvyyteen. Kuvioissa 15 ja 16 on esitetty esimerkkejä pohjaveden korkeuden vuosittaisesta vaihtelusta tutkimuskohteissa. Esimerkiksi sään aiheuttamaa vaihtelua on mahdollisesti enemmän kohteissa, joissa maaston korkeuserot ovat vähäiset (kuvio 16). Yksittäisiä tuloksia ei kuitenkaan voida yleistää. Yhteenveto havaituista keskimääräisistä pohjaveden korkeuksista on liitteessä 4 (taulukko 11).



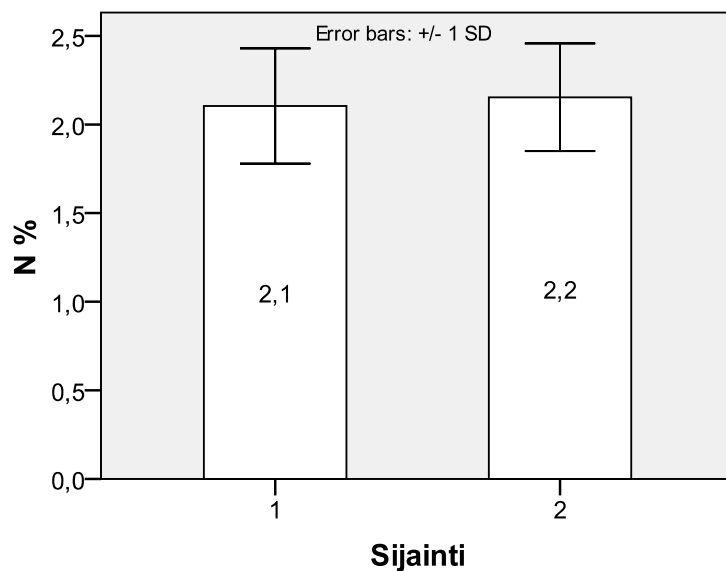
KUVIO 15. Pohjavesipinnan syvyyden vaihtelu metsikössä 4 (Kivisuo), koeala 41. Tähdellä merkityt kuukaudet sisältävät epätäydellisiä mittausjaksoja.



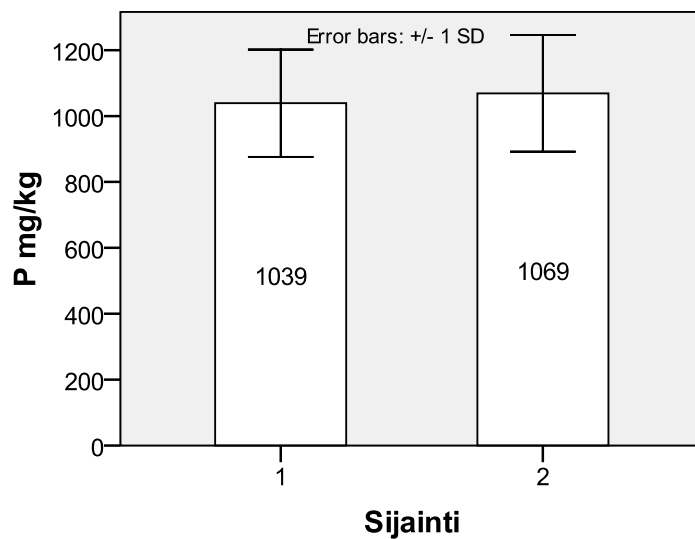
KUVIO 16. Pohjavesipinnan syvyyden vaihtelu metsikössä 6 (Ulppaa), koeala 61. Tähdellä merkityt kuukaudet sisältävät epätäydellisiä mittausjaksoja.

11.3 Turpeen ravinteet

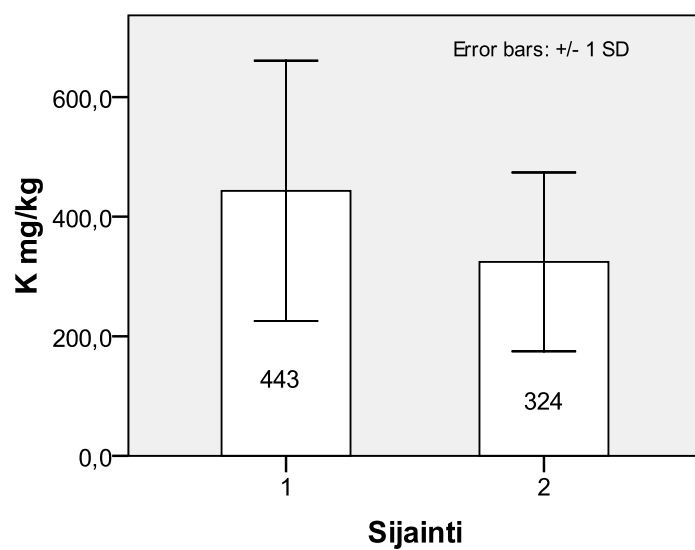
Turpeen keskimääräiset ravinnepitoisuudet on esitetty kuvioissa 17–19. Pääravin- teiden (N, P ja K) osalta toimenpide- ja vertailukoealojen ravinnepitoisuudet eivät poikenneet toisistaan. Kaikilla koealoilla ylimmän 0–20 cm turvekerroksen typpi- toisuus oli vähintään 1,5 % kuivamassasta.



KUVIO 17. Ylimmän turvekerroksen (0–20 cm) keskimääräiset typpipitoisuudet (% kuivamassasta) (N = 10, p = 0,732) toimenpide- ja vertailukoealoilla.



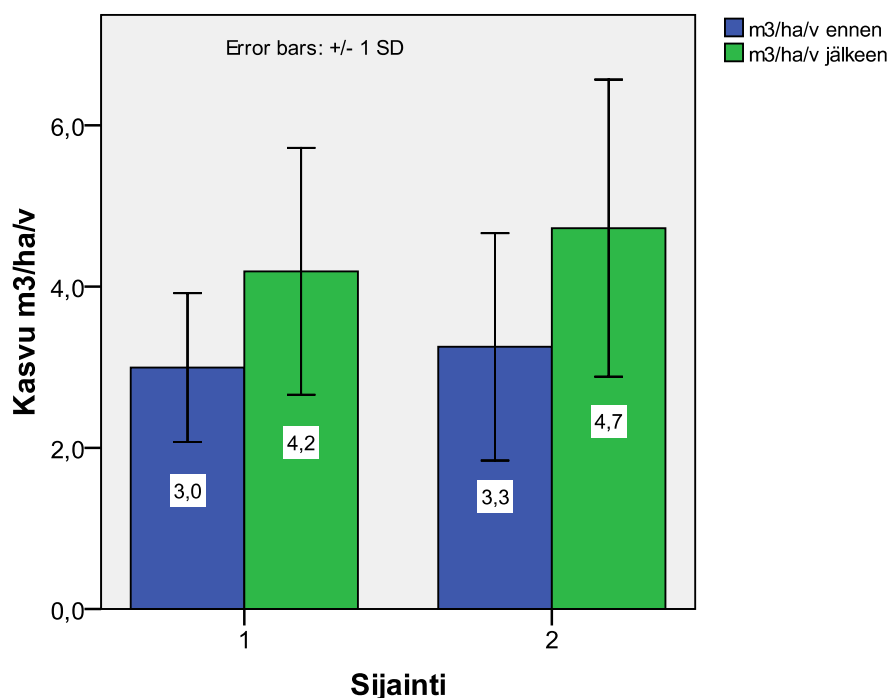
KUVIO 18. Ylimmän turvekerroksen (0–20 cm) keskimääräiset fosforipitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta) (N = 10, p = 0,698) toimenpide- ja vertailukoaloilla.



KUVIO 19. Ylimmän turvekerroksen (0–20 cm) keskimääräiset kaliumpitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta) (N = 10, p = 0,172) toimenpide- ja vertailukoaloilla.

11.4 Puuston tilavuuskasvu

Puuston keskimääräinen tilavuuskasvu oli toimenpidekoealoilla $4,2 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ ja vertailukoealoilla $4,7 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ padon rakentamista seuranneella viiden vuoden havaintojaksolla (kuvio 20). Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,588$). Myös kalibrointijakson keskimääräiset kasvut poikkesivat toisistaan samansuuntaisesti (kuvio 20).



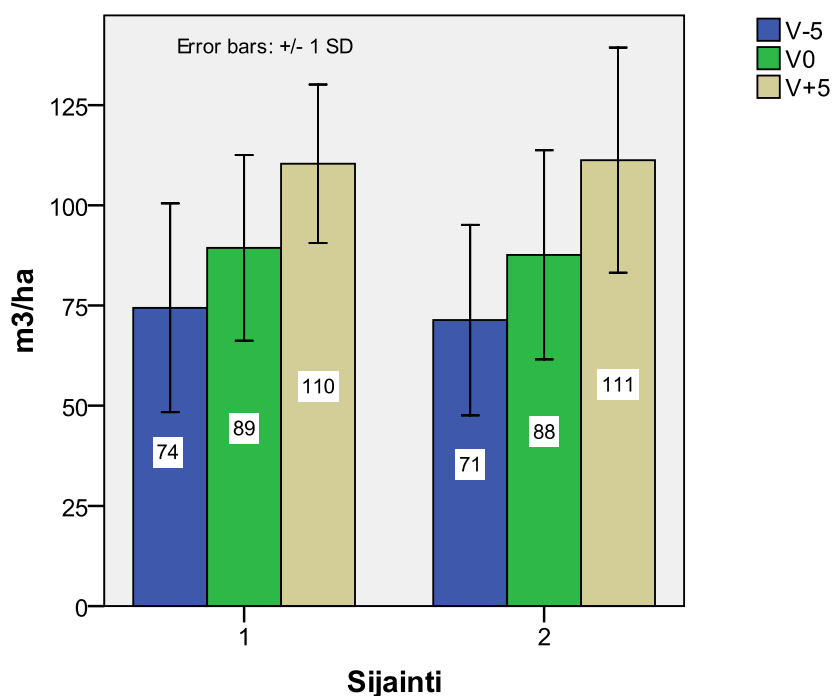
KUVIO 20. Puuston keskimääräinen tilavuuskasvu ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{v}$) toimenpide- (sijainti 1) ja vertailukoealoilla (sijainti 2) viiden vuoden havaintojaksoilla ennen ja jälkeen putkipadon rakentamisen. Kuviossa on esitetty keskihajonnat.

Tilastollisen mallin arvioimien kovariaateilla korjattujen keskiarvojen välinen ero on pienempi kuin havaittujen keskiarvojen. Mallissa kovariaatteina olivat keskimääräinen tilavuuskasvu viiden vuoden jaksolla ennen padon rakentamista (I_{V5kb}) ja puuston kokonaistilavuus padon rakentamisen hetkellä (V_0). Malli määritteli kovariaateille seuraavat arvot:

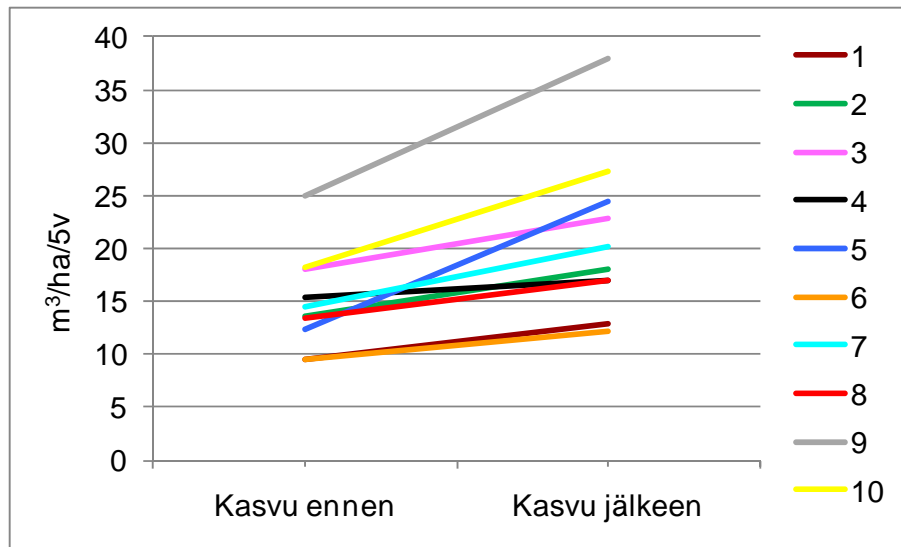
$$I_{V5kb} = 3,1 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v} \text{ ja } V_0 = 88,5 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Mallin arvioima korjattu keskimääräinen tilavuuskasvu oli toimenpidekoealoilla $4,4 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ ja vertailukoealoilla $4,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ padon rakentamisen jälkeisellä viiden vuoden jaksolla.

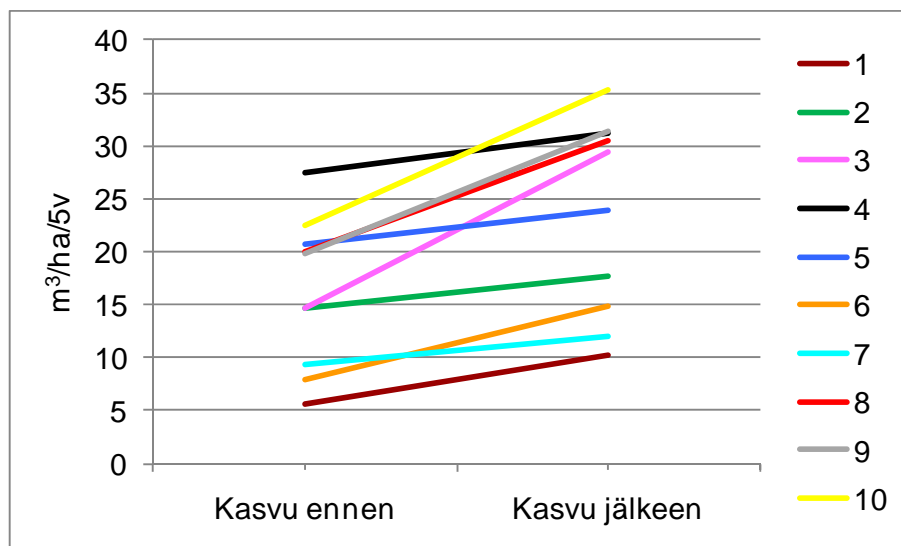
Puuston keskimääräiset kokonaistilavuudet (m^3/ha) olivat toimenpide- ja vertailukoealoilla lähes samat sekä kalibrointi- että havaintojaksoilla (kuvio 21). Koealakohtaiset erot tilavuuskasvussa olivat kuitenkin suuria. Aineiston hajontaa on havainnollistettu kuvioissa 22 ja 23.



KUVIO 21. Puuston keskimääräisen kokonaistilavuuden (m^3/ha) kehitys kalibrointi- ja havaintojaksojen aikana toimenpide- (sijainti 1) ja vertailukoealoilla (sijainti 2). Kuviossa on esitetty keskihajonnat. V-5 = tilavuus (m^3/ha) 5 vuotta ennen padon rakentamista, V0 = tilavuus (m^3/ha) padon rakentamishetkellä, V+5 = tilavuus (m^3/ha) 5 vuotta padon rakentamisen jälkeen.



KUVIO 22. Viiden vuoden kalibrointi- ja havaintojaksojen kokonaiskasvut ($\text{m}^3/\text{ha}/5\text{v}$) ennen ja jälkeen putkipadon rakentamisen tutkimusmetsiköiden toimenpidekoealoilla.



KUVIO 23. Viiden vuoden kalibrointi- ja havaintojaksojen kokonaiskasvut ($\text{m}^3/\text{ha}/5\text{v}$) ennen ja jälkeen putkipadon rakentamisen tutkimusmetsiköiden vertailukoealoilla.

12 TULOSEN TARKASTELU

12.1 Tulosten luotettavuus

Koalojen inventointiin osallistui kerrallaan 4–5 henkilöä, joista 2 oli mukana jokaisella kerralla. Loput vuorottelivat eri päivinä. Metsäntutkimuslaitos järjesti alussa koulutuksen, johon kaikki inventoinnissa mukana olleet osallistuivat. Tehtävät jaettiin siten, että kukin huolehti lähes poikkeuksetta samoista tehtävistä koko inventointijakson ajan. Sillä tavoin muodostui rutiini, jonka ansiosta työskentely sujui erittäin hyvin. Kaikki inventointiin osallistuneet olivat myös varsin motivoituneita tehtävään.

Useiden eri henkilöiden osallistuminen inventointiin sekä vähäinen aiempi kokemus metsänmittauksesta on voinut aiheuttaa pientä mittausvirhettä. Tämä ei kuitenkaan vaikuta tutkimuksen tärkeimpään tulokseen, sillä tilavuuskasvut mitattiin kairatuista lustonäytteistä lustomikroskoopilla ja mittauksen suoritti Metsäntutkimuslaitoksen kokenut asiantuntija. Lisäksi puustotunnusten laskennan yhteydessä puustomittausten loogisuus tarkistettiin, eikä virheitä löytynyt.

Mitattuja puustotunnuksia käytettiin puuston kokonaistilavuuksien laskentaan. Vertexin käytöstä kenelläkään ei ollut aiempaa kokemusta. Alkuvaiheessa laitteen väärät asetukset aiheuttivat mittausvirhettä, mutta virhe huomattiin mittaustilanteessa ja virheelliset mittaukset korjattiin uusintamittauksilla. Myöhemmin laitteen kalibroinnista ja mittaustuloksen oikeellisuuden tarkistamisesta huolehdittiin päivittäin. Ojien kunto arvioitiin silmämääräisesti ja arviointiin voi vaikuttaa arvioijien vaihtuminen ja arvioijan henkilökohtainen näkemys. Arvioinnit on kuitenkin tehty annettujen ohjeiden mukaisesti.

12.2 Koejärjestelyn onnistuminen

Maksimaalista padotusta ja padotuksen vaikutusaluetta oli hankala arvioida. Tutkimuksen kannalta oleellisinta oli selvittää, oliko vertailukoeala riittävän kaukana ja siten padotuksen vaikutusalueen ulkopuolella. Pohdinta oli teoreettista ja perustui kohteiden vaatustietoihin ja teoreettiseen maksimaaliseen padotuskorkeuteen. Maksimaalinen padotuskorkeus ei välttämättä koskaan toteudu kaikissa kohteissa, koska vesimäärät eivät ole riittävän suuria.

Padon harjan korkeusasemana käytettiin padon alinta kohtaa. Hieman hankaluutta aiheutti se, että padon alimpia kohtia oli mitattu useista eri pisteistä. Näistä valittiin kaikkein alin kohta, mutta toisaalta on mahdotonta varmasti tietää, onko juuri kyseinen kohta padotuskorkeuden kannalta määräävä. Teoreettisen pohdinnan perusteella suurin riski padotusvaikutuksen ulottumisesta myös vertailukoealalle on metsikössä 4. Lopullisen varmuuden saaminen vaatisi kuitenkin tarkempia korkeusasemamittauksia ja tietoa vesimääristä.

Koealaparit pyrittiin valitsemaan siten, että ne vastaavat toisiaan kasvupaikan, kehitysluokan, puulajisuhteiden, sarkaleveyden ja turvekerroksen paksuuden suhteen. Kaikkien kasvuun vaikuttavien tekijöiden kontrollointi on kuitenkin käytännössä mahdotonta ja keskenään täysin identtisten kohteiden löytäminen hankalaa.

Mediaaniläpimitan perusteella koealojen kehitysluokat vastasivat toisiaan hyvin metsikköä 8 lukuun ottamatta (taulukko 6). Kokonaistilavuuden suhteen metsiköiden 4 ja 6 koealat poikkesivat toisistaan eniten (taulukko 6).

Turvekerroksen paksuuksissa oli pieniä eroja ja turpeen maatuneisuusasteet poikkesivat toisistaan vain vähän (liite 3, taulukko 8). Ylimmän 0–20 cm turvekerroksen pääravinteissa eniten vaihtelua oli kaliumin pitoisuuksissa metsiköissä 1, 4 ja 9 (liite 3, taulukko 9). Sarkaleveyksissä oli jonkin verran vaihtelua, eivätkä kaikki koealat sijainneet aivan saran keskellä (liite 3, taulukko 10). Koealojen valinnassa otettiin huomioon ennalta määritellyt kohteiden samankaltaisuutta ilmentävät ominaisuudet, mutta käytännössä täysin identtisten kohteiden löytäminen on vaikeaa.

Lisäksi tutkimuskohteiksi voitiin valita ravinteisuustasoltaan vaihtelevia metsiköitä, joten kokonaisuutena koealavalintaa voi pitää onnistuneena.

12.3 Pohjavesipinnan syvyys ja turpeen ravinnepitoisuudet

Suomessa optimaalisena kuivatussyvyytenä pidetään 35–55 cm pohjavesipinnan etäisyyttä maanpinnasta (Paavilainen & Päivänen 1995, 104). Tutkitussa aineistossa pohjavesipinnan etäisyys maanpinnasta oli kesä-heinäkuussa 2009 vähintään 30 cm lähes kaikkien metsiköiden toimenpidekoealoilla. Siten ei ole merkkejä siitä, että tulvavesien tilapäinen varastoiminen ojaverkostossa olisi vaarantanut riittävää kasvukauden aikaista kuivatusta. Korkeusasemamittausten perusteella esimerkiksi metsikössä 3 melko korkealla ollut pohjaveden pinta ei voinut aiheutua padotuksesta. Kyseinen metsikkö on paksuturpeinen (turvekerroksen paksuus yli 150 cm) ja pintaturve on heikosti maatonut (liite 3, taulukko 8).

Pohjavesipinnan syvyys vaihtelee kasvukauden aikana mm. puuston määrän ja sateiden mukaan (Sarkkola ym. 2009). Lisäksi eri vuosien välillä on sääolosuhteista aiheutuvaa vaihtelua ja pohjavesipinnan syvyys vaihtelee saran eri osissa. Siten yksittäisten havaintojen perusteella tehtyjä johtopäätöksiä ei voida yleistää.

Pääosa rämemänniköiden juuristosta sijaitsee ylimmässä 0–10 cm:n turvekerroksessa (Paavilainen 1967, Heikurainen 1957). Paarlahti (1984) toteaa, että koeolosuhteissa ainoastaan pysyvästi 10 cm:n etäisyydelle maanpinnasta säännöstelty pohjavesipinta oli selvästi liian alhainen männyn kasvun kannalta. Lisäksi puiden vedenkestävyyden todettiin olevan heikoimmillaan loppukesällä juuriston voimakkaan kasvun aikana, eikä säännöllisesti toistuvan kevättulvan ole todettu olevan haitallinen puuston kasvun kannalta. Kevättulvan tulisi purkautua ojitusalueelta viimeistään kesäkuun puoliväliin mennessä.

Marttilan ym. (2010) mukaan maksimaalinen padotus on keväällä lumien sulamisen yhteydessä kestänyt enimmillään 10 päivää ja kesällä rankkasateen jälkeen 2 päivää. Havainnot tukevat oletusta, jonka mukaan tulvavesien tilapäisestä varas-

toinnista ei ole haittaa puuston kasvulle. Lisäksi keväällä ja syksyllä turpeen anaerobisuusraja saattaa olla jopa pohjavesipinnan alapuolella (Lähde 1969). Liikkeessä oleva kylmä vesi voi sitoa enemmän happea kuin lämmin ja seisova vesi, joten se ei ole puuston kannalta yhtä haitallista (Glenz ym. 2006; Lähde 1969).

Koska alkukesän liiallinen kuivuus ja kuivatusvesien nopea purkautuminen ojitusalueelta voi jopa haitata puuston kasvua, voisi tulvavesien tilapäisestä varastoinnista olla jopa hyötyä joissakin olosuhteissa (Tuononen ym. 1981). Ilmastonmuutoksen seurauksena pohjavesipinnan on lisäksi ennustettu alenevan myös suomalaisilla soilla (Hökkä ym. 2008). Siten tulevaisuudessa putkipatojen vaikutus pohjavesipinnan syvyyteen saattaisi olla entistäkin vähäisempi.

Varttuneen puuston vedenkäyttö vaikuttaa pohjavesipinnan syvyyteen jopa enemmän kuin kuivatusojien kunto (Ahti & Hökkä 2006). Lisäksi varttuneet yksilöt kestävät yleensä tulvaa ja korkeaa pohjavettä nuoria yksilöitä paremmin (Kozlowski 1984; Tuononen ym. 1981).

Viisi vuotta patojen rakentamisen jälkeen pintaturpeen keskimääräiset pääravinteiden pitoisuudet eivät poikenneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi toimenpide- ja vertailukoealoilla. Siten ei ole merkkejä siitä, että tulvavesien tilapäinen varastoiminen olisi aiheuttanut ravinteiden huuhtoutumista juuristokerroksesta. Keskimääräinen kaliumpitoisuus oli toimenpidekoealoilla jopa hieman suurempi kuin vertailukoealoilla, mutta ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Useissa metsiköissä padon ja toimenpidekoealan väliset korkeuserot olivat niin suuria, että tulvavesi ei teoriassakaan voisi yltää juuristokerrokseen. Lisäksi Marttila ym. (2010) toteavat, että turpeen heikon vedenjohtokyvyn ja veden lyhyen viipymän vuoksi tulvavesi pysyy ojustossa, mikäli se ei tulvi metsään.

12.4 Puuston tilavuuskasvu

Saatujen tulosten perusteella tulvavesien tilapäinen varastoiminen ei vaikuttanut puuston tilavuuskasvuun. Tilastollisessa mallissa kovariaatteina käytettiin puuston

tilavuutta padon rakentamishetkellä sekä edeltävän viisivuotisjakson keskimääräistä tilavuuskasvua, koska kyseiset tekijät vaikuttavat voimakkaasti tulevan jakson kasvuun. Mallissa kokeiltiin myös muita muuttujia, mutta niiden yhteisvaikutukset eivät olleet merkitseviä. Esimerkiksi ojatunnusten kuten sarkaleveyden tai ojien kunnan mahdollisten vaikutusten tulkinta ei ole yksiselitteistä. Pohjavesipinnan syvyyttä mitattiin ainoastaan toimenpidekoealoilla ja lisäksi havaintoja oli vain 1–2 kasvukaudelta, kun kasvua puolestaan seurattiin viiden vuoden jaksolla. Turpeen pääravinteiden pitoisuudet eivät myöskään poikenneet toisistaan. Laadittu yksinkertainen malli kuitenkin osoitti selkeästi, että koealan sijainti padon suhteen ei ole kasvueroja selittävä tekijä.

Aineiston pienen koon ($N = 10$), suurehkon hajonnan ja havaintojakson lyhyiden vuoksi on teoriassa mahdollista, että padotuksen mahdollisesti aiheuttamia kasvueroja ei saatu selville. Esitetyt perustelut huomioon ottaen tämä vaikuttaa kuitenkin epätodennäköiseltä. Suurin todennäköisyys mahdollisten kasvuerojen ilmenemiselle on seuraavan 5-vuotiskauden aikana, jolloin puuston reaktio kunnostusojitukseen on suurimmillaan (Hökkä & Kojola 2001). Sen vuoksi koealojen kasvun seuranta kannattanee vielä jatkaa.

Puuston keskimääräisen tilavuuskasvun ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{v}$) keskiarvot poikkesivat toisistaan melko vähän toimenpide- ($4,2 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$) ja vertailukoealoilla ($4,7 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$). Tilastollisen mallin ennustamat keskiarvot olivat hyvin lähellä toisiaan ($4,4 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ ja $4,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$). Erot aiheutuvat suureksi osaksi sattumasta. Aineistossa oli sellaisia koealareja, joissa havaintojakson kasvu toimenpidekoealalla oli suurempi kuin vastaavalla vertailukoealalla sekä vastaavasti niitä, joissa vertailukoealan kasvu oli suurempi.

Kaikki metsiköt määriteltiin varttuneiksi kasvatusmetsiksi, mutta metsikössä 8 toimenpidekoealan puusto oli selvästi vertailukoealan puustoa varttuneempaa. Tämä voi osaltaan selittää vähäisempää kasvua toimenpidekoealalla. Tutkimusmetsiköt olivat mäntyvaltaisia, mutta koivusekoituksen sekä aluspuuston ja alikasvoksen määrä vaihteli. Hökkä ym. (2008) havaitsivat, että hieskoivun kokonaistilavuus turvemaiden männiköissä oli kasvua selittävä tekijä. Hieskoivun osuuden lisääntymi-

nen luultavasti ilmentää kasvupaikan parempaa ravinteisuustasoa. Runsas alikasvos tai aluspuusto ja niiden aiheuttama juuristokilpailu saattavat puolestaan heikentää valtapuuston kasvua turvemaalla. Joillakin koealoilla alikasvosta oli melko runsaasti.

Useimmissa metsiköissä sarkaleveydet olivat molemmilla koealoilla melko lähellä toisiaan (liite 3, taulukko 9). Metsikössä 7 koealan 71 huomattavasti suurempi sarkaleveys on seurausta siitä, että koealakeskipistettä lähempänä olevaa perkaamantonta vanhaa ojaa ei otettu huomioon. Kaikki koealat eivät sijainneet aivan saran keskellä ja jompikumpi koealoista saattoi sijaita hieman lähempänä ojaa.

Puuston kokonaismäärä on merkittävin tilavuuskasvua selittävä tekijä. Esimerkiksi metsikössä 4 koealan 41 pienempi tilavuuskasvu osittain selittynee sillä, että puuston määrä oli vähäisempi kuin koealalla 42 (taulukko 6). Keskimääräiset turvekerroksen paksuudet olivat useimmissa metsiköissä hyvin lähellä toisiaan kummallakin koealalla.

13 LOPUKSI

Suometsillä on tärkeä asema Suomen puuntuotannossa. Metsätalouden harjoittaminen turvemailla edellyttää vesiensuojelusta huolehtimista. Vaikka metsätalouden osuus ravinnepäästöistä on kokonaisuudessaan vähäinen, voi paikallinen merkitys olla huomattavaa. Tämän vuoksi on tarpeen seurata käytössä olevien vesiensuojelumenetelmien toimivuutta ja pohtia lisäksi uusia käyttökelpoisia ratkaisuja.

Parhaimmat vesiensuojelulliset hyödyt saavutetaan erilaisia vesiensuojelumeneelmiä yhdistelemällä. Putkipadot soveltuvat kohteisiin, joiden kaltevuus on vähäinen ja joissa esiintyy tilapäisiä tulvahuippuja. Tällöin tulvavesien tilapäiseen varastoitumiseen on käytettävissä riittävästi varastotilavuutta. Putkipadot voivat myös tehostaa muiden vesiensuojelumenetelmien toimivuutta. Parhaimmillaan putkipadon avulla voidaan estää eroosiota ja siten välttää kiintoaineksen ja ravinteiden liik-

keelle lähtemistä. Useiden vesiensuojelumenetelmien kuten laskeutusaltaiden ja pintaavalutuskenttien tarkoituksena on pelkästään korjata jo syntyneitä haittoja.

Putkipadon rakentaminen ei myöskään vaadi erillistä metsätaloustalouden ulkopuolelle jätettävää aluetta, sillä pato rakennetaan ojaverkostoon. Esimerkiksi laskeutusaltat ovat usein hyvinkin kookkaita ja tilaa on lisäksi varattava altaasta kaiveutulle maa-ainekselle. Lisäksi altaasta lähtevä oja tulisi kaivaa matalammaksi kuin altaaseen tuleva oja, mikä voi joissakin tapauksissa heikentää ojitusalueen kuivastehokkuutta. Putkipadon rakentaminen kunnostusojituksen yhteydessä aiheuttaa vain vähäisiä kustannuksia ja patojen toimivuudesta on saatu hyviä tuloksia.

Koealat perustettiin pysyviksi siten, että ne on tehtyjen merkintöjen avulla mahdollista paikallistaa ja inventoida uudelleen myöhemmin. Seuranta kannattaa jatkaa, koska viiden vuoden aikajakso on esimerkiksi puuston kasvunopeuteen ja sään vaihteluihin suhteutettuna lyhyt. Myös tutkimusta puuston vedenkestävyydestä ja tulvan tai korkean pohjaveden vaikutuksesta puuston kasvuun on jatkettava. Pohjavesipinnan syvyyttä voitaisiin lisäksi seurata myös vertailukoealoilla.

Saatujen tulosten perusteella putkipatojen rakentamista voidaan suositella, sillä niillä ei ollut vaikutusta puuston tilavuuskasvuun patojen vaikutusalueella sijaitsevissa metsiköissä. Ravinteiden huuhtoutumista juuristokerroksesta ei myöskään havaittu. Kun putkipato on rakennettu ja mitoitettu oikein, on epätodennäköistä, että se aiheuttaisi haitallista kasvukaudenaikaista pohjavesipinnan nousua läheisissä metsiköissä.

Esimerkiksi Kymijoen-Suomenlahden alueellisessa vesienhoitosuunnitelmassa putkipadot mainitaan metsätalouden eroosiohaittojen torjuntaan soveltuvana menetelmänä. Menetelmän yleistymisen kannalta olisi tärkeää saada putkipadot sisällytettyä myös Tapion laatimiin metsätalouden vesiensuojeluohjeisiin. Jo tähän mennessä putkipatoja on rakennettu useisiin kohteisiin eri puolille Keski-Suomea ja vuodesta 2010 alkaen Keski-Suomen metsäkeskuksen tavoitteena on lisätä alan toimijoiden koulutusta ja siten edistää menetelmän käyttöönottoa.

LÄHTEET

- 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. ja Nettles, J. (toim.). 2006. Hydrology and Management of Forested Wetlands. Proceedings of the International Conference, April 8-12, 2006, New Bern, North Carolina. ASABE, Michigan, USA, 309–315.
- Ekholm, P., Kenttämies, K. & Haapanen, M. 2006. Fosforin käyttökelpoisuus metsävalumavesissä. Teoksessa: Kenttämies, K. ja Mattsson, T. (toim.). 2006. Metsätalouden vesistökuormitus: MESUVE-projektin loppuraportti. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 816, 93–100.
- Finér, L., Ahti, E., Joensuu, S., Koivusalo, H., Laurén, A., Makkonen, T., Mattsson, T., Nieminen, M. & Tattari, S. 2008. Metsätalouden vesistökuormituslaskelmat Kansallisen metsäohjelman 2015 valmistelua varten. Teoksessa: Uusivuori, J., Kallio, M. & Salminen, H. (toim.). 2008. Vaihtoehtolaskelmat kansallisen metsäohjelman valmistelua varten. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. Metlan työraportteja 75, 68–86.
- Glenz, C., Schlaepfer, R., Iorgulescu, I. & Kienast, F. 2006. Flooding tolerance of Central European tree and shrub species. *Forest Ecology and Management* 235, 1-13.
- Heikkinen, K., Ihme, R. & Lakso, E. 1994. Ravinteiden, orgaanisten aineiden ja raudan pidättymiseen johtavat prosessit pintavalutuskentällä. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A 193.
- Heikkinen, K., Rintala, J., Karjalainen, S. M., Lauri, H., Hellsten, S. & Kløve, B. 2006. Possibilities for reducing non-point source loading by means of wetlands constructed on peatlands in a river basin in northern Finland. Teoksessa: Refsgaard, J. C. & Hojberg, A. L. (toim.). 2006. XXIV Nordic Hydrological Conference. Nordic Water 2006. Experiences and Challenges in Implementation of the EU Water Framework Directive. Vingsted, Denmark 6-9 August 2006, 490–497.
- Heikurainen, L. 1955. Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen. Referat: Der Wurzelaufbau der Kiefernbestände auf Reisermoorböden und seine Beeinflussung durch die Entwässerung. *Acta Forestalia Fennica* 65(3), 1-85.

- Heikurainen, L. 1967. Optimikuivatuksen mahdollisuuksista turvemail-
la. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 12/1967, 385–388.
- Heinonen, J. 1994. Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjel-
ma KPL: Käyttöohje. *Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja* 504.
- Huikari, O. 1954. Experiments on the effect of anaerobic media upon
birch, pine and spruce seedlings. Suomenkielinen selostus: Kokei-
ta kasvualustan anaerobisuuden vaikutuksesta koivun, männyn ja
kuusen taimiin. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 42
(5), 1-13.
- Hökkä, H & Kojola S. 2001. Kunnostusojituksen kasvureaktioon vai-
kuttavat tekijät. *Suometsien kasvatuksen ja käytön teemapäivät*
26.-27.9.2001 Joensuu. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 832,
30–36.
- Hökkä, H., Repola, J. & Laine, J. 2008. Quantifying the interrelation-
ship between tree stand growth rate and water table level in
drained peatland sites within Central Finland. *Canadian Journal of*
Forest Research 38, 1775–1783.
- Joensuu, S., Makkonen, T., Vuollekoski, M., Nieminen, M., Leinonen,
A. & Sarkkola, S. 2008. *Metsätalouden vesiensuojelu. Vesitalous*
49, 6, 19–25.
- Joensuu, S., Makkonen, T. & Matila, A. 2007. *Metsätalouden vesien-
suojelu. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.*
- Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1999. The effects of peatland
forest ditch maintenance on suspended solids in runoff. *Boreal En-
vironment Research* 4, 343–355.
- Kansallinen metsäohjelma 2015. 2008. Lisää hyvinvointia monimuo-
toisista metsistä: Valtioneuvoston periaatepäätös. [Verkojulkaisu].
Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. Maa- ja metsätalousminis-
teriön julkaisuja 3/2008. [Viitattu 6.3.2010]. Saatavana:
[http://www.mmm.fi/attachments/metsat/kmo/5ywg0T9jr/3_2008FI_
netti.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/metsat/kmo/5ywg0T9jr/3_2008FI_
netti.pdf).
- Kellomäki, S. 2005. *Metsäekologia. Joensuu: Joensuun yliopisto.
Metsätieteellinen tiedekunta.*
- Kenttämies, K. 2006. *Metsätalouden fosfori- ja typpikuormituksen
määrittäminen. Teoksessa: Kenttämies, K. ja Mattsson, T. (toim.).
2006. Metsätalouden vesistökuormitus: MESUVE-projektin loppu-
raportti. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö*
816, 9-25.

- Koivusalo, H., Lappalainen, M., Ahti, E., Laurén, A., Nieminen, M., Leinonen, A., Joensuu, S. & Nevalainen, R. 2008. Miten metsätalous vaikuttaa kiintoaineen kulkeutumiseen? *Vesitalous* 49, 6, 15–18.
- Kojola, S. 2009. Kohti hyvää suometsien hoitoa – harvennusten ja kunnostusojitusten vaikutus ojitusalueänniköiden puuntuotokseen ja metsänkasvatuksen taloustulokseen. *Dissertationes Forestales* 83.
- Koljonen, K. 2009. Maatalouden vesiensuojelu tehostuu. *Maaseudun tulevaisuus* 11.12.2009.
- Korhonen, K. T., Ihalainen, A., Heikkinen, J., Henttonen, H. & Pitkänen, J. 2007. Suomen metsävarat metsäkeskuksittain 2004–2006 ja metsävarojen kehitys 1996–2006. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2007, 149–213. [Viitattu 16.2.2010]. Saatavana: <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff07/ff072149.pdf>.
- Koskiaho, J. 2009. Kosteikon ravinteidenpidätyskyvyn seuranta. [Pp-esitys]. Helsinki: Maatalouden tutkimuskeskus. Maasää-seminaari 13.5.2009. [Viitattu 20.10.2009]. Saatavana: <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/www/Hankkeet/Maasaa/Ajankohtaista>.
- Kozlowski, T. T. 1982. Water supply and tree growth. Part II Flooding. Review article, *Forestry Abstracts* 43, 3, 145-161.
- Kozlowski, T. T. 1984. Responses of woody plants to flooding. Teoksessa: Kozlowski, T. T. (toim.). 1984. Flooding and plant growth. Orlando, Florida: Academic Press Inc. s. 129-163.
- L. 12.12.1996 / 1094. Laki kestävän metsätalouden rahoituksesta.
- L. 30.12.2004 / 1299. Laki vesienhoidon järjestämisestä.
- Laurén, A., Mattsson, T., Kortelainen, P., Koivusalo, H. & Lappalainen, M. 2008. Metsätalouden aiheuttama typpikuormitus vaihtelee. *Vesitalous* 49, 6, 12–14.
- Leivonen, J. (toim.) 2005. Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005 – toteutumisen arviointi vuoteen 2003 asti. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. *Suomen ympäristö* 811. [Viitattu 5.2.2010]. Saatavana: www.ymparisto.fi/julkaisut.
- Lyytikäinen, V., Vuori, K-M & Kotanen, J. 2003. Kunnostusojitusten suojavaikot tutkimukset vuosina 1998–2001. Joensuu: Pohjois-Karjalan ympäristökeskus. *Alueelliset ympäristöjulkaisut* 315.

- Lähde, E. 1969. Biological activity in some natural and drained peat soils with special reference to oxidation-reduction conditions. *Acta Forestalia Fennica* 94.
- Marttila, H., Vuori, K-M, Hökkä, H., Jämsén, J. & Kløve, B. 2010. Design and application of peak runoff control method for water quality management in peatland forestry. Käsikirjoitus. Julkaisematon.
- Marttila, H. & Kløve, B. 2010. Managing runoff, water quality and erosion in peatland forestry by peak runoff control. Käsikirjoitus. Julkaisematon.
- L. 12.12.1996 / 1093. Metsälaki.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2008. [Verkkosivusto]. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. [Viitattu 15.2.2010]. Saatavana: <http://www.metla.fi/julkaisut/metsatilastollinen/vsk/tilastovks-sisalto.htm>.
- Nieminen, M., Ahti, E., Joensuu, S., Koivusalo, H., Piirainen, S. & Tattari, S. 2008. Fosforin huuhtoutumista säätelevät prosessit metsävaluma-alueilla. *Vesitalous* 49, 6, 9-11.
- Nyroos, H., Partanen-Hertell, M., Silvo, K. & Kleemola, P. (toim.) 2006. Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015: Taustaselvityksen lähtökohdat ja yhteenveto tuloksista. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 55.
- Paarlahti, K. 1984. Jaakkoin suon koeojitusalue 75 vuotta. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 156.
- Paavilainen, E. 1966. On the relationships between the root systems of white birch and Norway spruce and the ground water table. *Selostus: Hieskoivun ja kuusen juuriston suhteesta pohjavesipintaan mustikkakorvessa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 62 (1), 1-15.
- Paavilainen, E. 1967. Männyn juuriston suhteesta turpeen ilmatilaan. Summary: Relationships between the root system of Scots pine and the air content of peat. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 63, 1-20.
- Paavilainen, E. & Päivänen, J. 1995. Peatland forestry. Ecology and principles. Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verlag.
- Pelkonen, E. 1975. Vuoden eri aikoina korkealla olevan pohjaveden vaikutus männyn kasvuun. *Suo* 26, 2, 25-32.

- Penttilä, T. & Honkanen, M. 1986. Suometsien pysyvien kasvukoealojen (SINKA) maastotyöohjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 226, 1-98.
- Pintavesien ekologinen ja kemiallinen tila. 2009. [Verkkosivusto]. Suomen ympäristökeskus. [Viitattu 5.2.2010]. Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=22605&lan=fi>.
- Puustinen, M., Koskiaho, J., Gran, V., Jormola, J., Maijala, T., Mikko-la-Roos, M., Puumala, M., Riihimäki, J., Rätty, M. & Sammalkorpi, I. 2001. Maatalouden vesiensuojelukosteikot. VESIKOT-projektin loppuraportti. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Suomen Ympäristö 499.
- Päivänen, J. 2007. Suot ja suometsät – järkevän käytön perusteet.. Hämeenlinna: Metsäkustannus Oy.
- Ronkanen, A-K. 2009. Missä vesi suolla virtaa? Uutta tietoa pintavalutuksesta. Vesitalous 50, 1, 14–15.
- Sarkkola, S., Hökkä, H., Koivusalo, H., Ahti, E., Nieminen, M., Joensuu, S. & Laine, J. 2008. Relationship between tree stand and water table level in drained peatlands. Teoksessa: Farrel, C ja Feeham, J. (toim.). 2008. After wise use – the future of peatland. Proceedings of the 13th International Peat Congress. Volume 2, Poster presentations, 179-181.
- Sarkkola, S., Hökkä, H., Koivusalo, H., Nieminen, M., Ahti, E., Päivänen, J. & Laine, J. 2010. Role of tree stand evapotranspiration in maintaining satisfactory drainage conditions in drained peatlands. Hyväksytty julkaistavaksi Canadian Journal of Forest Research-sarjassa.
- Silvan, N., Sallantausta, T., Vasander, H. & Laine, J. 2005. Hydraulic nutrient transport in a restored peatland buffer. Boreal Environmental Research 10, 203-210.
- Silver, T., Joensuu, S. & Pakkala, M. 2009. Laskeutusaltaiden tila ja tyhjennystarve Lounais-Suomen vanhoilla ojitusalueilla. Suo 60, 37–46.
- Tattari, S., Finér, L., Mattsson, T. & Koskiaho, J. 2008. Metsätalouden alueellisen vesistökuormituksen suuruus ja sen laskenta. Vesitalous 49, 6, 5-8.
- Tuononen, E., Vähäsöyrinki, E. & Österlund, P. 1981. Vedenkorkeusvaihteluiden vaikutus rantamaiden viljelyyn ja puustoon. English summaries: Effects of water level fluctuations on land cultivation and on the stand of trees on lake shores. Helsinki: Vesihallitus. Tiedotus 206.

- Verry, E. S. 1997. Hydrological processes of natural, northern forested wetlands. Teoksessa: Trettin, C. C., Jurgensen, M. F., Grigal, D. F., Gale, M. R. & Jeglum, J. K. (toim.). 1997. Northern forested wetlands. Ecology and management. Boca Raton: CRS Press, Inc., Lewis Publishers, s. 163–188.
- Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015: Valtioneuvoston periaatepäätös. 2007. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 10/2007. [Viitattu 5.2.2010]. Saatavana: www.ymparisto.fi/julkaisut.
- Vesistöjen ravinnekuormitus ja luonnonhuuhtouma. 2009. [Verkkosivuja]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. [Viitattu 15.2.2010]. Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=8568&lan=fi>.
- Vikman, A., Saari, P. & Väänänen, R. 2009. Suometsätalouden pinta-
valutuskentät – liukoisten ravinteiden ja orgaanisen hiilen pidättäjiä
vai päästöjen lisääjiä? *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2009, 389–
392.
- Viljavuuspalvelu Oy. 2004. Tuhka-analyysi. Äänevoima Oy
12.11.2004.
- Vompersky, S. & Sirin, A. A. 1997. Hydrology of drained forested wetlands. Teoksessa: Trettin, C. C., Jurgensen, M. F., Grigal, D. F., Gale, M. R. & Jeglum, J. K. (toim.). 1997. Northern forested wetlands. Ecology and management. Boca Raton: CRS Press, Inc., Lewis Publishers, 189-211.
- Vuorenmaa, J., Rekolainen, S., Lepistö, A., Kenttämies, K. & Kauppi-
la, P. 2002. Losses of nitrogen and phosphorus from agricultural
and forest areas in Finland during the 1980s and 1990s. *Environmental Monitoring and Assessment* 76, 213–248.
- Väänänen, R., Nieminen, M., Vuollekoski, M., Nousiainen, H., Sallan-
taus, T., Tuittila, E-T. & Ilvesniemi, H. 2008. Retention of phospho-
rus in peatland buffer zones at six forested catchments in Southern
Finland. *Silva Fennica* 42, 2, 211–231.
- Yhteistyöllä parempaan vesienhoitoon. Kymijoen-Suomenlahden ve-
sienhoitoalueen vesienhoitosuunnitelma vuoteen 2015. 2009.
[Verkkajulkaisu]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. [Viitattu
15.2.2010]. Saatavana:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=111612&lan=fi>.

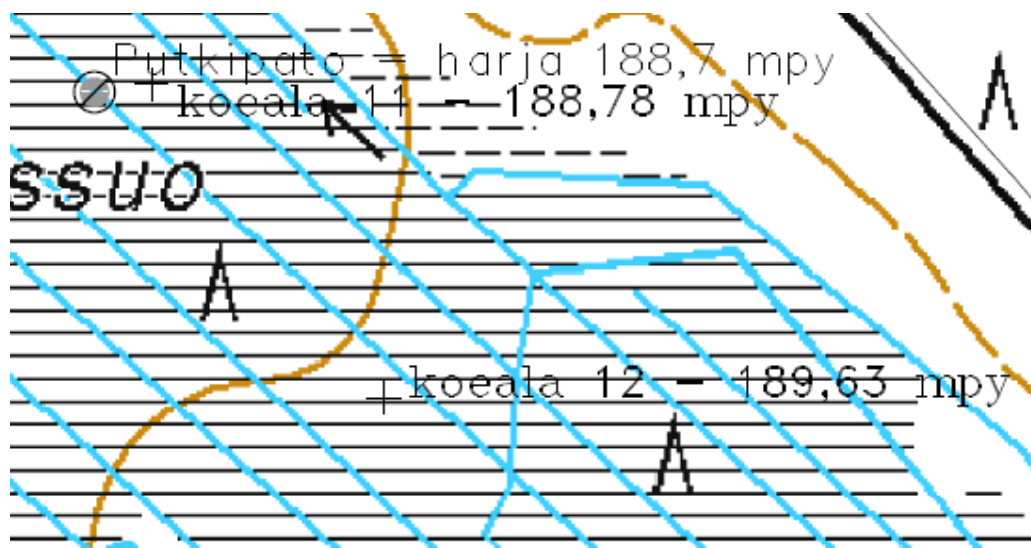
LIITTEET

Liite 1: Koealojen ja putkipatojen sijaintitiedot ja korkeusasemat.

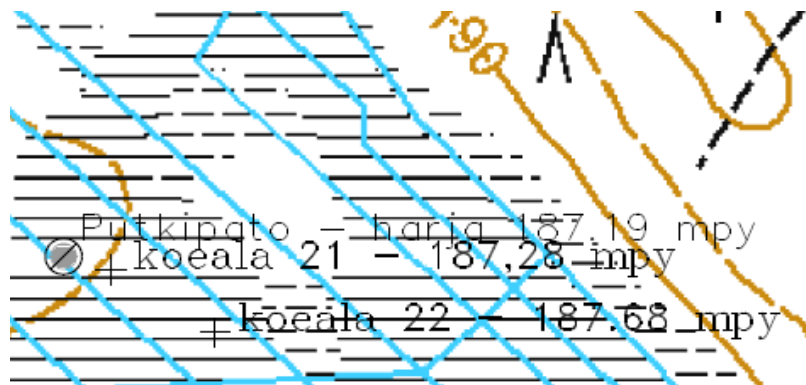
TAULUKKO 7. Koealakeskipisteiden ja putkipatojen korkeusasemat ja sijaintikoordinaatit.

	Keskipisteen sijainti		Keskipisteen korkeusasema mpy	Padon sijainti		Padon korkeusasema mpy
1 Varissuo 1				7011486,8	3455371	188,7
	1	7011494,4 3455397,6	188,78			
	2	7011293,1 3455534,2	189,63			
2 Varissuo 2				7011615	3455069,6	187,19
	1	7011621,1 3455090,1	187,53			
	2	7011574,3 3455145,4	187,68			
3 Pentinniemi				7012270,4	3454589,6	176,88
	1	7012202,1 3454563,2	177,17			
	2	7012142 3454596,5	177,61			
4 Kivisuo				7007355,2	3449000,5	119,97
	1	7007376,9 3448981,3	120,05			
	2	7007443,3 3448973,8	120,12			
5 Kiviselkämä				7003974,3	3456478,7	139,31
	1	7003981,5 3456511,3	139,08			
	2	7004145,1 3456760,7	139,19			
6 Ulppaa				-	-	-
	1	7002509,5 3457152	135,96			
	2	7002411,8 3457266,1	137,19			
7 Toivola				7006350,1	3450105,7	118,06
	1	7006330 3450123,8	118,43			
	2	7006254,7 3450016	118,51			
8 Toulatsuo 1				7006613,3	3450938,4	112,61
	1	7006577,9 3450888,4	112,99			
	2	7006540,1 3450789,8	113,2			
9 Toulatsuo 2				7006351,3	3451209,5	112,89
	1	7006306,8 3451192,4	113,09			
	2	7006293,1 3451118,5	113,38			
10 Keuhkosenneva				-	-	-
	1	7011795 3439174	-			
	2	7011857 3439134	-			

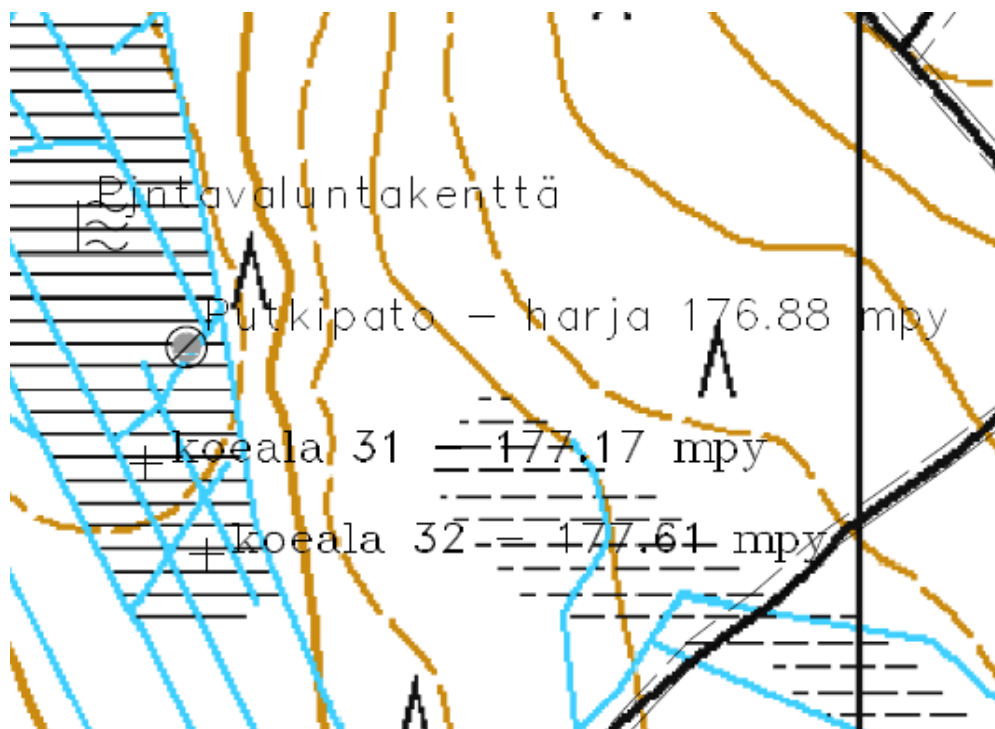
Liite 2: Tutkimusmetsiköiden kartat



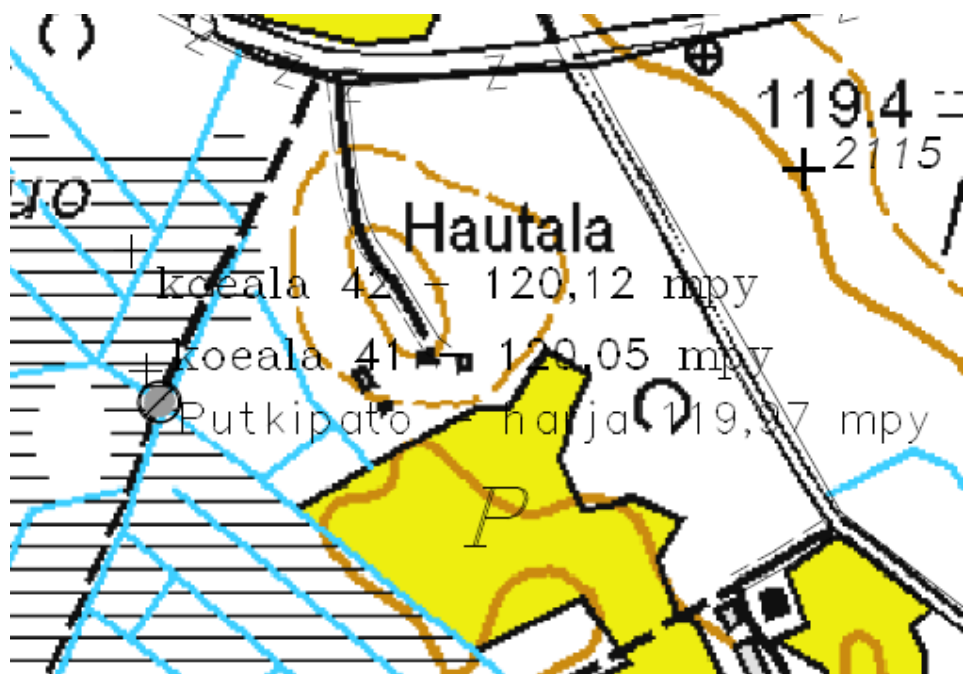
KUVIO 24. Putkipadon ja koalojen 1 ja 2 sijainti ja korkeusasemat metsikössä 1 (Varissuo 1).



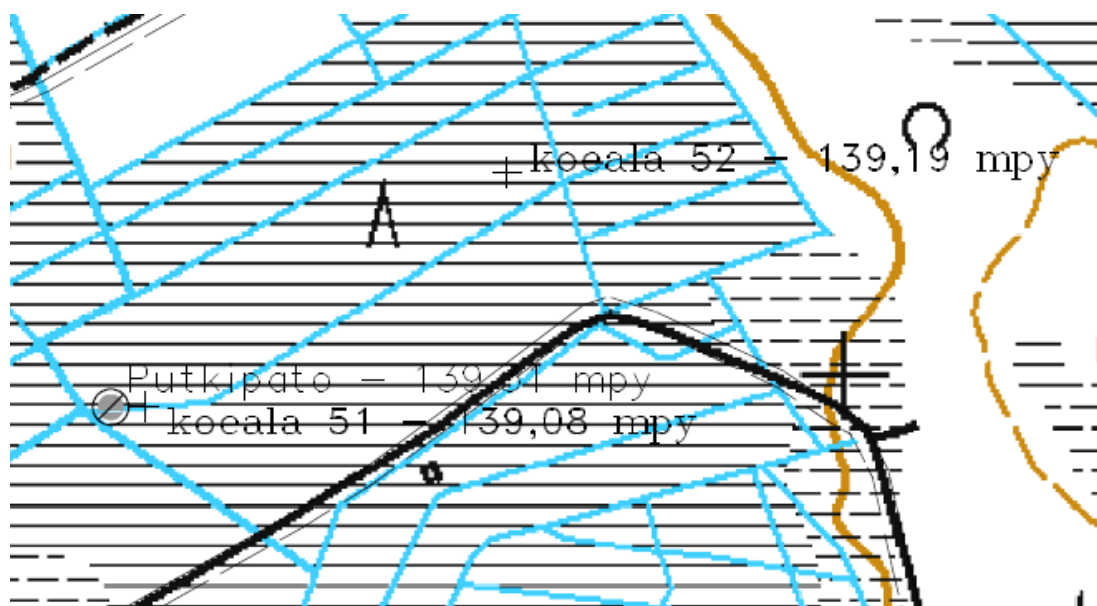
KUVIO 25. Putkipadon ja koalojen 1 ja 2 sijainti ja korkeusasemat metsikössä 2 (Varissuo 2).



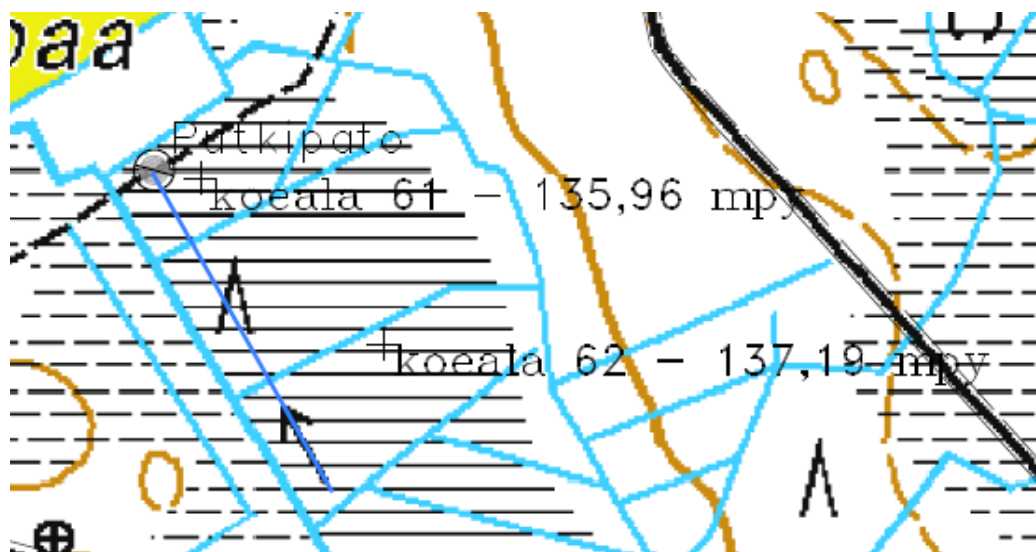
KUVIO 26. Putkipadon ja koalojen 1 ja 2 sijainti ja korkeusasemat metsikössä 3 (Pentinniemi).



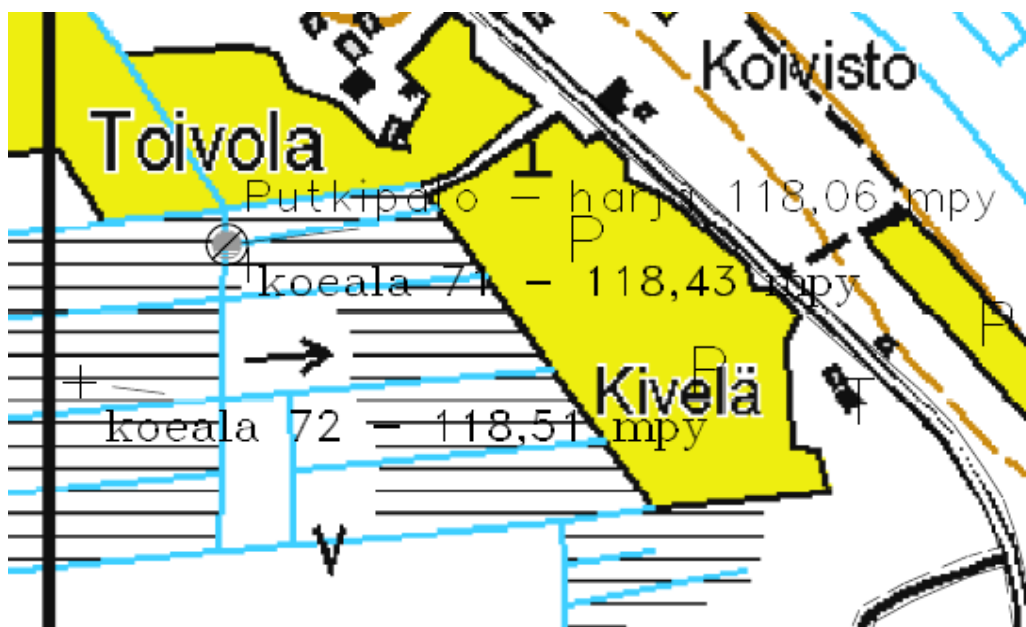
KUVIO 27. Putkipadon ja koalojen 1 ja 2 sijainti ja korkeusasemat metsikössä 4 (Kivisuo).



KUVIO 28. Putkipadon ja koealojen 1 ja 2 sijainti ja korkeusasemat metsikössä 5 (Kiviselkämä).



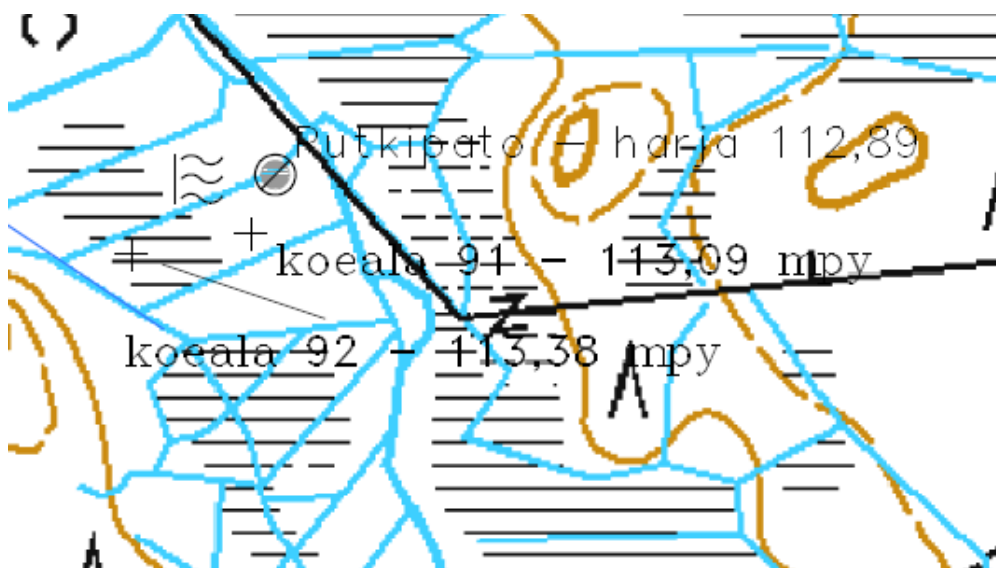
KUVIO 29. Putkipadon ja koealojen sijainti ja korkeusasemat metsikössä 6 (Ulp-paa).



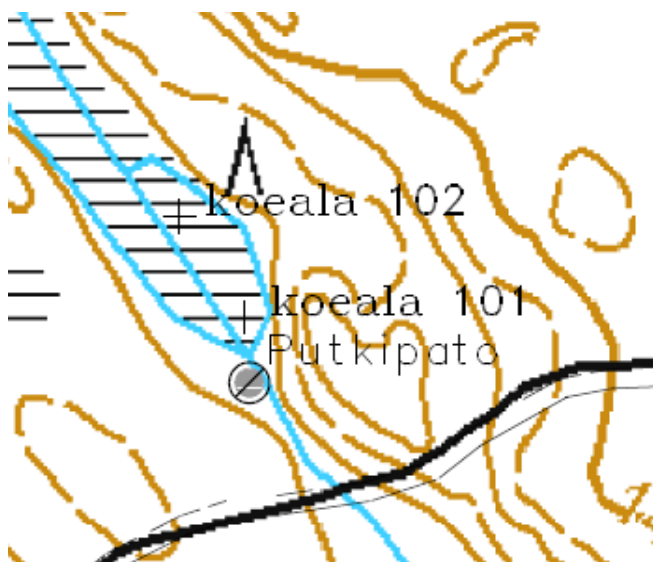
KUVIO 30. Putkipadon ja koealojen 1 ja 2 sijainti ja korkeusasemat metsikössä 7 (Toivola).



KUVIO 31. Putkipadon ja koealojen 1 ja 2 sijainti ja korkeusasemat metsikössä 8 (Toulatsuo 1).



KUVIO 32. Putkipadon ja koealojen 1 ja 2 sijainti ja korkeusasemat metsikössä 9 (Toulatso 2).



KUVIO 33. Putkipadon ja koealojen 1 ja 2 sijainti metsikössä 10 (Keuhkosenneva).

Liite 3: Turpeen ominaisuudet ja ojatunnukset

TAULUKKO 8. Koealakohtaiset keskimääräiset turvekerroksen paksuudet sekä turvelaji ja turpeen maatumisaste ylimmässä 0-10 ja 10–20 cm:n turvekerroksessa.

	Turvekerroksen paksuus cm		Turvelaji (0-10 cm)		Turvelaji (10-20 cm)		Turpeen maatumisaste (0-10 cm)		Turpeen maatumisaste (10-20 cm)	
	Koeala 1	Koeala 2	Koeala 1	Koeala 2	Koeala 1	Koeala 2	Koeala 1	Koeala 2	Koeala 1	Koeala 2
1 Varissuo 1	115	115	CST	CST	SCT	LCT	H3	H2	H5	H5
2 Varissuo 2	100	90	ST	ST	LCT	LCT	H3	H2	H6	H4
3 Pentinniemi	150 +	150 +	ERST	ST	CST	CST	H2	H3	H3	H3
4 Kivisuo	150 +	120	CST	LCT	LCT	LCT	H4	H3	H5	H6
5 Kiviselkämä	70	110	LST	LST	LST	LST	H5	H6	H6	H6
6 Ulppaa	90	125	LST	ST	LST	SCT	H5	H3	H7	H7
7 Toivola	150 +	150 +	LCT	CT	LCT	SCT	H5	H6	H6	H7
8 Toulatsuo 1	130 +	80	CST	CST	LCT	LST	H6	H5	H7	H7
9 Toulatsuo 2	135 +	90	LCT	LST	CST	LST	H8	H7	H8	H8
10 Keuhkosenneva	150 +	150 +	LST	LST	LST	LST	H4	H5	H7	H7

Turvelajit: ST=rahkaturve, ERST=tupasvillarahkaturve, CST=sararahkaturve, LST=puurahkaturve, CT=saraturve, SCT=rahkasaraturve, LCT=puusaraturve, BCT=ruskosammalsaraturve, SLT=rahkapuuturve, CLT=sarapuuturve

Turpeen maatumisasteet (von Post):

H1=täysin maatumaton, H2=melkein maatumaton, H3=hyvin heikosti maatonut, H4=heikosti maatonut, H5=jonkin verran maatonut, H6=kohtalaisesti maatonut, H7=vahvanlaisesti maatonut, H8=vahvasti maatonut, H9=melkein maatonut, H10=täysin maatonut

TAULUKKO 9. Ylimmän turvekerroksen (0-20 cm) keskimääräiset pääravinteiden pitoisuudet kuiva-aineessa.

Koeala	N %	Pmg/kg	K mg/kg
11	1,7	1049	744
12	1,8	811	373
21	2,1	800	318
22	2,0	867	311
31	1,5	950	509
32	1,7	1310	545
41	2,3	994	413
42	2,4	1095	173
51	2,2	1233	767
52	2,0	1211	608
61	2,5	1220	243
62	2,4	971	242
71	2,5	1205	188
72	2,7	1310	177
81	2,2	1180	286
82	2,2	1145	236
91	2,0	842	680
92	2,2	923	228
101	2,1	916	288
102	2,2	1048	354

TAULUKKO 10. Koealojen sarkaleveydet ja sarkaojien etäisyydet koealakeskipisteistä sekä arvioitu sarkaojien kunto.

Koeala	Sarkaleveys, m	Keskipisteen etäisyydet ojiin		Ojien kunto *	
		Oja 1, m	Oja 2, m	Oja 1	Oja 2
11	52	24	28	2	2
12	70	34	36	4	3
21	53	35	18	2	2
22	51	21	30	3	3
31	39	18	21	3	2
32	37	23	14	3	5
41	52	26	26	4	3
42	42	13	29	3	4
51	52	36	16	4	3
52	48	26	22	4	3
61	27	17	10	2	3
62	38	21	17	3	3
71	72	15	57	4	5
72	25	15	10	5	3
81	32	23	9	3	4
82	28	17	11	3	4
91	47	33	14	5	5
92	47	18	29	4	4
101	31	9	22	3	4
102	30	13	17	2	3

* Ojien kunto: 1=hyvä, 2=jokseenkin hyvä, 3=tyydyttävä, 4=melko huono, 5=huono

Liite 4: Pohjaveden korkeustiedot

TAULUKKO 11. Kuukausittaisia pohjaveden korkeustietoja (cm maanpinnasta) koealoilta vuosina 2007-2009. Tähdellä (*) merkityt mittausjaksot eivät ole kokonaisia kuukausia ja niiden osalta tarkemmat jaksot on esitetty taulukossa.

	2009			2008			2007		
	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
1 Varissuo 1									
5	-14,6 *	-17,1 *	-13,7 *						
6	-24,3	-27,6	-17,1						
7	-31,4	-34,4	-27,6	-41,1 *	-45,7 *	-32,2 *			
8	-26,2	-31,8	-17,3	-42,1	-53,1	-34,9			
9	-23,7	-26,6	-17,8	-41,2	-46,6	-33,7			
10	-14,4	-27,2	-9,1	-38,2	-47,5	-32,7			
11	-12,3 *	-12,7 *	-11,7 *	-35,9	-38,2	-32,7			
12				-36,7 *	-38,1 *	-33,7 *			
* 8-31.7.2008, 1-23.12.2008, 19-31.5.2009, 1-3.11.2009									
2 Varissuo 2									
5	-14,8 *	-18,8 *	-10,9 *						
6	-30,5	-36	-18,8						
7	-40,7	-42,7	-36	-24,9 *	-28,4 *	-17,6 *			
8	-35,8	-44,1	-21,1	-24,6	-33	-19,3			
9	-30,1	-32,8	-24,1	-24	-26,5	-18,3			
10	-15,6	-33,5	-8,6	-21	-26,6	-16,9			
11	-10,1 *	-10,6 *	-9,5 *	-19,7 *	-21,5 *	-16,8 *			
12				-19,3	-21,4	-15,1			
* 8-31.7.2008, 1-23.11.2008, 19-31.5.2009, 1-3.11.2009									
3 Pentinniemi									
5	-20,9 *	-26 *	-16 *						
6	-29,2	-33,4	-20,1						
7	-26,1	-37,8	-10,3	-21,9 *	-28,1 *	-16,6 *			
8	-21,1	-31,2	-7,8	-22	-31,7	-15,6			
9	-19,2	-24	-9,6	-21,5	-25,1	-14,4			
10	-12,5	-24,6	-5,2	-15,8	-24,8	-13,1			
11	-14,4 *	-14,6 *	-13,6 *	-14,6 *	-17,3 *	-12,3 *			
12				-15,8	-17,6	-12,8			
* 8-31.7.2008, 1-23.11.2008, 17-31.5.2009, 1-3.11.2009									
4 Kivisuo									
4				-30,1 *	-33,4 *	-24,4 *			
5	-13,1 *	-25 *	-0,3 *	-38,9	-50,4	-24,4			
6	-38,6	-49,8	-25	-40,1	-58,5	-20,8			
7	-50,4	-56,2	-22,7	-33,5	-47	0,2			
8	-54,2	-56,3	-17,4	-38,1	-56	-18,5			
9	-56,3	-56,4	-56,3	-39,1	-46,9	-16,9	-50,8 *	-54,7 *	-47,3 *
10	-55,7	-56,3	-39,3	-30,7	-47	-11,2	-46,2	-53,5	-19,3
11				-25,5	-34,5	-11,6	-32,2 *	-39,3 *	-21,8 *
12				-29,3 *	-37,5 *	-16,9 *			
* 22-30.9.2007, 1-13.11.2007, 22-30.4.2008, 1-17.12.2008, 7-31.5.2009									

	2009			2008			2007		
	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
5 Kiviselkämä									
4				-29,2 *	-30,7 *	-27 *			
5	-42,5 *	-51,7 *	-32,7 *	-40,9	-50,9	-30,1			
6	-54,6	-56,1	-51,7	-39,9	-52,9	-24,7			
7	-54,2	-56,3	-46,1	-35,9	-49,2	0			
8	-54,7	-56,3	-45,7	-40,5	-52,2	-22,4			
9	-56,1	-56,4	-55,6	-43,3	-50,3	-28,9	-34,6 *	-39,1 *	-23,3 *
10	-54,6	-56,4	-44,8	-33,7	-50,5	-18,5	-35,3	-39,1	-22,1
11	-45,3 *	-45,9 *	-44,9 *	-30,8	-35,3	-21,3	-30,7 *	-33,8 *	-25,9 *
12				-32 *	-34,9 *	-25,4 *			
* 18-30.9.2007, 1-13.11.2007, 22-30.4.2008, 1-17.12.2008, 11-31.5.2009, 1-3.11.2009									
6 Ulppaa									
4				-20,6 *	-22 *	-18,5 *			
5	-10,1 *	-21,4 *	-0,3 *	-31,3	-44,5	-19,4			
6	-33,6	-38	-21,4	-32,6	-51,2	-16,5			
7	-34,9	-37,9	-7,5	-28,9	-45,2	0			
8	-31	-37,8	-7,3	-35,2	-49,1	-17,9			
9	-37,3	-37,7	-36,4	-39,2	-46,6	-21,9	-31,4 *	-39 *	-22,6 *
10	-28,9	-37,7	-15,4	-27,6	-47,6	-9,4	-33	-40,1	-15,2
11	-21,4 *	-36,5 *	-19,1 *	-19,6	-25,2	-9,4	-20,6 *	-24,4 *	-14,6 *
12				-21,2 *	-26,2 *	-13,6 *			
* 22-30.9.2007, 1-13.11.2007, 22-30.4.2008, 1-17.12.2008, 11-31.5.2009, 1-3.11.2009									
7 Toivola									
5	-17,37 *	-19,24 *	-14,14 *						
6	-25,39	-32,09	-19,23						
7	-32,46	-40,23	-20,52	-42,51 *	-76,39 *	-0,05 *			
8	-30,66	-44,86	-11,48	-12,69	-16,81	-4,2			
9	-39,5	-46,64	-30,71	-13,81	-17,37	-4,42			
10	-49,96	-52,67	-46,64	-12,21	-18,82	-1,27			
11	-52,76 *	-52,85 *	-52,66 *	-7,7	-10,19	-1,28			
12				-9,08 *	-9,99 *	-5,15 *			
* 8-31.7.2008, 1-17.12.2008, 11-31.5.2009, 1-3.11.2009									
8 Toulatsuo 1									
6	-37,8	-58,1	-33,4						
7	-30,3	-37,9	-25,8						
8	-32,1	-36	-29,6						
9	-34,1	-37,3	-32,8						
10	-32,5	-38,6	-25,3						
11	-23,7 *	-25,3 *	-24,3 *						
* 1-3.11.2009									
9 Toulatsuo 2									
6	-60,2	-65,2	-55,3						
7	-51,9	-55,3	-45,9						
8	-44,1	-47,3	-40,3						
9	-36,9	-40,3	-36						
10	-28,8	-37,2	-19,6						
11	-19,2 *	-19,6 *	-18,6 *						
* 1-3.11.2009									
10 Keuhkosenneva									
5	-25,5 *	-29,2 *	-4,9 *	-20,2	-26	-16,2			
6	-37,6	-45,4	-29,2	-21,6	-33,1	-12,3			
7	-49,2	-51,2	-45,4	-21,7	-28,7	-11,6			
8	-55,1	-59,5	-50,8	-25,4	-32,5	-20,5			
9	-62	-64,4	-58,7	-26,9	-30,6	-22,4	-30,9 *	-40 *	-27,7 *
10	-59,7	-65,7	-41,7	-24,3	-31,6	-18,7	-24,2	-28,7	-17,7
11	-41,8 *	-41,8 *	-41,7 *	-17,3	-20,2	-14,7	-24,2 *	-18,5 *	-14,4 *
12				-17,3 *	-19,1 *	-14,9 *			
* 15-30.9.2007, 1-13.11.2007, 1-22.12.2008, 13-31.5.2009, 1-3.11.2009									