

Suometsien kokonaisanalyysi

Tutkijaneeli 2

Ojitettujen soiden kasvihuonekaasupäästöistä ja uudistamisesta

Paavo Ojanen, Markku Saarinen, Henry Schneider ja Risto Päivinen

27.1.2020



Sisällys

1	JOHDANTO	2
2	METSÄOJITETTUIEN SOIDEN KASVIHUONEPÄÄSTÖISTÄ	3
	2.1. Ojittamaton suo	3
	2.2. Ojituksen ilmastovaikutukset	3
	2.3. Säteily- ja vesitase sekä haihtuvat orgaaniset yhdisteet	4
	2.4. Ojitettujen soiden merkitys ilmastolle Suomessa ja maailmalla	4
	2.5. Metsäojitetun suon maaperän kasvihuonepäästöt	5
	2.6. Metsätalouden toimenpiteiden vaikutus	6
	2.7. Päästöjen vähentäminen ja tulevaisuuden riskit	7
	2.8. Suon ennallistaminen	8
	2.9. Pellonraivaus ja metsitys	8
	2.10. Metsäojitettujen soiden ilmastollisesti kestävä käyttö	9
3	METSÄN UUDISTAMISEN VAIHTOEHDOT OJITETUIILLA TURVEMAILLA	15
	3.1. Johdannoksi	15
	3.2. Taimettumiseen vaikuttavat tekijät turvemailla	17
	3.2.1. Kasvillisuuden vaikutus taimettumiseen	17
	3.2.2. Ojituksen jälkeiset pintaturpeen muutokset	18
	3.2.3. Turpeen vedenpinnan syvyyden vaikutus laikutusjäljen taimettumiseen	19
	3.2.4. Mättään pintakerroksen kosteusvaihtelu vaikutus taimettumiseen	20
	3.2.5. Alikasvokset luontaisen uudistamisen mahdollisuutena	21
	3.3. Uudistamista edistävät toimenpiteet	23
	3.3.1. Muokkauksen tarpeellisuus turvemailla	23
	3.3.2. Männyn ja kuusen viljelytuloksia	24
	3.3.3. Kokemuksia rauduskoivun viljelystä	26
	3.3.4. Myös alikasvoksia voi viljellä ilman muokkausta	26
	3.3.5. Lannoituksen vaikutus taimettumiseen	27
	3.3.6. Turvemaiden kulutus	27
	3.4. Jatkuvapeitteinen metsätalous turvemailla	27
4	TIIVISTELMÄ	36
5	TUTKIJAPANEELIN (19.8.2019) POLIITIKKASUOSITUKSET JA TUTKIMUSTARPEET	39
	Yleisiä päätelmiä / kasvihuonekaasut	39
	Yleisiä päätelmiä / peitteinen kasvatus	39
	Politiikkasuosituksia	39
	Tutkimustarpeita	40



1 Johdanto

Tämä raportti on osa maa- ja metsätalousministeriön rahoittamaa ja Tapio Oy:n koordinoimaa Metsäpolitiikkafoorumia. Metsäpolitiikkafoorumissa käsitellään vuosittain vaihtuvaa ajankohtaista metsäpolitiikan teemaa kokoamalla aiheesta olemassa olevaa tutkimustietoa, analysoimalla sitä tutkijoiden ja käytännön toimijoiden yhteistyönä sekä laatimalla analyysin perusteella politiikkasuosituksia ja tutkimustarpeita sisältävä loppuraportti.

Vuoden 2019 Metsäpolitiikkafoorumin aihe on ”Suometsien kokonaisanalyysi” ja siihen kuuluu yhteensä kolme tutkijapaneelia. Tämä raportti on laadittu toisen tutkijapaneelin tulosten pohjalta. Paneelin aiheena oli suometsien uudistaminen ja kasvihuonekaasupäästöt. Ensimmäisen teemana oli metsävarat ja niiden hyödyntäminen ja kolmannessa keskitytään soiden metsänhoidon menetelmien vaihtoehtoihin sekä soiden suojele- ja vesiensuojelukysymyksiin.



2 Metsäojitettujen soiden kasvihuonepäästöistä

Paavo Ojanen, Helsingin yliopisto, metsätieteiden osasto

2.1. Ojittamaton suo

Ojittamattomat suot kerryttävät turvetta, jonka kuivamassasta noin puolet on hiiltä (Turunen ym. 2002). Näin ne poistavat pysyvästi hiilidioksidia (CO₂) ilmakehästä ja viilentävät ilmastoa. Suo on siis hiilidioksidin nielu. Turvetta kertyy, koska maaperän hapettomat olot estävät orgaanisen aineen täydellisen hajoamisen. Suolla maahan päätyvästä orgaanisen aineksen, kuolleiden kasvien ja kasvinosien, massasta noin 10 % jää hajoamatta ja muodostaa turvetta. Maaperän hapettomuuden takia ojittamattoman suon hajotustoiminnassa syntyy metaania (CH₄). Vaikka osa metaanista hajoaa suon hapellisessa pintakerroksessa ja sammalkerroksessa, ojittamaton suo on merkittävä metaanin lähde ilmakehään (Minkkinen & Ojanen 2013, taulukko 2). Suon metaanipäästö lämmittää ilmakehää. Metaanipäästön takia suo lämmittää ilmakehää kehityksensä alussa. Koska metaani kuitenkin hajoaa nopeasti ilmakehässä, tämä lämmittävä vaikutus tasaantuu muutamassa kymmenessä vuodessa. Vähitellen, satojen tai tuhansien vuosien kuluessa, turvetta kertyy suohon niin paljon, että hiilidioksidinielun viilentävä vaikutus kasvaa metaanilähteen lämmittävää vaikutusta suuremmaksi. Tuhansia vuosia vanha suo on siten kehityksensä aikana merkittävästi viilentänyt ilmastoa (Frolking ym. 2006, Frolking & Roulet 2007, Mathijssen ym. 2014, 2017).

2.2. Ojituksen ilmastovaikutukset

Suon ojituksella on sekä ilmastoa viilentäviä että lämmittäviä vaikutuksia: Ojitus syventää vedenpintaa, jolloin suon hapellinen pintakerros syvenee. Tämä vähentää metaanin syntymistä ja lisää sen hajoamista. Siten ojitus pienentää suon metaanipäästöä tai suo muuttuu jopa pieneksi metaanin nieluksi (Ojanen ym. 2010). Ojat ovat kuitenkin merkittäviä metaanin lähteitä (Minkkinen ym. 2018, Minkkinen & Laine 2006), minkä takia metsäojitettu suo on parhaimmillaankin metaanineutraali. Metsäojitetulla suolla ojitus lisää puuston kasvua, ja kasvava puusto on hiilidioksidin nielu (Minkkinen ym. 2001). Hapellisen kerroksen syveneminen kuitenkin lisää turpeen hajotusta, jolloin suo alkaa turpeen kerryttämisen sijaan menettää turvetta (Hiraishi ym. 2014). Tällöin suon maaperä muuttuu hiilidioksidin lähteeksi. Koska turpeessa on runsaasti typpeä, turpeen hajotessa vapautuu myös voimakasta kasvihuonekaasua typpioksiduulia (N₂O) (Ojanen ym. 2010, 2018, Maljanen ym. 2003b). Ensimmäisen ojituksen jälkeisen kiertoajan metsäojituksen vaikutus on yleensä ilmastoa viilentävä, koska vähentynyt metaanipäästö ja kasvavan puuston hiilidioksidinielu viilentävät ilmastoa enemmän kuin turpeen hajoamisesta syntyvät hiilidioksidi- ja typpioksiduulipäästö lämmittävät (Minkkinen ym. 2002, Lohila ym. 2010, Ojanen ym. 2013, Uri ym. 2017, Minkkinen ym. 2018, Hommeltenberg ym. 2014). Puustoon sitoutuneesta hiilestä suurin osa kuitenkin vapautuu muutamassa vuodessa pätehakkuun jälkeen hiilidioksidina takaisin ilmakehään. Niinpä, jos turvetta hajoaa vähitellen paksu kerros, metsäojituksen vaikutus on väijäämättä ilmastoa lämmittävä turpeesta syntyvien hiilidioksidin ja typpioksiduulipäästöjen takia. Puuston hiilivarasto voi korvata vain ohuen turvekerroksen hiilivaraston: 10 cm turvekerroksessa on yhtä paljon hiiltä kuin 100 m³/ha puustobiomassassa. Muutaman vuosikymmenen aikaskaalassa metsäojitetun suon ilmastovaikutusta voidaan parantaa edistämällä



puuston kasvua tai vähentämällä hakkuita kuten kivennäismaillakin. Pitemmällä aikavälillä turpeen hajoamisen vähentäminen tai estäminen on kuitenkin keskeisin keino parantaa metsäojitetun suon ilmastovaikutusta.

2.3. Säteily- ja vesitase sekä haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Kasvihuonekaasujen aiheuttaman maailmanlaajuisen kasvihuoneilmiön lisäksi metsäojituksella on ilmastoon myös muita vaikutuksia, jotka ovat luonteeltaan paikallisia tai alueellisia. Märän suon vaihtuessa kuivaksi metsäksi säteily- ja vesitase muuttuvat (Lohila ym. 2010, Gao ym. 2014). Metsä pidättää auringosta saapuvaa säteilyä erityisesti keväisin paremmin kuin avoin suo (ojitus pienentää albedoa). Kun puiden latvukset ovat jo lumesta paljaat, lumen peittävä suon pinta vielä heijastaa tehokkaasti auringon säteilyä. Tämä albedon pieneneminen on aiheuttanut lumipeitteen sulamisen aikaistumisen (viisi päivää) ja huhtikuun lämpötilojen nousun (+0,5 °C) Pohjanmaalla, missä metsäojitettujen soiden osuus pinta-alasta on erityisen suuri (Gao ym. 2014). Lämmittävä vaikutus on samaa kokoluokkaa kuin puuston hiilinielun kasvamisen viilentävä vaikutus (Lohila ym. 2010). Kesällä taas lämpötilat jäävät hivenen (–0,1 °C) alhaisemmiksi, koska metsät haihduttavat soita enemmän vettä, mikä kuluttaa energiaa ja siten viilentää ilmaa (Gao ym. 2014). Kasvit ja maaperä myös päästävät ilmakehään haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC = volatile organic compounds) (Mäki 2019). Ilmakehässä niistä syntyy aerosolihiukkasia (pieniä, ilmassa leijailtavia kiinteitä hiukkasia), jotka edistävät pilvien muodostumista toimimalla vesihöyryn tiivistymisytiminä. Pilvet viilentävät ilmastoa. Metsien osalta on näyttöä siitä, että tällä on merkittävä vaikutus (Teuling ym. 2017, Tunved ym. 2006). Ojittamattomat suot eroavat metsistä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden määrässä ja laadussa (Faubert ym. 2010a, b, Hanson ym. 1999, Hellén ym. 2006, Tiiva ym. 2007), mutta metsäojitettujen soiden päästöistä ei ole mittatietoa. Vaatisi lisää mittauksia ja ilmakehän toiminnan mallinnusta, jotta metsäojituksen vaikutusta haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästöihin ja sitä kautta ilmastoon voisi arvioida. Tässä kirjoitelmassa keskitytään kasvihuonekaasuihin, koska albedomuutoksia lukuun ottamatta muista ilmastovaikutuksista ei käytännössä ole kvantitatiivista tietoa saatavilla.

2.4. Ojitettujen soiden merkitys ilmastolle Suomessa ja maailmalla

Maailmanlaajuisesti kasvihuonekaasupäästöt ojitettujen soiden turpeen hajoamisesta ovat erittäin suuret, 1–2 Gt CO₂-ekvivalenttia vuodessa, vaikka ojitettujen soiden pinta-ala on vain 30–50 miljoonaa hehtaaria (Joosten 2010, Ojanen ja Minkkinen käsikirjoitus a). Vertailun vuoksi kaikkien maankäytön, maankäytön muutoksen ja metsätalouden päästöjen arvioidaan olevan 4 Gt CO₂-ekvivalenttia vuodessa (Olivier ym. 2017). Suomessa turpeen hävikkiin liittyvät päästöt (maaperän päästöt metsäojitetuilta soilta, turvemaan pelloilta ja turvetuotantoalueilta) ovat virallisen raportoinnin mukaan 18 Mt CO₂-ekvivalenttia vuodessa (metsäojitettujen soiden osuus 8 Mt), mikä vastaa noin kolmannesta Suomen kasvihuonekaasupäästöjä ilman maankäyttöä, maankäytön muutosta ja metsätaloutta (Tilastokeskus 2019). Ojitettujen soiden päästöt ovat sekä maailmanlaajuisesti että Suomessa niin merkittävät, että niitä on ilmastomuutoksen torjumiseksi vähennettävä radikaalisti. Maailman soiden turpeen hiilivarasto on samaa kokoluokkaa kuin ilmakehän tämänhetkinen CO₂-hiilen määrä (Page ym. 2011). Ilmastomuutoksen torjuminen on erittäin vaikeaa, jos merkittävä osa turpeen hiilivarastosta päätyy ilmakehään. Turvemaiden käyttöön kohdistuu jatkossa väistämättä suurta painetta sääntelyn ja kansainvälisten sopimusten kautta. Suomi on soiden ojituksen suurvalta, joten saamme varmasti asiassa huomiota osaksemme.

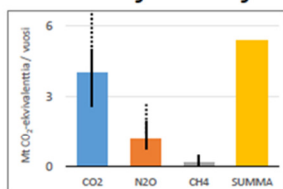


2.5. Metsäojitetun suon maaperän kasvihuonepäästöt

Metsäojitetun suon maaperän kasvihuonekaasupäästöt kasvuvaiheessa olevassa metsässä tunnetaan hyvin (Ojanen ym. 2010, 2013, 2019, Minkkinen ym. 1998, 1999, 2018, Simola ym. 2012, Korkiakoski ym. 2018, Uri ym. 2017). Niihin vaikuttaa voimakkaasti kaksi asiaa: kasvupaikan ravinteikkuus ja vedenpinnan syvyys. Ravinteikkaimmilla kasvupaikoilla (ruoho- ja mustikkaturvekankaat) on havaittu merkittävää turpeen hävikkiä ja siitä syntyviä CO₂- ja N₂O-päästöjä. Näitä karummilla kasvupaikoilla (puolukka-, varpu- ja jäkäläturvekankaat) ei ole havaittu merkittävää turpeen hävikkiä: maaperä voi olla maltillisella ojituksella jopa CO₂-neutraali ja N₂O-päästö on ojitamattoman suon tasolla (kuva 1). Sekä ravinteikkailla että karuilla kasvupaikoilla CO₂-päästö riippuu lineaarisesti vedenpinnan syvyydestä: Mitä syvemmällä vedenpinta on, sitä suurempi on päästö rehevillä paikoilla. Karutkin kasvupaikat muuttuvat päästölähteiksi, kun vedenpinta lasketaan tarpeeksi syväälle (yli 40 cm syvyydelle, Ojanen ja Minkkinen käsikirjoitus b). N₂O-päästöllä ei ole havaittu riippuvuutta vedenpinnan syvyydestä (Minkkinen ym. käsikirjoitus). Ravinteikkaiden kasvupaikkojen CO₂-päästön on myös havaittu olevan suurempi Etelä- kuin Pohjois-Suomessa (Ojanen ym. 2013). Syynä lienee se, että lämpimämpi ilmasto sekä kiihdyttää hajotusta sekä suoraan että epäsuorasti pitämällä vedenpinnan alempana. Kun vedenpinta on vähintään 20 cm syvyydellä eikä suokasvillisuutta esiinny, metsäojitettu suo on ojat huomioon ottaen ei ole metaanin lähde eikä nielu (Ojanen ym. 2010, Minkkinen ym. 2018). Tällainen tilanne on sellaisilla hyvin metsää kasvaville ruoho-, mustikka- ja puolukkaturvekankailla, joilla ojitus on teknisesti onnistunut (ovat luokituksessa turvekangasasteella). Tällaisilla paikoilla vedenpinnan laskeminen entistä syvemmälle ei enää vaikuta metaanin taseeseen. Teknisesti huonosti onnistuneilla ojituksilla vedenpinta voi olla korkealla ja suokasvillisuutta esiintyä edellä mainituilla kasvupaikoilla (jääneet ojikko tai muuttuma-asteelle). Tällöin metaanipäästö on kuivimpien luonnontilaisten soiden tasoa (Ojanen ym. 2010). Karuimmilla kasvupaikoilla (varpu- ja erityisesti jäkäläturvekankaat) teknisesti onnistunut ojitukseen ei aina kuivata suota tehokkaasti veden hitaan liikkeen ja puuston vähäisen haihdutuksen takia, jolloin päästö on kuivimpien luonnontilaisten soiden tasolla (Ojanen ym. 2010, Heikkinen ym. 2016). Metsäojitetun suon maaperän päästöt voidaan minimoida pitämällä vedenpinta niin korkealla, kuin se puuston kasvatuksen kannalta on mahdollista: CO₂-päästö on sitä pienempi, mitä korkeammalla vedenpinta on. CH₄-päästö alkaa kasvaa merkittävästi vasta sellaisissa oloissa, jotka ovat tavanomaisen metsänkasvatuksen kannalta liian märkiä. Koska juuri CO₂-päästö aiheuttaa suurimman osan metsäojitetun suon ilmastoa lämmittävästä vaikutuksesta (Ojanen ym. 2013), sen vähentäminen on avainasemassa.

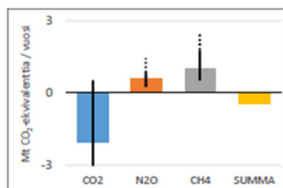
Suomi: Kasvihuonekaasupäästöt metsäojitettujen soiden maaperästä

Lähteet 2
CO₂-ekvivalentit
100 vuoden ajalle



Rehevät suot

- ruoho- ja mustikkaturvekankaat 1,8 milj. ha (VMI11)
- **ojitus johtanut turpeen hävikkiin**
 - merkittävä CO₂-päästö
 - merkittävä N₂O-päästö
- hyvin kuivuneita, yleensä vain ojissa märkää
 - pieni CH₄-päästö



Karut suot

- puolukka-, varpu- ja jäkäläturvekankaat 2,8 milj. ha (VMI11)
- **ei merkittävää turpeen hävikkiä maltillisella ojituksella**
 - happamuus, ravinteiden vähyys, jne. syynä
 - pieni CO₂-nielu tai -päästö
 - pieni N₂O-päästö
- jääneet reheviä soita kosteammiksi
 - CH₄-päästö

Kuva 1. Metsäojituksen vaikutus kasvihuonepäästöihin rehevillä ja karuilla soilla.



2.6. Metsätalouden toimenpiteiden vaikutus

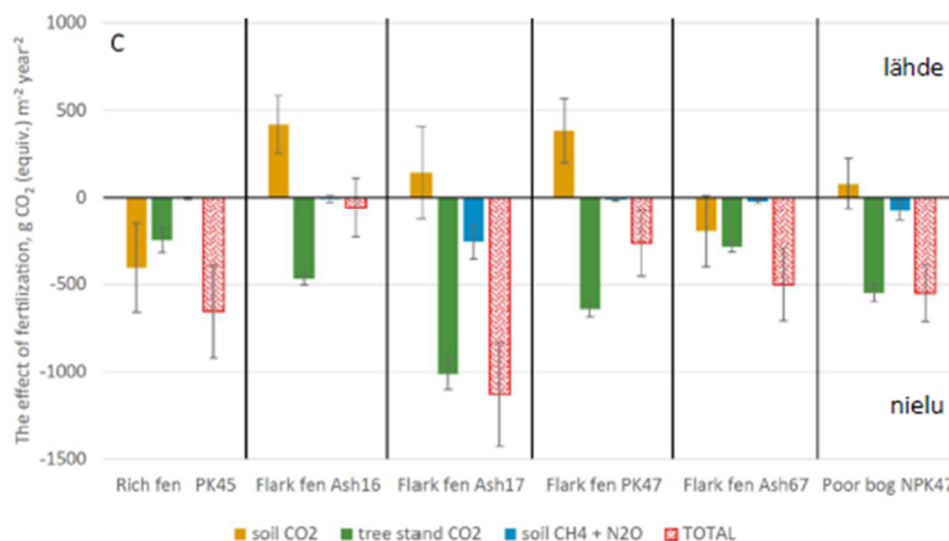
Useimpien metsätalouden toimenpiteiden vaikutuksia maaperän päästöihin on tutkittu melko niukasti eikä täsmällisiä lukuarvoja voida antaa. Avohakkuu ja metsänuudistaminen (Pearson ym. 2012, Saari ym. 2009, Korkiakoski ym. 2018, Huttunen ym. 2003, Mäkiranta ym. 2010, 2012) aiheuttavat päästöjä maaperästä: N₂O-päästö lisääntyy sekä maaperästä että hakkuutähdekasoista. Tämä johtuu siitä, että hakkuun jälkeen typpeä vapautuu runsaasti hakkuutähteistä ja kuolleesta pintakasvillisuudesta mutta typen tarve on vähäistä puuston ja usein pintakasvillisuudenkin puuttuessa. Jos vedenpinta hakkuualalla nousee korkealle tai maanmuokkaus synnyttää märkiä pintoja, syntyy CH₄-päästöjä. Turpeen hajotus vähenee vedenpinnan nousun takia, mutta toisaalta puuston ja pintakasvillisuuden yhteytys ja kariketuotos lähes loppuu, joten CO₂-päästö suurenee (Mäkiranta ym. 2010). Harvennushakkuiden vaikutuksista ei ole julkaistuja tutkimuksia, mutta vaikutukset ovat todennäköisesti vähäisiä verrattuna avohakkuihin: Typen tarjonta ja kysyntä ovat paremmin tasapainossa, joten N₂O-päästöä syntyy lähinnä hakkuutähdekasoista. Vedenpinta nousee yleensä vain vähän, joten CH₄-päästö jäänee vähäiseksi. Maltillinen vedenpinnan nousu vähentänee turpeen hajoamista, joten kariketuotoksen pysyessä kutakuinkin ennallaan CO₂-päästö voi pienentyä.

Kunnostusojituksen välittömistä vaikutuksista ei ole tutkimuksia. N₂O-päästöihin niillä ei liene suurta vaikutusta. Jos ojitus on ollut teknisesti huono, tästä aiheutunut CH₄-päästö vähentynee. Vedenpinnan laskiessa CO₂-päästö toisaalta lisääntyy. Kunnostusojitus on ravinteikkailla soilla erittäin merkittävä toimenpide ilmastoon kannalta, koska se ylläpitää kuivatusta ja sitä kautta turpeen hävikkiä. Toistuvien kunnostusojitusten ja jatkuvan turpeen hävikin seurauksena suon pinta ja ojan pohja siirtyvät vähitellen syvemmälle hävittäen turpeen vuosikymmenten ja -satojen kuluessa.

Lannoituksen (puuntuhka tai PK) vaikutuksia on tutkittu melko paljon (Ernfors ym. 2010, Klemetsson ym. 2010, Maljanen ym. 2006, 2014, Moilanen ym. 2002, 2012, Ojanen ym. 2019, Rütting ym. 2014, Saarsalmi ym. 2014). Lannoitusta seuraavien vuosien aikana ei ole havaittu vaikutuksia maaperän CO₂-, CH₄- tai N₂O-päästöihin. Vuosikymmenten aikaskaalassakaan lannoitus ei lisää N₂O-päästöä; jos CH₄-päästöjä on ollut ennen lannoitusta, ne vähenevät tai loppuvat lisääntyneen puuston laskiessa vedenpintaa. CO₂-päästö lisääntyy, mikä näyttäisi johtuvan lähinnä vedenpinnan laskusta. Kasvavan puuston CO₂-nielu kasvaa kuitenkin maaperän CO₂-päästöä enemmän, joten lannoituksella on päästöjä pienentävä nettovaikutus, kunnes puusto hakataan (Ojanen ym. 2019, kuva 2).



Lannoituksen vaikutus (Ojanen ym. 2019)



Kuva 2. Lannoituksen vaikutus metsäojitetun suon kasvihuonekaasupäästöihin.

2.7. Päästöjen vähentäminen ja tulevaisuuden riskit

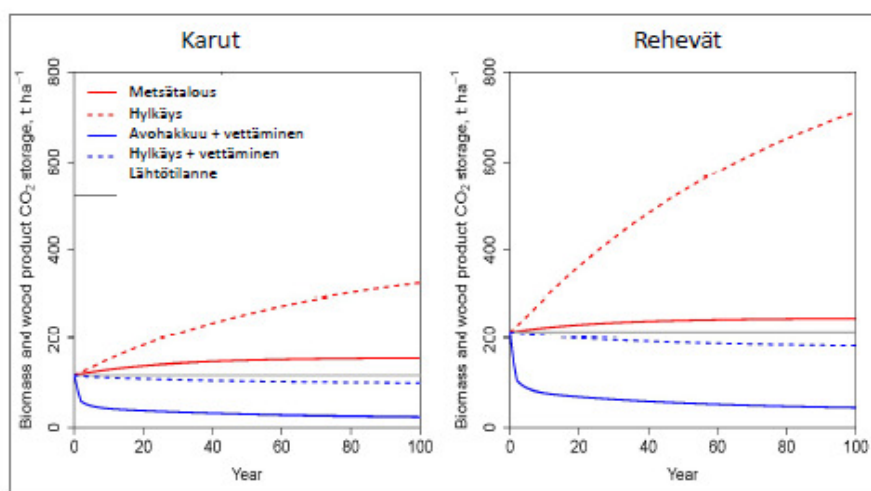
Jaksottaisessa metsänkasvatuksessa metsäojitetun suon maaperän kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää tekemällä kunnostusojituksia vain silloin, kun se on puuston kasvulle erityisen tärkeää. Lisäksi ojista ei pidä tehdä syvempiä kuin on välttämätöntä. Näin pystytään pitämään vedenpinta niin korkealla, kuin se on puuston kasvatuksen kannalta mahdollista. Jatkuvapeitteisessä metsätaloudessa kunnostusojitusten tarve voi olla kiertoaikametsätaloutta vähäisempi ja lisäksi puustopääoma ei nouse yhtä korkeaksi kuin ennen päätehakkuuta. Näin vedenpintaa voitaneen pitää keskimäärin ylempänä kuin kiertoaikametsätaloudessa (koska kunnostusojitus ja runsas puusto alentavat vedenpintaa), mikä vähentää CO₂-päästöä. Lisäksi vältetään avohakkuun ja metsänuudistamisen aikaisilta päästöiltä. Kokonaisen kiertoajan käsittäviä mallinnuksia näillä keinoin saatavista päästövähennyksistä ei ole vielä tehty, joten ei ole mahdollista arvioida kuinka merkittävistä keinoista on kyse. Karuilla kasvupaikoilla (Ptkg, Vatk) turpeen hävikki voitaneen hyvin pitkälti estää pitämällä ojitus mallillisena. Näin metsätalous voi parhaassa tapauksessa olla pitkällä aikavälillä ilmastollisesti kestävä. Ravinteikkailla kasvupaikoilla (Rhtkg, Mtkg) vedenpinnan pitäisi kuitenkin olla hyvin lähellä maanpintaa (n. 10 cm syvyydessä, Ojanen ja Minkkinen käsikirjoitus b), jotta turpeen hävikki loppuisi. Niin määrässä tavanomainen metsätalous ei liene mahdollista. Niinpä ojitukseen perustuvan metsätalouden jatkaminen väistämättä tarkoittaa turpeen hävikkiä CO₂- ja N₂O-päästöineen. Metsäojituksella on kaksi merkittävää riskiä ilmastonmuutoksen edetessä: Jos kuivat kesät yleistyvät (Dai, 2013, Jolly ym. 2015), turvepalojen riski kasvaa suureksi. Turvepalot ovat jo nyt yleisiä Suomea mantereisemmissä ilmastoissa Venäjällä ja Kanadassa (Sirin ym. 2018, Turetsky ym. 2004). Mitä korkeammalla vedenpinta on, sitä pienempi palon riski. Ilmaston lämpeneminen myös edistää turpeen hajoamista, koska hajotusprosessi on hyvin voimakkaasti riippuvainen lämpötilasta. Tämän takia ojitetujen soiden turpeen hävikistä aiheutuvat CO₂- ja N₂O-päästöt voivat kasvaa huomattavasti.



2.8. Suon ennallistaminen

Turpeen hävikki voidaan estää ja palauttaa suo turvetta kerryttäväksi ennallistamalla suo (Hedberg ym. 2012, Maanavilja ym. 2014, 2015, Kareksela ym. 2015, Haapalehto ym. 2015, Komulainen ym. 1999, Laine ym. 2019,). Metsäojitettu suo ennallistuu hyvin, kunhan ojat tukitaan niin huolellisesti, että vedenpinta nousee ojittamattoman suon tasolle (Aapala ym. 2013). Jo muutamassa vuodessa suokasvillisuus valtaa alaa ja suon kasvihuonekaasutase palautuu ojittamattoman suon kaltaiseksi (Laine ym. 2019, Minkkinen ym. käsikirjoitus, Ojanen ym. julkaisemattomat aineistot). Tämä on pitkällä aikavälillä varmin tapa turvata turpeen hiilivarasto, koska suo on niin märkä kuin ilmaston puolesta mahdollista. Nopeita ilmastoa viilentäviä vaikutuksia on kuitenkin vaikea saada aikaiseksi (Ojanen ym. käsikirjoitus a), koska suo palautuu CH₄:n lähteeksi (Koskinen ym. 2016, Komulainen ym. 1998, Juottonen ym. 2012, Heikkinen ym. 2016) ja puuston kasvu taantuu tai loppuu kokonaan. Tyyppillisesti kestää kymmeniä tai satoja vuosia, ennen kuin ennallistamisen aiheuttamilla muutoksilla kaasunvaihdossa on ilmastoa viilentävä vaikutus (Ojanen ja Minkkinen, käsikirjoitus a). Karuilla, maltillisesti ojitetuilla kasvupaikoilla, joilla ei ole tällä hetkellä huomattavaa turpeen hävikkiä, ennallistamista parempi vaihtoehto sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä on todennäköisesti jättää suo ennallistumaan itseksensä (kuva 3).

Puuston ja puutuotteiden hiilivarasto, VMI jne.



Kuva 3. Eri ennallistamisvaihtoehtojen vaikutus ojittettujen soiden kasvihuonekaasujen päästöihin tai sidontaan (Ojanen & Minkkinen, käsikirjoitus)

2.9. Pellonraivaus ja metsitys

Metsäojittettujen soiden raivaamista pelloiksi on ehdottomasti vältettävä. Turvemaan peltojen turpeen hävikki on n. 10 kertaa niin suurta kuin ravinteikkaiden suometsien. Tämä näkyy kymmenkertaisina CO₂-päästöinä (Maljanen ym. 2001b, 2004, Lohila ym. 2004) ja seitsenkertaisina N₂O-päästöinä (Maljanen ym. 2003b, 2004, 2009, Regina ym. 2004). Syy turpeen nopeaan hajoamiseen on se, että peltojen toistuvat kalkitukset ja lannoitukset sekä metsiä tehokkaampi kuivatus parantavat huomattavasti hajottajamikrobien elinoloja. Lisäksi hiilen virta maaperään (kariketuotos) voi olla pienempi kuin metsissä ja viljelykasvien karike helposti hajoavaa havupuiden karikkeeseen verrattuna.



Tehokkaasti kuivuneen metsäojitetun suon tapaan turvemaan pellolta ei tule metaanipäästöjä (Maljanen ym. 2003a, 2004, 2010, Regina ym. 2007). Metsitetyt turvemaan pellot sitovat puustoon hiiltä, minkä takia metsitys vähentää päästöjä. Maanviljelyn aikana suuripäästöiseksi kalkittu, lannoitettu ja kuivatettu turvema ei kuitenkaan muutu saman tien metsäojitetun suon kaltaiseksi puita istuttamalla. Maaperän N₂O-päästöjen on havaittu olevan lähes yhtä suuret kuin peltojen päästöt vielä 20–30 vuotta metsityksen jälkeenkin (Pihlatie ym. 2004, Mäkiranta ym. 2007, Maljanen ym. 2001a, 2012). CO₂-päästöistä on vain vähän tietoa (Lohila ym. 2007, Mäkiranta ym. 2008), mutta todennäköisesti ne ovat suuripäästöisimpien ravinteikkaiden metsäojitettujen soiden tasoa. Metsitys niin, että samalla hallitusti nostetaan vedenpintaa, voisi tehokkaasti vähentää turpeen hajoamista ja sen CO₂-päästöä.

2.10. Metsäojitettujen soiden ilmastollisesti kestävä käyttö

Metsäojitettujen soiden ilmastollisesti kestävään käyttöön ei löydy yhtä helppoa ratkaisua. Karuilla kasvupaikoilla metsätalous hyvin maltillisella ojituksella vaikuttaa mahdolliselta ratkaisulta. Tämän ratkaisun huono puoli on se, että sen kansainvälinen markkinoiminen ilmastollisesti kestäväna metsätaloutena voi olla vaikeaa. Boreaalinen karu metsäojitettu suo on poikkeustapaus. Muissa maankäytöissä ja ilmasto-oloissa ojitus aiheuttaa merkittävää turpeen hävikkiä, joten soiden ojitusta pidetään yleisesti (ja aivan oikein) ilmaston kannalta haitallisena toimintana. Jos metsätaloutta karuilla kasvupaikoilla ei pidetä taloudellisesti kannattavana, suo voidaan hyvällä omallatunnolla jättää itseksensä ennallistumaan. Ravinteikkailla kasvupaikoilla puuston kasvun kannalta riittävä kuivatus (vedenpinta n. 30 cm) ylläpitää turpeen hävikkiä. Siten kuivatuksen ylläpito ja ojien kunnostus on ilmaston kannalta ongelmallista. Hyvin kasvava ravinteikas suometsä (maaperä ja puusto yhteensä) on kuitenkin yleensä kasvihuonekaasujen nielu tai neutraali (Ojanen ym. 2013), minkä takia välitön suon ennallistaminenkaan ei ole perusteltu tai nopea ratkaisu ilmastonmuutoksen torjumiseksi (Ojanen & Minkinen käsikirjoitus a). Sekä ilmaston että metsätalouden kannalta toimiva ratkaisu voisi olla jatkaa puuston kasvatusta avohakkuita ja uudistamiskustannuksia välttämällä, niin kauan kuin se nykyisellä ojituksella on mahdollista. Koska tällä hetkellä kelpollisesti toimivien ojien tukkeutuminen kestää vuosikymmeniä, ilman kunnostusojitusta ehdittäneen nyt hyvin kasvavasta suometsästä korjata arvokas tukkisato ennen maaperän liiallista vettymistä. Jos ojia ei syvennetä, syvät turvekerrokset pysyvät tallessa.



Kirjallisuus

- Aapala, K., Similä, M. & Penttinen, J. 2013. Ojitettujen soiden ennallistamisopas. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisu. Sarja B 188.
- Dai, A. 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change* 3: 51–58. doi: 10.1038/NCLIMATE1633
- Ernfors, M., Sikström, U., Nilsson, M., Klemetsson, L., 2010. Effects of wood ash fertilization on forest floor greenhouse gas emissions and tree growth in nutrient poor drained peatland forests. *Sci. Tot. Environ.* 408, 4580–4590. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.06.024>.
- Faubert, P., Tiiva, P., Rinnan, A., Räsänen, J., Holopainen, J. K., Holopainen, T., Kyrö E., & Rinnan, R. 2010a. Non-methane biogenic volatile organic compound emissions from a subarctic peatland under enhanced UV-B radiation. *Ecosystems* 13: 860–873
- Faubert, P., Tiiva, P., Rinnan, Å., Rätty, S., Holopainen, J. K., Holopainen, T., & Rinnan, R. 2010b. Effect of vegetation removal and water table drawdown on the nonmethane biogenic volatile organic compound emissions in boreal peatland microcosms. *Atmos. Environ.* 44: 4432–4439.
- Frolking, S., Roulet, N. & Fuglestad, J. 2006. How northern peatlands influence the Earth's radiative budget: Sustained methane emission versus sustained carbon sequestration. *Journal of Geophysical Research* 111: G01008. doi: 10.1029/2005JG000091
- Frolking, S. & Roulet, N. 2007. Holocene radiative forcing impact of northern peatland carbon accumulation and methane emissions- *Global Change Biology* 13: 1079–1088. doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01339.x
- Gao, Y., Markkanen, T., Backman, L., Henttonen, H. M., Pietikäinen, J.-P., Mäkelä, H. M. and Laaksonen, A. Biogeophysical impacts of peatland forestation on regional climate changes in Finland. *Biogeosciences* 11: 7251–7267. doi: 10.5194/bg-11-7251-2014
- Haapalehto, T., Vasander, H., Jauhiainen, S., Tahvanainen, T. & Kotiaho, J. 2011. The Effects of Peatland Restoration on Water-Table Depth, Elemental Concentrations, and Vegetation: 10 Years of Changes. *Restoration Ecology* 19(5): 587–598.
- Hanson, D. T., Swanson, S., Graham, L. E., & Sharkey, T. D. 1999. Evolutionary significance of isoprene emission from mosses. *Am. J. Bot.* 86: 634–639.
- Hedberg, P., Kotowski, W., Saetre, P., Mälson, K., Rydin, H. & Sundberg, S. 2012. Vegetation recovery after multiple-site experimental fen restorations. *Biological Conservation* 147: 60–67.
- Heikkinen, T., Ojanen, P., Minkinen, K., Penttilä, T., Haapalehto, T. & Tolvanen, A. 2016. Ennallistamisen vaikutus metsänkasvatuskelvottomien soiden metaanivirtoihin. *Suo* 67(1): 22–26.
- Hellén, H., Hakola, H., Pystynen, K.-H., Rinne, J., & Haapanala, S. 2006. C₂–C₁₀ hydrocarbon emissions from a boreal wetland and forest floor. *Biogeosciences* 3: 167–174.
- Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds.) 2014. Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/index.html>
- Hommeltenberg, J., Schmid, H.P., Drösler, M. & Werle, P. 2014. Can a bog drained for 531 forestry be a stronger carbon sink than a natural bog forest? *Biogeosciences* 11: 3477–3493. doi: 10.5194/bg-11-3477-2014
- Huttunen, J., Nykänen, H., Martikainen, P.J. & Nieminen, M. 2003. Fluxes of nitrous oxide and methane from drained peatlands following forest clear-felling in southern Finland. *Plant and Soil* 255: 457–462.
- Jolly, W.M., Cochrane, M., Freeborn, P., Holden, Z., Brown, T., Williamson, G. & Bowman, D. 2015. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications* 6: 7537. doi: 10.1038/ncomms8537



- Joosten, H. 2010. The global peatland CO₂ picture: Peatland status and drainage related emissions in all countries of the world. Wetlands International. Available at: www.wetlands.org
- Juottonen, H., Hynninen, A., Nieminen, M., Tuomivirta, T.T., Tuittila, E.-S., Nousiainen, H., Kell, D.K., Yrjälä, K., Tervahauta, A. & Fritze, H. (2012) Methane-cycling microbial communities and methane emission in natural and restored peatlands. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(17), 6386–6389.
- Kareksela, S., Haapalehto, T., Juutinen, R., Matilainen, R., Tahvanainen, T. & Kotiaho, J. Fighting carbon loss of degraded peatlands by jump-starting ecosystem functioning with ecological restoration. *Science of the Total Environment* 537: 268–276.
- Klemetsson, L., Ernfors, M., Björk, R., Weslien, P., Rütting, T., Grill, P., Sikström, U., 2010. Reduction of greenhouse gas emissions by wood ash application to a *Picea abies* (L.) Karst. forest on a drained organic soil. *Eur. J. Soil Sci.* 61, 734–744. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01279.x>.
- Korkiakoski, M., Ojanen, P., Minkkinen, K., Penttilä, T., Rainne, J., Laurila, T. & Lohila, A. 2018. The effect of partial harvesting and clearcutting on CO₂, CH₄ and N₂O balances in a drained peatland forest. *Geophysical Research Abstracts* 20: 12014.
- Korkiakoski, M., Tuovinen, J-P., Penttilä, T., Sarkkola, S., Ojanen, P., Minkkinen, K., Rainne, J., Laurila, T. & Lohila, A. 2018. Greenhouse gas and energy fluxes in a boreal peatland forest after clearcutting. *Biogeosciences Discussions*. <https://doi.org/10.5194/bg-2018-473>
- Koskinen, M., Maanavilja, L., Nieminen, M., Minkkinen, K. & Tuittila, A-S. 2016. High methane emissions from restored Norway spruce swamps in southern Finland over one growing season. *Mires and Peat* 17: Article 02. doi: 10.19189/MaP.2015.OMB.202
- Komulainen, V-M., Nykänen, H., Martikainen, P.J. & Laine, J. (1998) Short-term effect of restoration on vegetation change and methane emissions from peatlands drained for forestry in southern Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 28(3), 402–411.
- Komulainen, V-M., Tuittila, E-S., Vasander, H. & Laine, J. (1999) Restoration of drained peatlands in southern Finland: initial effects on vegetation change and CO₂ balance. *Journal of Applied Ecology*, 36(5), 634–648.
- Laine, A., Mehtätalo, L., Tolvanen, A., Frolking, S. & Tuittila, E-S. 2019. Impacts of drainage, restoration and warming on boreal wetland greenhouse gas fluxes. *Science of the Total Environment* 647: 169–181.
- Lohila, A., Aurela, M., Tuovinen, J-P. & Laurila, T. 2004. Annual CO₂ exchange of a peat field growing spring barley or perennial forage grass. *Journal of Geophysical Research* 109: D18116.
- Lohila, A., Laurila, T., Aro, L., Aurela, M., Tuovinen, J-P., Laine, J., Kolari, P. & Minkkinen, K. 2007. Carbon dioxide exchange above a 30-year-old Scots pine plantation established on organic-soil cropland *Boreal Environment Research* 12: 141–157.
- Lohila, A., Minkkinen, K., Laine, J., Savolainen, I., Tuovinen, J-P., Korhonen, L., Laurila, T., Tietäväinen, H. & Laaksonen, A. 2010. Forestation of boreal peatlands: Impacts of changing albedo and greenhouse gas fluxes on radiative forcing. *Journal of Geophysical Research* 115: G04011.
- Maanavilja, L., Aapala, K., Haapalehto, T., Kotiaho, J. & Tuittila, E. (2014) Impact of drainage and hydrological restoration on vegetation structure in boreal spruce swamp forests. *Forest Ecology and Management*, 330, 115–125.
- Maanavilja, L., Kangas, L., Mehtätalo, L. & Tuittila, E-S. 2015. Rewetting of drained boreal spruce swamp forests results in rapid recovery of *Sphagnum* production. *Journal of Applied Ecology* 52: 1355–1363.
- Maljanen, M., Hytönen, J. & Martikainen, P.J. 2010. Cold-season nitrous oxide dynamics in a drained boreal peatland differ depending on land-use practice. *Canadian Journal of Forest Research* 40: 565–572.
- Maljanen, M., Hytönen, J. & Martikainen, P.J. 2001a. Fluxes of N₂O, CH₄ and CO₂ on afforested boreal agricultural soils. *Plant and Soil* 231: 113–121.



- Maljanen, M., Jokinen, H., Saari, A., Strömmer, R., Martikainen, P.J., 2006. Methane and nitrous oxide fluxes, and carbon dioxide production in boreal forest soil fertilized with wood ash and nitrogen. *Soil Use Manage.* 22, 151–157. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2006.00029.x>.
- Maljanen, M., Komulainen, V-M., Hytönen, J., Martikainen, P.J. & Laine, J. Carbon dioxide, nitrous oxide and methane dynamics in boreal organic agricultural soils with different soil characteristics. *Soil biology 6 Biochemistry* 36: 1801–1808.
- Maljanen, M., Liikanen, A., Silvola, J. & Martikainen, P.J. 2003a. Methane fluxes on agricultural and forested boreal organic soils. *Soil Use and Management* 19: 73–79.
- Maljanen, M., Liikanen, A., Silvola, J. & Martikainen, P.J. 2003b. Nitrous oxide emissions from boreal organic soil under different land-use. *Soil Biology & Biochemistry* 35(5): 689–700.
- Maljanen, M., Liimatainen, M., Hytönen, J., Martikainen, P.J., 2014. The effect of granulated wood-ash fertilization on soil properties and greenhouse gas (GHG) emissions in boreal peatland forests. *Bor. Environ. Res.* 19, 295–309.
- Maljanen, M., Martikainen, P.J., Walden, J. & Silvola, J. 2001b. CO₂ exchange in an organic field growing barley or grass in eastern Finland. *Global Change Biology* 7: 679–692.
- Maljanen, M., Shurpali, N., Hytönen, J., Mäkiranta, P., Aro, L., Potila, H., Laine, J., Li, C. & Martikainen, P.J. 2012. Afforestation does not necessarily reduce nitrous oxide emissions from managed boreal peat soils. *Biogeochemistry* 108: 199–218.
- Maljanen, M., Virkajärvi, P., Hytönen, J., Öquist, M., Sparrman, T. & Martikainen, P.J. 2009. Nitrous oxide production in boreal soils with variable organic matter content at low temperature – snow manipulation experiment. *Biogeosciences* 6: 2461–2473.
- Mathijssen, P., Kähkölä, N., Tuovinen, J-P., Lohila, A., Minkkinen, K., Laurila, T. & Väli-ranta, M. 2017. Lateral expansion and carbon exchange of a boreal peatland in Finland resulting in 7000 years of positive radiative forcing. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 122(3): 562–577. doi: 10.1002/2016JG003749
- Mathijssen, P., Tuovinen, J-P., Lohila, A., Aurela, M., Juutinen, S., Laurila, T., Niemelä, E., Tuittila, E-S. & Väli-ranta, M. 2014. Development, carbon accumulation, and radiative forcing of a subarctic fen over the Holocene. *The Holocene* 24(9): 1156–1166. doi: 10.1177/0959683614538072
- Minkkinen, K., Korhonen, R., Savolainen, I. & Laine, J. 2002. Carbon balance and radiative forcing of Finnish peatlands 1990–2100 – the impact of forestry drainage. *Global Change Biology* 8: 785–799.
- Minkkinen, K. & Laine, J. 1998. Long-term effect of forest drainage on the peat carbon stores of pine mires in Finland. *Canadian Journal of Forest research* 28: 1267–1275.
- Minkkinen, K. & Laine, J. 2006. Vegetation heterogeneity and ditches create spatial variability in methane fluxes from peatlands drained for forestry. *Plant Soil* 285: 289–304.
- Minkkinen, K., Laine, J. & Hökkä, H. 2001. Tree Stand Development and Carbon Sequestration in Drained Peat-land Stands in Finland – a Simulation Study. *Silva Fennica* 35(1): 55–69.
- Minkkinen, K. & Ojanen, P. 2013. Pohjois-Pohjanmaan turvemaiden kasvihuonekaasutaseet. *Metlan työraportteja* 258: 75–111.
- Minkkinen, K., Ojanen, P., Koskinen, M. & Penttilä, T. Käsikirjoitus. Nitrous oxide emissions of undrained, forestry-drained and rewetted boreal peatlands.
- Minkkinen, K., Ojanen, P., Penttilä, T., Aurela, M., Laurila, T., Tuovinen, J-P. & Lohila, A. 2018. Persistent carbon sink at a boreal drained bog forest. *Biogeosciences* 15: 3603–3624.
- Minkkinen, K., Vasander, H., Jauhiainen, S., Karsisto, M. & Laine, J. 1999. Post-drainage changes in vegetation composition and carbon balance in Lakkasuo mire, Central Finland. *Plant and Soil* 207: 107–120.
- Moilanen, M., Hytönen, J., Leppälä, M., 2012. Application of wood ash accelerates soil respiration and tree growth on drained peatland. *Eur. J. Soil Sci.* 63, 467–475. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2012.01467.x>.



- Moilanen, M., Silfverberg, K., Hokkanen, T., 2002. Effects of wood-ash on the tree growth, vegetation and substrate quality of a drained mire: a case study. *For. Ecol. Manage.* 171, 321–338.
- Mäki, M. 2019. Volatile organic compound fluxes from northern forest soils. Väitöskirja. *Dissertationes Forestales* 275: 1–52.
- Mäkiranta, P., Hytönen, J., Aro, L., Maljanen, M., Pihlatie, M., Potila, H., Shurpali, N., Laine, J., Lohila, A., Martikainen, P.J. & Minkkinen, K. 2007. Soil greenhouse gas emissions from afforested organic soil croplands and cutaway peatlands. *Boreal Environment Research* 12: 159–175.
- Mäkiranta, P., Laiho, R., Penttilä, T. & Minkkinen, K. 2012. The impact of logging residue on soil GHG fluxes in a drained peatland forest. *Soil Biology & Biochemistry* 48: 1–9.
- Mäkiranta, P., Minkkinen, K., Hytönen, J. & Laine, J. 2008. Factors causing temporal and spatial variation in heterotrophic and rhizospheric components of soil respiration in afforested organic soil croplands in Finland.
- Mäkiranta, P., Riutta, T., Penttilä, T. & Minkkinen, K. 2010. Dynamics of net ecosystem CO₂ exchange and heterotrophic soil respiration following clearfelling in a drained peatland forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 1585–1596.
- Ojanen, P. & Minkkinen, K. käsikirjoitus a. Rewetting offers fast climate benefits for tropical and agricultural but not for forestry-drained peatlands. Arvioitavana julkaisua varten.
- Ojanen, P. & Minkkinen, K. käsikirjoitus b. The dependency of soil net CO₂ emissions on water table depth in boreal peatlands drained for forestry. Arvioitavana julkaisua varten.
- Ojanen, P., Minkkinen, K., Alm, J., Penttilä, T., 2010. Soil–atmosphere CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in boreal forestry-drained peatlands. *For. Ecol. Manage.* 260, 411–421. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.036>.
- Ojanen, P., Minkkinen, K., Alm, J., Penttilä, T., 2018. Corrigendum to “Soil–atmosphere CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in boreal forestry-drained peatlands” [*Forest Ecology and Management* 260: 411–421]. *For. Ecol. Manage.* 412, 95–96. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.01.020>.
- Ojanen, P., Minkkinen, K., Penttilä, T., 2013. The current greenhouse gas impact of forestry-drained boreal peatlands. *For. Ecol. Manage.* 289, 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.008>.
- Ojanen, P., Penttilä, T., Tolvanen, A., Hotanen, J.-P., Saarimaa, M., Nousiainen, H. & Minkkinen, K. 2019. Long-term effect of fertilization on the greenhouse gas exchange of low-productive peatland forests. *Forest Ecology and Management* 432: 786–798.
- Olivier, J., Schure, K. & Peters, J. 2017. Trends in global CO₂ and total greenhouse gas emissions: 2017 report. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague. 69 p. Available at: www.pbl.nl/en
- Page, S. E., Rieley, J. O., & Banks, C. J. 2011. Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Global Change Biology* 17, 798–818. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02279.x>
- Pearson, M., Saarinen, M., Minkkinen, K., Silvan, N. & Laine, J. 2012. Short-term impacts of soil preparation on greenhouse gas fluxes: A case study in nutrient-poor, clearcut peatland forest. *Forest Ecology and Management* 283: 10–26.
- Pihlatie, M., Rinne, J., Lohila, A., Laurila, T., Aro, L. & Vesala, T. 2004. Nitrous oxide emissions from an afforested peat field using eddy covariance and enclosure techniques. Teoksessa: Päivänen, J. (toim.): *Proceedings of the 12th International Peat Congress. Volume 2. International Peat Society.* s. 1010–1014.
- Regina, K., Syväsalö, E., Hannukkala, A. & Esala, M. 2004. Fluxes of N₂O from farmed peat soils in Finland. *European Journal of Soil Science* 55: 591–599.
- Regina, K., Pihlatie, M., Esala, M. & Alakukku, L. 2007. Methane fluxes on boreal arable soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119: 346–352.
- Rütting, T., Björk, R., Meyer, A., Klemetsson, L., Sikström, U., 2014. Reduced global warming potential after wood ash application in drained Northern peatland forests. *For. Ecol. Manage.* 328, 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.05.033>.



- Saari, P., Saarnio, S., Kukkonen, J., Akkanen, J., Heinonen, J., Saari, V. & Alm, J. 2009. DOC and N₂O dynamics in upland and peatland forest soils after clear-cutting and soil preparation. *Biogeochemistry* 94: 217–231.
- Saarsalmi, A., Smolander, A., Moilanen, M., Kukkola, M., 2014. Wood ash in boreal, lowproductive pine stands on upland and peatland sites: long-term effects on stand growth and soil properties. *For. Ecol. Manage.* 327, 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.031>.
- Simola, H., Pitkänen, A. & Turunen, J. 2012. Carbon loss in drained forestry peatlands in Finland, estimated by re-sampling peatlands surveyed in the 1980s. *European Journal of Soil Science* 63: 798–807.
- Sirin, S., Medvedeva, M., Maslov, A. & Vozbrannaya, A. 2018. Assessing the Land and Vegetation Cover of Abandoned Fire Hazardous and Rewetted Peatlands: Comparing Different Multispectral Satellite Data. *Land* 7(2): 71. doi: 10.3390/land7020071
- Teuling, A., Taylor, C., Meriink, J., Melsen, L., Miralles, D., Heerwaarden, C., Vautard, R., Stegehuis, A., Nabuurs, G-J. & Vilà-Guerau de Arellano, J. 2017. Observational evidence for cloud cover enhancement over western European forests. *Nature Communications* 8: 14065. doi: 10.1038/ncomms14065
- Tiiva P., Rinnan R., Faubert P., Räsänen J., Holopainen T., Kyrö E. & Holopainen J.K. 2007. Isoprene emission from a subarctic peatland under enhanced UV-B radiation. *New Phytologist* 176: 346–355.
- Tilastokeskus 2019. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2018. 2., korjattu painos. Ympäristö ja luonnonvara 2019. ISBN 978-952-244-616-9
- Tunved, P., Hansson, H-C., Kerminen, V-M., Ström, J., Dal Maso, M., Lihavainen, H., Viisanen, Y., Aalto, P., Komppula, M. & Kulmala, M. 2006. High Natural Aerosol Loading over Boreal Forests. *Science* 312: 261–263. doi: 10.1126/science.1123052
- Turetsky, M., Amiro, B., Bosch, E. & Bhatti, J. 2004. Historical burn area in western Canadian peatlands and its relationship to fire weather indices. *Global Biogeochemical Cycles* 18: GB4014. doi: 10.1029/2004GB002222
- Turunen, J., Tomppo, E., Tolonen, K. & Reinikainen, A. (2002) Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland - application to boreal and subarctic regions. *The Holocene*, 12(1), 69–80.
- Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Morozov, G. & Karoles, K. 2017. 684 Ecosystems carbon budgets of differently aged downy birch stands growing on well-drained 685 peatlands. *Forest Ecology and Management* 399: 82–93. doi: 10.1016/j.foreco.2017.05.023__



3 Metsän uudistamisen vaihtoehdot ojitetuilla turvemailla

Markku Saarinen, Luonnonvarakeskus

3.1. Johdannoksi

Vuonna 1928 säädetyn ensimmäisen metsänparannuslain seurauksena alkoi maassamme runsaan vuosikymmenen kestänyt ennennäkemätön soiden uudisojituksen aikakausi. Tämän sotien jälkeen päättyneen lapio-ojituskauden tuloksena kuivattiin suota lähes miljoona hehtaaria (Hökkä ym. 2002). Nämä ojitusalueet ovat saavuttaneet jo 80–90 vuoden kuivatusiän. Jo kuivatushetkellä puustoa kasvavina osa niistä on ollut jo pitkään uudistamiskypsässä vaiheessa tai uudistaminen on edessä viimeistään lähimmän vuosikymmenen aikana. Etelä- ja Kaakkois-Suomessa tyypillinen tuon aikakauden ojitusalue on jokin ns. aidoista korpityypeistä, ruoho-, mustikka- ja kangaskorvet tärkeimpinä (Keltikangas ym. 1986). Rämetyyppien osuus on kuitenkin merkittävin Pohjanmaalla, Kainuussa ja Lapissa, jossa myös suurin osa maamme alkuperäisestä 10 miljoonasta suohehtaaristakin sijaitsee. Tuon alueen rämeiden ojitusalueilla sijaitsee myös suurin osa siitä runsaan 800 000 hehtaarin pinta-alasta, jonka kuivattamisen kannattavuus on ollut jo lähtökohtaisesti kannattamatonta tai joilla ei ainakaan uuden puusukupolven perustaminen ja metsätalouden jatkaminen ole taloudellisesti mielekästä (Laiho ym. 2016).

Vuosikymmenien saatossa on osa kaikkiaan yli viidestä miljoonasta ojitetusta suohehtaarista muuttanut ohutturpeisuuden vuoksi kangasmaaksi ja osa otettu muuhun kuin metsätalouden käyttöön. Kun jäljellä olevista vähennetään vielä kitu- ja joutomaan ojitusalueet, jää metsämaaksi luokiteltavia ojitettuja turvemaita noin neljä miljoonaa hehtaaria. Nämä ojitetut turvemaametsät ovat vielä valtaosin nuoria ja varttuneita kasvatusmetsiä mutta niillä ollaan yhä nopeutuvassa tahdissa siirtymässä toisen puusukupolven uudistamisen vaiheeseen. Samalla mäntyvaltaisten metsien osuus uudistettavista ojitusalueista lisääntyy voimakkaasti suhteessa kuusi- ja lehtipuuvaltaisiin uudistamiskohteisiin. Lähitulevaisuuden metsänuudistaminen ojitetuilla soilla onkin erityisesti mäntyvaltaisten varpu- ja puolukaturvekankaiden uudistamista. Valtakunnan metsien 11. inventoinnin (2009-2013) mukaan turvemaiden uudistushakkuiden pinta-ala inventointia edeltäneellä 10-vuotiskaudella oli 207 000 ha, mikä oli vajaa 14 % ajankohdan uudistushakkuiden kokonaisalasta (Luke, Ihalainen, VMI 11). Tämä oli suunnilleen sama pinta-ala, mikä edellisessä inventoinnissa (VMI 10) arvioitiin olevan välittömän uudistamisen tarpeessa. Kun siihen lisättiin kaikki tuolloin lähimmän vuosikymmenen aikana uudistettavissa olevat ojitusalueet, päästiin noin 700 000 hehtaarin kokonaispinta-alaan.

Ojitusalueilla uuden puusukupolven perustamisen kannattavuus on todennäköisesti huonompaa kuin vastaavan tuotospotentiaalin omaavalla kangasmaalla. Tämä johtuu erityisesti vesi- ja ravinnetalouden ylläpitämisen sekä vesistöjen suojelun edellyttämistä lisäkustannuksista. Kannattavuuteen vaikuttavat myös huonosti kantavan maapohjan ja ojaverkoston aiheuttamat korkeammat korjuukustannukset, joiden ainakin teoriassa voisi olettaa johtavan kangasmaiden hakkuuleimikoita pienempiin kantorahatuloihin. Varsinkin varputurvekankailla on syytä miettiä, kannattaako toista ojituksen jälkeistä puusukupolvea perustaa lainkaan. Harkinta on paikallaan ainakin silloin, jos käytetään kalleinta mätästys-istutus-uudistamisketjua eteläisintä Suomea pohjoisempana. Etelä-Suomi pois lukien on ojitusalueilla kaikkiaan 575 000 ha varputurvekankaita (Keltikangas ym. 1986), joista huomattavalla osalla toisen puusukupolven kasvatuksen kannattavuus lienee varsin kyseenalaista, mikäli metsikön perustamiskustannukset nousevat korkeiksi.

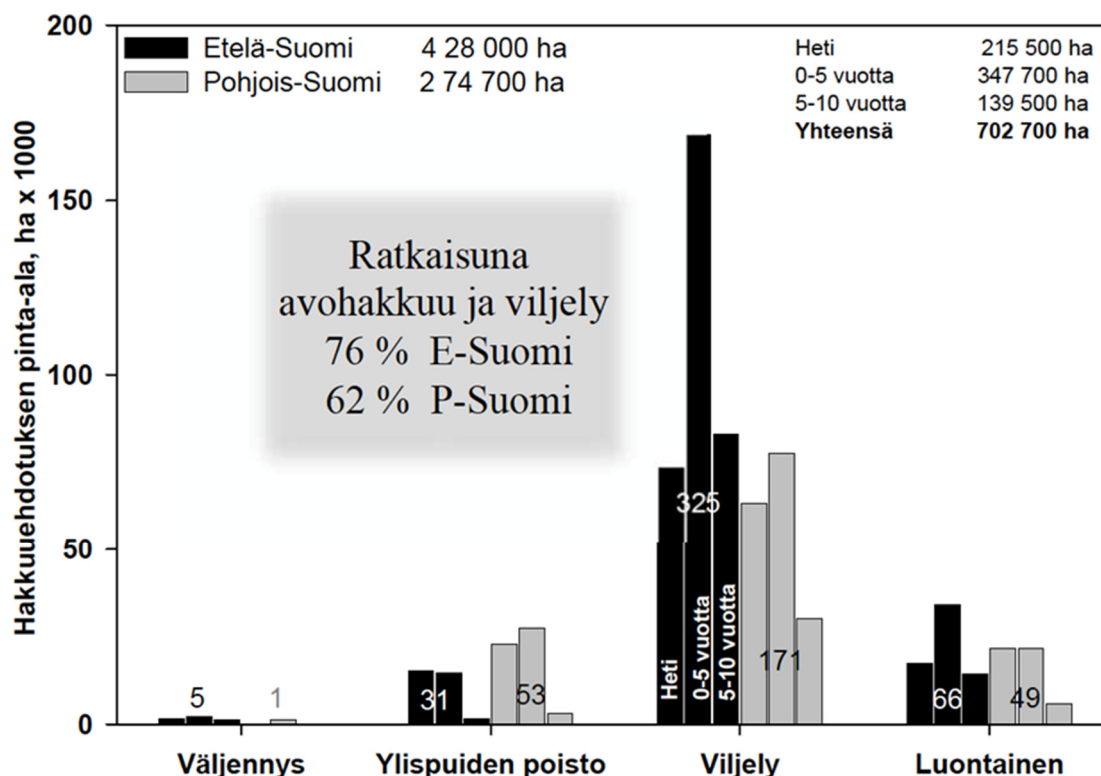


Ojitusalueiden metsätalouden tutkimusten tärkeimpien kysymysten joukkoon kuuluukin mitä näille varputurvekankaille tehdään jatkossa. Jos uusi puusukupolvi perustetaan, niin millä menetelmillä saadaan uudistaminen pienimmillä kustannuksilla tyydyttävästi onnistumaan? Tämä edellyttää tutkimustietoa erityisesti luontaisen uudistamisen ja kylvön mahdollisuuksista niissä turvemaiden uudistamisalojen erityisolissa, joita ei kangasmaiden uudistamisaloilla esiinny tai ne korostuvat ojitusalueella eri tavalla. Uudistamisalan lämpöolojen suurempi vaihtelu eli käytännössä hallanarkuus, turpeen kivennäismaista poikkeavat ravinnesuhteet ovat näistä eroavaisuuksista hyviä esimerkkejä (Kaunisto ja Päivänen 1985, Saarinen 1997). Tärkeimmät siementen itämiseen ja sirkkataimien varhaiskehitykseen vaikuttavat ympäristötekijät liittyvät kuitenkin ojitusalueille ominaiseen kasvillisuuteen ja siinä tapahtuviin muutoksiin sekä kasvualustan kosteusvaihteluihin. Tältä osin kosteiden rahkasammalkasvustojen vaihteleva esiintyminen, korkealla oleva turpeen vedenpinta sekä turpeen kyky sitoa kosteutta ja toisaalta kuivan turpeen vettä hylkivät ominaisuudet erottavat turvemaat selkeästi kangasmaista. Nämä ovat samalla niitä kylväen tai luontaisesti tapahtuvaan taimettumiseen vaikuttavia tekijöitä, joihin liittyvät suurimmat turvemaiden uudistamista koskevat tiedon puutteet.

Turvemaiden metsänuudistamiseen vaikuttavia ympäristötekijöitä

- Korkealla oleva "pohjavesi" ja sen vaihtelu
- Muokatun turpeen kosteusvaihtelut
- Turve- ja kivennäismaalajien vaihtelu
- Ravinneolot
- Lämpötilavaihtelut
- Pintakasvillisuus ja sen muutokset

Turvemaiden metsien uudistaminen on tällä hetkellä suurten muutospaineiden edessä (ks. kuva 1.) Kaikki jaksolliseen metsätalouteen pohjautuvat uuden puusukupolven perustamisen menetelmät lisäävät vesistöjen ravinteiden ja orgaanisen aineksen kuormitusta samoin kuin kasvihuonekaasujen kannalta ongelmallista turpeen vedenpinnan syvyysvaihtelua. Tämä ei koske pelkästään avohakkuita maanmuokkauksineen ja viljelyineen vaan myös luontaiseen uudistumiseen tähtääviä siemenpuuhakkuita. Turvemaiden metsätalouden yhteiskunnallinen hyväksyttävyys näyttäisi tällä hetkellä riippuvan paljon siitä, miten nämä ympäristövaikutukset pystytään minimoimaan. Tärkeimpänä ratkaisumallina on pidetty jatkuvasti peitteelliseen metsätalouteen siirtymistä, joka laajamittaisena toteutuessaan vaikuttaisi hyvin voimakkaasti eri maanmuokkausmenetelmien käyttötarpeeseen. Tämän kaltaisen tulevaisuusnäkömyksen mukaan varsinkin mätästyksen osuus tulisi olennaisesti vähenemään ja samalla kevyiden pintamuokkausvaihtoehtojen osuus lisääntymään. Eniten lisääntyisivät sellaiset metsän kasvatuksen menettelyt, joissa maata ei muokata lainkaan. Niissä hyödynnettäisiin mahdollisimman paljon luontaisia alikasvoksia sekä taimiainesta. Sillä tavoiteltaisiin pienialaisina puustoryhminä vaihtelevaa puuston erirakenteisuutta tai säännöllisen eri-ikäisrakenteista jatkuvaa kasvatusta. Tähän pyritäisiin erimittaisten siirtymävaiheiden kautta soveltamalla aluksi yläharvennustyyppisiä hakkuita, ylispuustojen poistoja sekä pienaukko- ja kaistalehakkuita.



Kuva 1. Metsämaan soiden lähimmän 10-vuotiskauden hakkuuehdotukset. VMI10 2009. (Saarinen 200x)

3.2. Taimettumiseen vaikuttavat tekijät turvemilla

3.2.1. Kasvillisuuden vaikutus taimettumiseen

Luonnontilaisella suolla siemenen itämisen ja sirkkataimen alkukehityksen kannalta on olennaista rahkasammalkehoituksen ylläpitämä kosteus, mikä säilyy kuivimmissakin sääolosuhteissa sammalten vettä varastoivan solukon ja suon pintaa lähellä olevan turpeen vedenpinnan ansiosta (Losee 1961, Jeglum 1979, Groot ja Adams 1994). Sammalkehoituksen kasvu ja ajoittain liian korkealle nouseva vedenpinta tukahduttavat kuitenkin suurimman osan luonnontilaisen suon pinnalle vuosittain syntyvästä taimimateriaalista (Saarinen 1933, Roe 1949, Arnott 1968, Johnston 1977, Jeglum ja Kennington 1993). Ojitusalueilla tämä vedenpinnan haitallinen vaikutus on poistettu, kunnes ojaverkoston toimivuus aikaa myöten heikkenee. Rahkasammalversojen kasvu on kuivatuksen myötä myös taantunut, vaikka niiden peittävyys säilyykin pitkään merkittävänä osana ojitusalueen kasvillisuutta.

Yleisesti ottaen rahkasammalet ruskean rahkasammalten muodostamia mättäitä lukuun ottamatta ovat ainoat lajit, jotka ojitusalueilla useimmiten tarjoavat otollisen itämisalustan puiden siemenille (Place 1955, Heinselman 1957, Sarasto ja Seppälä 1964, Johnston 1977, Wood ja Jeglum 1984, Groot ja Adams 1994). Myös rämekehoitus- ja suonihuopasammalpinnot sekä ruohoturvekankaiden varstasammalpinnot voivat olla hyviä taimettumisalustoja. Sen sijaan muut kehoitus- ja kehoituspinnot sekä turvekankaille ominaiset seinä- ja kehoituspinnot taimettuvat erittäin huonosti. Seinasammalten osalta taimettumisherkkyys tosin vaihtelee, sillä sammalten taimettumista heikentävät ominaisuudet liittyvät todennäköisesti enemmän niiden kasvutapaan ja -voimakkuuteen kuin sammalajiin sinänsä (Sarasto ja Seppälä 1964).



Metsäojitetun suon kasvillisuuden kehitykseen eli kasvillisuuden sukkessioon vaikuttavat ympäristötekijät muuttuvat voimakkaasti, kun ojituksen jälkeen kehittynyt ensimmäinen puusukupolvi uudistetaan. Puuston poiston ja muokkauksen seurauksena niillä esiintyy paljon pienipiirteistä kasvupaikkavaihtelua. Ne ovat myös kasvillisuudeltaan nopean muutoksen tilassa (esim. Moilanen ym. 1995). Turvemaiden muokkausjälkien kasvillisuuden kehittymiseen voidaan olettaa vaikuttavan ainakin seuraavat tekijät: kasvualustan laatu (esim. turvelaji, maatuneisuus) ja ravinteisuus (Reinikainen 1965, Moilanen ym. 1995, Salonen & Laaksonen 1994), turpeen vedenpinnan syvyys (mm. Tuittila ym. 2000a, b), ilmasto ja säävaihtelut (mm. kuivuminen, sateet), paljastuneessa turpeessa mahdollisesti olevat kasvilajien leviäimet (Jauhiainen 1998) sekä ympäröivä kasvillisuus (Moilanen ym. 1995).

Varpu- ja puolukkaturvekankailla pohjakerroksen kasvillisuusmuutokset ovat vähäisiä päätehakkuun jälkeen. Toisinaan vedenpinnan tason nousu hakkuun jälkeen voi aiheuttaa rahkasammalpintojen leviämisen. Suurimmat muutokset liittyvät kenttäkerroksen lajistoon, jossa erityisesti taimettumista haittaavan tupasvillan peittävyys voi kasvaa erittäin voimakkaasti valaistuksen lisääntymisen ja vedenpinnan nousun myötä (Kuusipalo ja Vuorinen 1981, Laine ja Vanha-Majamaa 1990, Saarinen ym. 2009). Varsinkin laikkuihin muodostuvan kasvillisuuden kehitys riippuu vedenpinnan tason vaihteluista. Kasvillisuuden kokonaispeittävyys laikuissa pienenee ja kehitys hidastuu huomattavasti, kun vedenpinnan taso vastaa hyvässä kuivatustilassa olevan ojitusalueen vedenpinnan tasoa. Puolukkaturvekankaalla laikkupintojen peittyminen kasvillisuuteen riippuu selvemmin vedenpinnan tasosta kuin mustikkaturvekankaalla. Jos vedenpinnan taso on yli 30 cm:n etäisyydellä laikun pinnasta, pinta-kasvillisuusmuutokset ovat varsin hitaita (Saarinen ym. 2009). Uudistusalan kunnostusojitus heti muokkauksen yhteydessä on siten tehokas toimenpide pyrittäessä hidastamaan laikkupintojen peittymistä kasvillisuuteen. Mustikkaturvekankaalla karhunsammalet ja harmaasara peittävät laikkupintoja myös vedenpinnan tason ollessa syvemmällä. Tämän vuoksi laikkujen säilyminen kasvipeitteettöminä on huomattavasti lyhytaikaisempaa kuin puolukkaturvekankailla myös silloin, kun vedenpinnan taso vastaa kunnostusojitusta seuraavaa kuivatustilaa. Laikutusta voidaankin suositella muokausmenetelmäksi etupäässä puolukka- ja varputurvekankaalle.

Mätästysaloilla suhteellisen kookkaat, yli 25 cm:n korkuiset, mättäät pysyvät pitkään kasvipeitteettöminä varsinkin silloin, kun ne on tehty syvältä nostetusta hyvin maatuneesta turpeesta. Hitaamman pintakasvillisuuskehityksensä ansiosta mättäät ovat laikkuja parempia taimettumisalustoja mustikkaturvekankailla. Toisaalta viljavien ojitusalueiden mätästyspinnat saattavat jo parissa vuodessa peittyä karhunsammalkasvustoihin ja haitata taimettumista nopeammin kuin vastaavat kivennäismaiden muokkausjäljet (Moilanen ym. 1995). Mustikka- ja ruohoturvekankaiden ohutturpeisia uudistamisaloja mätästettäessä on syytä välttää tekemästä matalia alle 20 cm:n korkuisia kivennäismassekoitteisia mättäitä. Ne peittyvät usein hyvin nopeasti kastikkakasvustojen alle (Saarinen ym. 2009). Ruohoturvekankaiden uudistusaloilla kenttäkerroksen kasvillisuuden kehitys on erityisen voimakasta. Tiheä vadelmakasvusto on usein merkittävin piirre viljavimpien turvemaiden avohakkuualueilla. Samoin maitohorsma ja mesiangervo synnyttävät tiheitä ja taimia varjostavia kenttäkerroksen kasvustoja (Hannerz ja Hånell 1993, Moilanen ym. 1995).

3.2.2. Ojituksen jälkeiset pintaturpeen muutokset

Luonnontilaisilla soilla puiden ja aluskasvillisuuden karikkeet hautautuvat nopeasti kasvavaan sammal- ja pintaturvekerrokseen. Suon ojituksen, suokasvillisuuden häviämisen, turvekerrostuman kasvun loppumisen ja puustobiomassan lisääntymisen myötä tilanne muuttuu. Vaikka luonnontilaisen suon sammallajisto vähitellen katoaa, ei uusi kuivempiin oloihin sopeutunut ja kangasmaille tyypillinen lajisto yleensä kykene välittömästi korvaamaan syntyntyttä uutta kasvutilaa (Vasander 1990). Sen biomassassa on lisäksi aiempaa suosammallajistoa selvästi vähäisempi (Vasander 1987). Ojitusalueen biomassatuotoksen painopiste siirtyy sammal- ja varpukasvillisuudesta puustoon, joka tuottaa yhä runsaammin kariketta (Laiho ja Laine 1996). Lisääntyvä maanpäällinen karikesato kerrostuu kasvunsa



lopettaneen turvekerroksen pinnalle (Vasander 1987). Tämän ojitusalueille kerrostuvan ja pääosin puiden karikkeista muodostuvan raakahumushorisontin on todettu olevan merkittävä uudistusalan taimettumiseen vaikuttava ympäristötekijä (Yli-Vakkuri 1958, Sarasto 1963, Kaunisto 1984, Kaunisto ja Päivänen 1985). Sen vaikutuksia on kuitenkin kokeellisesti tutkittu hyvin vähän.

Raakahumuksen kerrostuminen estyy, jos rahkasammalen kasvunopeus on suuri tai jo syntyneelle paljaalle karikepinnalle leviää myöhemmin uutta rahkasammalkasvustoa. Hyvin ohueksi jääneet sammalpeitteettömät karikekerrostumat voivat vielä olla hyviä taimettumispintoja verrattuna jo vuosikymmeniä sitten turve-kankaaksi muuttuneen ojitusalueen paksuihin ja osin kangassammalien peittämiin karikekerrostumiin. Karikekerrostumien paksuudessa ja rakenteessa on myös puustosta ja viljavuustasosta riippuvaa vaihtelua. Paksuin, ilmavin ja pintaosistaan nopeimmin kuivuva raakahumus löytyy todennäköisimmin mäntyvaltaisten puolukka- ja varputurvekankaiden hyvin kuivatetuilta ojitusalueilta, joilla laajat seinä- ja kynsisammalien kasvustot ovat merkinä pitkään jatkuneesta turvekangasvaiheesta. Varputurvekankailla voi runsaan rämevarvuston juurihuovasto lisätä kerrostuman ilmavuutta, jolloin sen kuivumisherkkyys on erityisen suuri (Saarinen&Hotanen 2000, Saarinen 2013).

Korpikuusikoiden ja lehtipuuvaltaisten ojitusalueiden raakahumus on yleensä varsin ohut ja tiivis, jolloin taimettumisherkkyys säilyy useimmiten melko hyvänä ilman muokkausta. Tästä on hyvänä esimerkkinä vaikkapa korpikuusikon pienaukkohakkuiden jälkeinen taimettuminen, joka perustuu uusien sirkkataimien syntymisen lisäksi usein jo ennen hakkuuta esiintyvään runsaaseen taimiainekseen (Hökkä ym. 2011, 2013, 2018).

3.2.3. Turpeen vedenpinnan syvyyden vaikutus laikutusjäljen taimettumiseen

Turpeen vedenpinnan syvyys vaikuttaa ojitusalueilla suoraan puiden juuriston kasvutilaan ja sen ilmaavuuteen (Paavilainen 1967, 1970, Lähde 1969, Päivänen 1973, Mannerkoski 1985). Toisaalta puusto vaikuttaa haihdunnallaan voimakkaasti vedenpinnan vaihteluun (Päivänen 1982, Hökkä ym. 2008). Useimmiten vedenpinta on riittävän lähellä (alle 50 cm) suon pintaa mahdollistaakseen veden katkeamattoman kapillaarisen yhteyden pintaturpeeseen (Paavilainen ja Virrankoski 1967, Paavilainen 1970, Ahti 1974, Laine ja Mannerkoski 1975, Mannerkoski 1985). Pintaturve voi näin ollen pysyä turpeen ominaisuuksista ja haihdunnan voimakkuudesta riippuen taimettumisen kannalta riittävän kosteana pitkienkin sateettomien kausien aikana. Maan kosteuteen voidaan sääolojen sallimissa rajoissa vaikuttaa metsätaloudellisin toimenpitein. Ojaverkoston kunnostuksen jälkeen vedenpinnan keskimääräinen syvyys lisääntyy ja turpeen pintaosat kuivuvat. Vastaavasti kunnostus-toimenpiteiden viivästäminen, ojien patoaminen ja voimakkaat puuston hakkuut nostavat vedenpinnan tasoa.

Vedenpinnan syvyydestä, sääoloista ja turpeen rakenteesta riippuva itämisalustan vesipitoisuus ja veden sitoutuneisuus eli vesipotentiaali vaikuttavat itämistulokseen ja sirkkataimien kehitykseen (Satto ja Goo 1954, Kamra 1968, 1969, Larson ja Schubert 1969, Kaunisto 1971, Mannerkoski 1971, 1976, 1985). Itämisen mahdollistava kasvualustan vesipotentiaali vaihtelee laajoissa rajoissa, mutta vesipotentiaalin laskiessa itämisnopeuskin laskee. Liiallinen vesi taas haittaa itämistä vaikeuttamalla siementen hapen saantia (esim. Kramer ja Kozlowski 1960).

Vedenpinnan läheisyys ei kuitenkaan edistä siementen itämistä, mikäli itämisalusta saa muutoinkin riittävästi kosteutta esimerkiksi sateen muodossa. Mikäli sadetta ei ole ja kasvualustan kosteus on turpeessa olevan veden varassa, vedenpinnan kohoaminen lisää siementen itämistä. Liian lähellä kasvualustaa oleva vedenpinta (alle 10 cm) on toisaalta sirkkataimien juurtumisen ja varhaiskehityksen kannalta epäedullinen (Kaunisto 1971, Mannerkoski 1971). Vedenpinnan syvyyden vaikutus riippuu myös puulajista hieskoivun taimettumisen ollessa mäntyä ja kuusta vähemmän herkkä korkealle vedenpinnan tasolle (Paavilainen 1970). Maanpintaa lähellä olevan vedenpinnan epäedullinen vaikutus ilmenee erityisesti muokkaamattomalla turvepinnalla, johon on katkeamaton kapillaarinen yhteys



(Kaunisto 1971). Turvepinnan muokkaus ja kapillaarihuokosten rikkoutuminen vastaavasti vähentää itämisalustan kosteutta vähäsateisten ja kuivien sääjaksojen aikana (Groot ja Adams 1994).

Koejärjestelyissä, joissa vedenpinnan taso on pidetty vakiosyvyydessä, männyn sirkkataimien kasvu on ollut parasta vedenpinnan ollessa 10–30 cm syvyydellä kasvupisteestä (Mueller-Dombois 1964, Paavilainen 1970, Kaunisto 1972, Paavilainen ja Norlamo 1975, Mannerkoski 1976, 1985). Taimien kasvaessa vedenpinnan tason on oltava syvemmällä turpeessa kasvuoptimin saavuttamiseksi (Mueller-Dombois 1964, Ferda 1968). Luonnonoloissa vedenpinnan syvyys kuitenkin vaihtelee sääolojen mukaan. Tällöin ne kosteusolot, jotka vallitsevat vedenpinnan ollessa lähimpänä maanpintaa, vaikuttavat eniten sirkkataimien kehitykseen. Sirkkataimien kasvu heikkenee, jos vedenpinnan taso nousee vaikka vain lyhytaikaisestikin mutta toistuvasti, alle 10 cm:n syvyydelle turpeen pinnasta (Mannerkoski 1985).

Vedenpinnan syvyyttä on siis syytä tarkastella myös suhteessa sen kasvukauden aikaiseen vaihteluun. Tämän vaihtelun huomioimisessa on erityisen tärkeää se, kuinka korkealle vedenpinta nousee heinä- ja elokuun aikana, jolloin juuriston kehitys on voimakkaimmillaan (Pelkonen 1979). Itämistapahtuman ja syntyneen sirkkataimen kasvun optimit turpeen vedenpinnan syvyyden suhteen ovat näin ollen erilaiset. Tähän liittyvät kenttäkokeet ovat osoittaneet, kuinka vedenpinta voidaan alkukesän aikana pitää varsin korkealla ja samalla edistää taimien syntyä, mikäli se loppukesällä laskee riittävän alas eli käytännössä vähintään n. 25 cm:n syvyydelle (Saarinen 2013, Saarinen ym. 2013).

Vedenpinnan syvyyden vaikutus taimettumiseen riippuu olennaisesti myös turvekankaalle ominaisen raakahumuserrostuman paksuudesta. Kapillaarikontaktin taimettumista edistävä vaikutus heikkenee kun raakahumuserrostuman paksuus lisääntyy. Vastaavasti kapillaarisuuden vaikutus on erityisen voimakas silloin, kun pintakasvillisuus ja raakahumus poistetaan ja turvepinta paljastetaan (Kaunisto 1971, Kaunisto 1984, Saarinen 2013, Saarinen ym. 2013). Tällöin ei ole suositeltavaa antaa turpeen vesipinnan nousta liian korkealle. Toisaalta raakahumus voi korkeimpien vedenpintojen vallitessa vähentää liiallisen kosteuden kasvua hidastavaa vaikutusta ainakin ensimmäisten kasvukausien aikana. Vedenpinnan voimakaskin nousu on kuitenkin mahdollista avo- ja siemenpuuhakkuun jälkeen, jos peruskuivatus on huonossa kunnossa tai ojitusalueen reuna- eli niskaojat puuttuvat runsaasti vettä syöttävien kangasmaiden laidoilta. Mainituissa tapauksissa kunnostusojitus voi olla tarpeellinen toimenpide heti uudistamisen yhteydessä. Yleisesti ottaen voidaan sanoa että ojitetuilla turvemailla muokkausmenetelmän valinnassa pitää aina huomioida uudistettavan kohteen ojaverkoston kunto ja uudistusalan kuivatuksen tila.

3.2.4. Mättään pintakerroksen kosteusvaihtelun vaikutus taimettumiseen

Turpeen vedenpidätysominaisuudet poikkeavat suuresti kivennäismaasta. Suuren huokostilavuuden omaava maatumaton turve voi sitoa itseensä vettä kaksinkertaisen määrän saman huokostilavuuden omaavaan hiekkaan verrattuna (Andersson ja Wiklert 1972). Kun huokostila pienenee ja maalajin tiheys kasvaa, saattaa samassa huokostilavuudessa olla savimaassa enemmän vettä kuin turpeessa. Toisaalta samaan tilavuuteen verrattuna on vesi kuitenkin voimakkaammin sitoutuneena saveen ja huonommin kasveille käyttökelpoisessa muodossa kuin turpeen vesi.

Ojitusmätästetyllä turvekankaan uudistamisalalla mättäiden turve on pudotettu kaivurin kauhasta raakahumus- ja kasvillisuuspintaan tai toisinaan jopa hakkuutähteiden päälle. Kapillaariyhteys turpeen vedenpintaan katkeaa tai yhteys on erittäin heikko. Toisaalta vedenpinta ei myöskään pääse nousemaan mättääseen heikentämään huokostilan ilmavuutta. Turpeeseen sitoutumaton liika vesi on päässyt valumaan pois ja mätästurpeen sitoma vesimäärä vastaa teoreettista kenttäkapasiteettia (Veihe Meyer ja Hendrickson 1949, Päivänen 1973). Sateen yhteydessä turpeeseen suotautuu lisää vettä ja kuivempien sääjaksojen aikaisen haihdunnan vaikutuksesta mättäät taas osittain kuivuvat. Mitä maatumempi ja samalla tiheämpi ja pienemmän huokoskoon omaava turve, sitä



voimakkaammin se pidättää vettä ja sen myötä myös säilyttää kosteutensa pidempienkin kuivien sääjaksojen aikana (Päivänen 1973).

Aukean uudistamisalan mättäät ovat alttiita tuulelle ja auringon paisteelle, joten pidempien kuivien sääjaksojen aikana ne kuivuvat pintaosistaan yleensä usean sentin vahvuisena kerroksena. Turpeelle on ominaista, että tiettyyn vesipitoisuuteen kuivuttuaan se muuttuu vettä hylkiväksi eli hydrofobiseksi, jonka jälkeen se kostuu uudelleen hyvin hitaasti (Brandyk ym. 2003, Naasz ym. 2008, Szajdak ja Szatyłowicz 2010). Tämä ilmiö tulee esiin, kun turpeen vesipitoisuus on kuivumisen seurauksena laskenut alle 20–30 % (Berglund 1996). Ilmiöön vaikuttavat turpeen kosteuden lisäksi turpeen kasvi-jäännekoostumus, maatumisen aste ja kemialliset ominaisuudet kuten rautahumaattien pitoisuudet (Bunt 1988). Uudistamisalan turvemättäissä hydrofobia tarkoittaa käytännössä sitä, että kuivan alkukesän vaikutuksesta pintaosiltaan kuivuneiden ja ”kuorettuneiden” mättäiden uudelleen kostuminen edellyttää hyvin pitkäaikaisia sateita, jotta vesi pääsee vähitellen imeytymään turpeeseen. Osin hydrofobisuudesta johtuen voidaan turpeen kosteusvaihtelussa havaita ns. hystereesi-ilmiö, jossa turpeen vedenpidätyskyky riippuu huokoskoon lisäksi siitä, onko turpeen vesipitoisuus lasku- vai noususuunnassa eli onko turve kuivumassa vai kostumassa uudelleen (Schwärzel ym. 2002, Anlauf ym. 2012). Kuivuvassa turpeessa vesi on voimakkaammin sitoutunut kuin saman vesipitoisuuden omaavassa uudelleen kostuvassa turpeessa. Tämän vuoksi aiemmin jo kuivunut ja sateissa kosteutta saanut turvemätäs kuivuu herkästi uudelleen seuraavien kuivien sääjaksojen aikana.

Vanhojen ojitusalueiden uudistamisen tähän mennessä saadut kokemukset kertovat kuinka istuttaminen mättäisiin onnistuu yleensä varsin hyvin mutta kylvötulokset ovat vaihtelevia (mm. Mannerkoski 1975, Moilanen ja Issakainen 1981, Kaunisto ja Päivänen 1985, Moilanen ym. 1995). Siementen itämisen ja sirkkataimien varhaiskehityksen kannalta mättään pintakerroksen kosteusvaihtelun on todettu olevan merkittävä tätä selittävä tekijä (Saarinen ym. 2013, Saarinen 2013). Erityisesti saraturpeen kuivumisen jälkeinen uudelleen kostuvuus on ollut heikko ja siementen itäminen vähäistä. Myös maatunut ja kuivunut rahkaturve on osoittautunut huonoksi itämisalustaksi. Siinä missä maatunut saraturve kuivuttuaan muuttuu helposti murenevaksi pölyäväksi jauheeksi, kovettuu rahkaturve koviksi kokkareiksi, joita on vaikea murtaa ja joihin taimien on vaikea juurtua. Toisaalta samat tutkimukset osoittivat, että siementen itämisen ja sirkkataimien syntymisen kannalta huonoimmat maatuneen saraturpeen mättäät olivat niissä selviytyneiden ja niille myöhemmin juurtuneiden taimien kasvun kannalta parhaita kasvualustoja. Parhaiten kuivumisensa jälkeen uudelleen kostuneina taimettuvat sellaiset mätästurpeet, jotka säilyttivät ”multamaisen” mururakenteensa. Näitä ovat ne rahka- ja saraturpeet, joissa oli runsaasti puuainesta. (Saarinen 2013).

3.2.5. Alikasvokset luontaisen uudistamisen mahdollisuutena

Kuusen sopeutumisesta ylispuuhakkuun jälkeiseen valaistusolojen muutokseen on julkaistu toisistaan poikkeavia tutkimustuloksia etupäässä kangasmaiden alikasvostaimikoista. Kuusten on todettu kärsineen vakavista neulasvaurioista ja monet ovat myös kuolleet (Andersson 1984, Stålfelt 1935). Toisaalta on havaittu kuusen kasvun 2-5 vuoden taantuman jälkeen menestyneen hyvin valaistusolojen nopeankin muutoksen jälkeen (Andersson 1988, Bergan 1971, Cajander 1934, Katrusenko 1965, Koistinen & Valkonen 1993, Skoklefald 1967). Tuloksia vertailtaessa on huomattava, että kuusen menestymiseen vaikuttavat myös hakkuun aiheuttamat vesitalouden muutokset (Heikurainen & Päivänen 1970, Orlov 1983, Päivänen 1974, 1980, 1982), ilman suhteellisen kosteuden lasku, lämpöolojen äärevöityminen ja hallariskin lisääntyminen (Leikola 1975, Leikola & Rikala 1983, Multamäki 1942, Perttu 1974). On mahdollista, että taimien kuolemiseen ja voimakkaaseen neulaskatoon liittyvät havainnot ovatkin selitettävissä etupäässä em. muiden ympäristötekijöiden kuin valo-olojen muutoksen perustella (esim. Katrusenko 1965, Seryakov 1994, Robertsdotter-Gnojek 1992). Myös erot alikasvoskuusten koossa, kunnossa ja aikaisemmassa kasvussa selittävät niiden sopeutumista uusiin ympäristöoloihin (Cajander 1934, Koistinen & Valkonen 1993). Pitkään ”kitunut” huonokuntoinen alikasvos



tuhoutuu kertahakkuulla tapahtuvan vapauttamisen jälkeen helposti ja on siitä syystä vapautettava kahdessa vaiheessa (Vuokila 1980).

Auringon säteilyn äkillinen ja voimakas lisääntyminen aiheuttaa joka tapauksessa muutoksia alikasvoskuusten fysiologiassa. Ruotsalaisissa tutkimuksissa yhteyttämistehokkuuden ja osittain myös klorofyllin eli viherhiukkaspigmenttien pitoisuuden on todettu laskevan ylispuuhakkuun seurauksena (Robertsdotter-Gnojek 1992). Lisäksi tiettyjen kivennäisravinteiden puute voi vaikuttaa sopeutumiseen uusiin valo-oloihin, sillä viherhiukkasten tuhoutuminen valaistuksen lisääntyessä on voimakkaampaa kaliumin, magnesiumin ja sinkin puutteesta kärsivillä kasveilla (Marschner & Cakmak 1988, kts. myös Laatsch & Zech 1967).

Venäläisissä tutkimuksissa on todettu kuusten neulasten typpi- ja fosforipitoisuuksien nousseen heti ylispuuston poistamisen jälkeisen kasvukauden aikana (Katrusevko 1967, Koshelkov 1982, Vomperskaja 1980). Samalla kuitenkin kaliumpitoisuudet laskivat (Koshelkov 1982). Kuusten pääravinnetasapaino siis horjui ylispuuhakkuun jälkeen. Toisen ja kolmannen kasvukauden jälkeen typen pitoisuudet laskivat entiselle tasolle, mutta fosforipitoisuudet puolestaan alemmas kuin hakkuuta edeltäneessä vaiheessa. Kaliumpitoisuudet jatkoivat laskuaan aina puutosrajalle asti. Vastaava havainto on tehty myös eteläsuomalaisella ojitusalueella. Siinä hakkuun jälkeisen voimakkaan neulasten typpipitoisuuden nousun arvioitiin johtuvan turpeen lisääntyneestä mikrobitoiminnasta ja päällyspuuston aiemmin käyttämän liukoisen typen vapautumisesta alikasvoksen käyttöön (Saarinen & Sarjala 1999). Turpeen liukoisen typen pitoisuudet nousivatkin hakkuun jälkeen n. 60%. Kaliumpitoisuuksien lasku yhdessä kasvaneiden typpipitoisuuksien kanssa saattoi liittyä mineraaliravinteiden ns. ohentumisilmiöön (vrt. Veijalainen 1979). Tämä edellyttää kuitenkin samanaikaista neulasten kuiva-ainepainon lisääntymistä, mitä kyseisessä tutkimuksessa ei havaittu. Todennäköisesti alikasvoksen käytettävissä ollut vapaa juuristotila oli huomattavasti lisääntynyt ylispuuston juuristokilpailun poistuttua ja ojituksen laskettua pohjaveden korkeutta. On siis mahdollista, että kuusten juuriston kasvu lisääntyi voimakkaasti. Kaliumin käytön keskittyminen juuriston kasvupisteisiin saattoikin olla tärkein syy neulasten kaliumpitoisuuksien laskuun. Pääravinnesuhteet kuitenkin muuttuvat hakkuun jälkeen nopeasti puiden kannalta epäedulliseen suuntaan huolimatta hakkuutähteisiin sitoutuneiden ja ylispuuston aiemmin käyttämien ravinteiden vapautumisesta. Syntyvän ravinne-epätasapainon seuraukset riipunevat ennen hakkuuta vallinneesta tilasta. Hakkuun jälkeen yhä kärjistyneemmän typen ja kaliumin epätasapainon vuoksi kuuset eivät ehkä kestäkään aiheutettua ympäristöolojen muutosta. Hakkuun yhteydessä annettava PK-lannoitus kuitenkin parantaa nopeasti ravinnetilan jo ensimmäisen hakkuun jälkeisen kasvukauden aikana. Lisääntyneen valaistuksen aiheuttamaan fotosynteesitehon taantumaan se ei kuitenkaan vaikuta, joten lannoitus on todennäköisestiärkevin ajoittaa aina-kin vuotta aikaisemmaksi kuin ylispuuhakkuu.

Seuraavassa tiivistelmä yleisimmistä uudistamisvaihtoehdoista kasvupaikoittain:

Varputurvekangas	Puolukkaturvekangas	Mustikka- ja ruohoturvekangas
Männyn kylvö (vtkg+) - kylvö mieluummin mätäille, toissijaisesti laikkuihin - laikutus ensisijaisesti luontaista uudistamista varten - istutuksella uudistamisketjusta liian kallis Luontainen uudistaminen - edellyttää useimmiten muokkauksen turvekankailla - yhtenäisillä rahkasammalpinnoilla mahdollista myös ilman muokkausta	Mätästys ja männyn istutus tai kylvö - jos runsaasti koivua (pääosa ptkg II -kohteista), suositetaan mätästystä ja istutusta - oksikkuus ja huono laatu suurena riskinä istutettaessa mätä mätäille - Kuusen istutus hyvänä vaihtoehtona Luontainen uudistaminen - ensisijaisesti ptkg I tai sellaisilla ptkg II -kohteilla, joissa vähän koivua - mitä enemmän koivua, sitä enemmän painotetaan mätästykseen ensisijaisuutta - runsaskoivuiset kohteet viljellen Kuusialikasvoston hyödyntäminen - hyväkuntoiset täystiheät alikasvokset lähinnä ptkg II -kohteilla (selkeästi alempana jaksossa) - ptkg I:lla useimmiten hyvin erirakenteisia (→ erirakenteisen metsän kasvatus ?) Riittäkö kalium turpeessa II-typin kohteilla ? - Tuhkalannoitus	Viljely - Mätästys ja kuusen istutus Luontainen uudistaminen - pienialaisissa korpikaistaleissa avohakkuu, hieskoivun luontainen uudistuminen ja kuusi luontaisesti alikasvokseksi. Vanerikoivun kasvatusmahdollisuus ylimpänä jaksossa Etelä-Suomessa - kuusikko luontaisesti suoraan kuusikoksi edellyttää yhden valjennyksen ennen suojuspuuasentoa - Pienaukkohakkuut Kuusialikasvoston hyödyntäminen - mtkg II ja rhtkg II -kohteilla usein hyviä luontaisia kuusialikasvoksia - Kuusen istutuksesta hyviä kokemuksia hieskoivun alle ilman muokkausta ja taimikonhoitoa Riittäkö kalium turpeessa II-typin kohteilla ? - Tuhkalannoitus



3.3. Uudistamista edistävät toimenpiteet

3.3.1. Muokkauksen tarpeellisuus turvemilla

Aiemmin todettiin korpikuusikoiden olevan herkästi taimettuvia ja niillä esiintyvistä vaihtuvasta taimiaineksesta johtuen muokkaus voi olla jopa haitallista. Niiden lisäksi muokkaus voi olla, jos ei haitallista, niin ainakin merkitykseltään varsin vähäistä myös sellaisilla mäntyvaltaisilla ojitusalueilla, joilla raakahumus on hyvin ohutta ja joilla on runsaasti rahkasammalpintoja. Muokkaus edistää männyn taimettumista, mutta toisaalta se lisää tietyillä turvekangastyypeillä myös siemensyntyisen hieskoivun määrää. Koska hieskoivun poistaminen taimikonhoitovaiheessa on työlästä, voi olla järkevää jättää maanmuokkaus tekemättä. Ilman muokkaustakin saattaa männyn taimitiheys olla lopputuloksen kannalta riittävä (Hökkä ym. 2016, Hytönen ym. 2019).

Kylväen tai luontaisesti syntyvän taimettumisen edistämiseksi valittavan muokkausmenetelmän edut ja haitat riippuvat myös siitä, millaisia ovat siementen itämisen ja sirkkataimien kehittymisvaiheiden aikaiset lämpöolot, sateiden määrä ja niiden ajallinen vaihtelu. Sateet ja haihdunta vaikuttavat voimakkaasti vedenpinnan tasoon ja muokatussa turpeessa myös turpeen vesipitoisuuteen. Sateisina ja kylminä kasvukausina taimia syntyy heikosti itämisalustasta riippumatta, mutta lämpiminä kasvukausina laikut ja mättäät eroavat toisistaan sen mukaan, miten sateiden määrä vaihtelee. Mättäiden laikkuja kuivemmista kosteusoloista ei siis ole suurta etua, jos huonosti lämpöä sitova mätästurve ei sateisina ja kylminä kasvukausina lämpene riittävästi. Keskimääräistä sadantaa edustavan kasvukauden aikana mätästetyn uudistamisalan taimettumistulos on todennäköisesti parempi kuin laikutetulla alueella. Tämä ilmenee varsinkin sellaisina vuosina, jolloin vedenpinnan taso laikuissa nousee loppukesän aikana liian korkealle. Laikkujen kaltaiset pintamuokkausjäljet ovat parhaimmillaan keskimääräistä kuivempien ja lämpimämpien kasvukausien aikana (Saarinen 2013). Samoissa sääoloissa mättäät voivat kuivua liikaa. Tämä johtuu aiemmin kuvatuista kuivan turpeen vettä hylkivistä ominaisuuksista. Turvelajista ja turpeen maatuneisuudesta riippuen turvemättääseen voi syntyä vettä hylkivä ”kuorikerros” (Saarinen 2013).

Myös taimien pituuskehityksen seuranta on osoittanut, että mätästykseen ja laikutukseen paremmuusjärjestys määräytyy niiden kosteusvaihteluiden mukaisesti (Saarinen 2013, Saarinen ym. 2013). Mätäissä pituuskasvu oli parhaimmillaan suuren kuiva-ainetiheyden omaavilla ja erityisesti saravaltaisilla turpeilla, joissa pintaturpeen kosteus kesän kuivimmalla hetkellä ja vedenhylkivyyden eli hydrofobisuus suurin. Tämä tuli taimien pituuskehityksessä esille neljännestä kasvukaudesta alkaen. Laikuissa taimet kasvoivat parhaiten tietyn keskivedenpinnan mukaan määriteltävän optimisyvyyden vallitessa, mikä kyseisissä seurannoissa oli viiden vuoden ikäisillä taimilla n. 30-40 cm. Tämä edellyttää sitä, ettei loppukesän vedenpinta nouse enemmän kuin 10 cm kyseistä keskivedenpintaa ylemmäksi.

Laikutus, äestys tai muu turpeen pinnan myötäisesti tehty kevyt muokkaus ovat toimivia ratkaisuja, mikäli poistetaan vain pintakasvillisuus ja mahdollinen pintakasvillisuuden alla oleva raakahumuskerros. Muokkauksessa on kuitenkin vältettävä koskemasta raakahumuksen alla olevaan turvekerrostumaan. Koska maatunut pintaturve on huonosti vettä läpäisevää, ei siihen saa syntyä vettä kerääviä painautumia. Näin ollen on parasta pyrkiä lähinnä elävän sammalkasvuston poistamiseen. Tällöin laikkupintoihin usein jää osittain myös raakahumusta. Mikäli tavoiteltaisiin paljaita turvepintoja, syntyi kaivurityöskentelyn epätarkkuus huomioon ottaen herkästi liian syviä laikkuja (Saarinen 2013). Erilaiset jyrsinratkaisutkin ovat toimivia silloin kun raakahumusta ja sen alaista turvetta sekoitetaan siten että laikuittainen muokkausjälki jää koholle eikä synny painautumia (Helenius & Saarinen 2013). Jyrsinnessä on kuitenkin laikutuksesta poiketen syytä muokata riittävän syvältä, jotta jyrsinjäälki muodostuisi myös kosteutta sitovasta maatuneesta pintaturpeesta eikä pelkästään raakahumuskerroksesta.



Turvemailla on testattu myös kangasmaiden lautasaurausta jäljeltään muistuttavaa ketjujyrsintää, jossa syntyy pitkittäistä matalaa vakoa. Vaon viereen syntyy palle, joka muodostuu kulkusuuntaan nähden poikittain pyörivien ketjujen ”piiskaamasta” ja irrottamasta turpeesta sekä raakahumuksesta. Ketjujyrsinnän on todettu lisänneen merkittävästi luonnontaimien määrää (Kaunisto 1984, Saarinen 2002), joskin vähäsateisina ja aurinkoisina kesinä tiivistämätön palle saattaa kuivua liikaa. Jyrsinnän kaltaisen kevyen pintamuokkauksen vaikutus on kuitenkin mätästystä voimakkaammin yhteydessä pintakasvillisuuteen ja sen muutoksiin. Tästä voi mainita esimerkkeinä mm. rahka- ja karhunsamman, tupasvillan, harmaasaran ja pallosaran, jotka voivat paljastetun turpeen ominaisuuksista ja pohjavesipinnasta riippuen peittää hyvin nopeasti muokkausjäljen. Rahkasammalpinnat taimettuvat hyvin muokkaamattakin, jolloin pintamuokkauksen vaikutus näkyy selvimmin kuivilla turvekangaspinnoilla. Tosin rahkasammalkasvuston muokkaus saattaa joskus tuottaa kaikkein herkimmin taimettuvan pinnan varsinkin kuivina kesinä. Nämä pinnat ovat erityisen otollisia hieskoivun taimettumiselle, mikä saattaa muodostua ongelmaksi männyn taimien syntymiselle ja jatkokehitykselle varsinkin puolukaturvekankailla. Ongelma kärjistyy, jos koivun osuus on suuri hakkuuta edeltäneessä puustossa (nevojen ja nevarämeiden ojitusalueet). Kyseisessä tapauksessa uudistusalueelle kehittyy lisäksi tiheä ja nopeakasvuinen vesaikko.

Sateiden aiheuttaman vedenpinnan tason vaihtelun vuoksi laikutus on tarkoituksenmukainen maanpinnan valmistusmenetelmä vain silloin, kun sirkkataimia on mahdollista syntyä usean vuoden aikana eli luontaisen uudistamisen yhteydessä. Kylvö on turvallisinta tehdä mättäisiin, mutta jos mahdollista mieluummin manuaalisena vakokylvönä, kuin koneellisesti toteutettuna pintakylvönä. Tämä sen vuoksi, että mättään pintaturpeen kuivumisongelma korostuu, jos siemenet jäävät mättään pintaan. Kylvö on aina syytä tehdä mahdollisimman pian mätästyksen jälkeen ennen mättäiden pintakerrosten kuivumista. Myös istutus on kylvön tapaan turvallisinta tehdä mättäisiin.

Istutetuille taimille mättäiden pintakerroksen kuivuminen on harvoin ongelma, sillä turvemätäs ei yleensä kuivu enempää kuin noin 3-5 cm:n paksuisesta pintakerroksesta (Saarinen 2013). Istutustaimen juuripaakku yltää riittävän syvälle sellaisiin mättään turvekerroksiin, joiden kuivuminen voi olla ongelma vain poikkeuksellisen kuivina ja helteisinä kasvukausina.

Luontaista uudistamista edistävänä maanmuokkausmenettelynä olisi pintamuokkausmenetelmien lisäksi syytä soveltaa mätästystapoja, joissa turvemassaa ei nosteta kokonaan irti vedenpinnan kapillaarikontaktista. Yksi tähän tavoitteeseen soveltuva menetelmä on kääntömätästys, jossa kauhallinen turvetta käännetään ylösalaisin omaan kuoppaansa. Tällöin tavoitteena on muodostaa laakeita ja matalia kohoumia, joissa ei ole laikuille ominaisten pintavesikertymien ja liian korkealle nousevan vedenpinnan tason aiheuttamia kosteusongelmia. Samalla vähennetään pintaturpeen kuivumisriskiä, kun mättään pintaosien ja vedenpinnan tason kapillaarikontakti säilytetään.

3.3.2. Männyn ja kuusen viljelytuloksia

Kuusen istutus on ollut turvemaiden metsänviljelyn kokeellisesti testatuista viljelyvaihtoehdoista menestyksekkäin. Pohjois-Karjalan, Kainuun ja Lapin koekentillä suojuspuuston alle tai hallan ulottumattomissa olevan vaaranrinteen avoalalle mättäisiin istutetut kuusen taimet ovat menestyneet parhaiten. (Moilanen ym. 1995). Kuusen istutustaimista vain alle 10% oli kuollut kuuden kasvukauden jälkeen. Rouste nosti muutaman prosentin paakkutaimista. Hallavaurioita esiintyi vain topografialtaan alavien paikkojen koekentillä kuten Kolilla ja Kivalossa. Kuusen istutustaimien pituus oli Kolilla metrin ja muilla koekentillä puoli metriä kuuden kasvukauden jälkeen istutuksesta.

Kauniston (1984) perustamassa karun korven uudistamiskokeessa istutustaimet inventoitiin samana kesänä ilmenneiden pahojen hallatuhojen jälkeen. Pääversossa esiintyneiden hallavaurioiden esiintymisen todennäköisyys oli avoalojen muokkaamattomilla pinnoilla kaksinkertainen verrattuna koivu-verhoppuuston alla mätäspinoilla kasvaneisiin taimiin. Vastaavaa eroa ei kuitenkaan ollut, kun



verhopuuston suojassa olleita taimia verrattiin avoalan mättäille istutettuihin taimiin. Istutustaimista oli hallavaurioistaan huolimatta lähes kaikki elossa kymmenen kasvukauden kuluttua tehdyssä uusintainventoinnissa (Saarinen, julkaisematon aineisto).

Keski- ja Pohjois-Ruotsin viljavien korpikuusikoiden kokeissa taimien kuolleisuus oli neljän kasvukauden jälkeen 50 % muokkaamattomilla avoaloilla ja 30 % mätästetyillä kohteilla (Hånell 1992). Mätästetyillä suojuspuualoilla kuolleisuus oli 20 %. Kuolleisuuden ja hallavaurioiden suhteen ero avoalan mätästaimien ja suojuspuuston mätästaimien välillä oli merkitsevä. Suojuspuustoa pidettiin suotavana myös tukkimiehentäituhojen ehkäisemisen varalta.

Kuluvan vuosituhannen aikana tehdyistä suomalaisista turvemaiden kuusenistutusaloista ja niiden hallavaurioista ei ole saatavilla kattavia selvityksiä. Vuonna 2015 Pohjois-Karjalassa sekä Keski- ja Pohjois-Pohjanmaalla tehdyn ja vielä keskeneräisen tutkimuksen otantaan osuneista 10-15 vuoden ikäisistä kuusen viljelyaloista vain harvat olivat kokonaisuudessaan onnistuneet. Suurelta osin viljelykuuset olivat tuhoutuneet joko osittain tai kokonaan. Viljelytaimet olivat korvautuneet luontaisilla männyn ja hieskoivun taimilla (Saarinen ja Niemistö, julkaisematon aineisto). Vaikka kuusen istutuksesta on turvemaillakin paljon hyviä kokemuksia, kaipaa mätästykseen ja istutukseen perustuvan kalliin viljelyketjun kannattavuuden arviointi edelleen luotettavia ja valtakunnallisesti yleistettävissä olevia havaintoaineistoja.

Kuusen kylvön ongelmia ovat olleet mm. maatuneen saraturpeen rouste, kuivuminen ja halkeilu, mistä on tutkimustuloksia jo 30-luvulta Pohjois-Satakunnan viljavien nevojen ja kytöheittojen metsityskokeilta (Multamäki 1939). Myös viljavan kasvupaikan runsas pintakasvillisuus haittaa hidaskasvuisia kylvötaimia, vaikka kuusen on toisaalta todettu selviävän hyvinkin tiheästä kastikkakasvustosta. Kuokalla tehtyjen laikkupintojen kuusen kylvöt ovat pääosin epäonnistuneet. Ainoana poikkeuksena kuusen kylvöjen huonoon tulokseen on pohjoisten korpien kuusen hajakylvö, jonka tulokset ovat olleet Pohjois-Karjalan, Kainuun ja Lapin koekentillä erittäin hyvät (Moilanen ym. 1995). Näillä kokeilla siementä käytettiin kokeesta riippuen puolesta kilosta vajaaseen neljään kiloon hehtaarilla. Kylvö- ja luonnontaimet eivät olleet kylvöaloilla erotettavissa, mutta kylvökäsittely lisäsi merkitsevästi taimimäärää, joka vaihteli 10 000 - 40 000 kpl/ha välillä. Luontaisten taimien ja kylvötaimien pituus kuuden vuoden kuluttua viljelystä oli Kolilla 40 cm ja muissa kokeissa 20-35 cm.

Männyn istutustaimien elossa olo vaihtelee kuusen taimia enemmän. Mannerkosken (1975) Ruovedelle perustama ensimmäinen karun mäntyurvekankaan mätästyskoekenttä istutettiin kolmevuotiailla männyn taimilla. Neljän kasvukauden jälkeen mätästaimista oli elossa 94 %, muokkaamattomalla pinnalla 72 %. Taimien pituudet olivat vastaavasti 80 cm ja 56 cm. Taimilla ei esiintynyt roustevaurioita. Koealalle oli tullut runsaasti luonnontaimia etupäässä koivua mutta myös mäntyä taimimäärän vastaten täysitiheän taimikon määriä. Myös tupasvilla rehevöityi avohakkuun jälkeen.

Metsäntutkimuslaitoksessa perustettiin 1970-luvulla turvemaiden metsänuudistamisen koekenttiä, joissa testattiin tehokkaan kuivatuksen ja lannoituksen vaikutuksia istutettujen taimikoiden kasvuun ja kehitykseen. Syvillä ja tiheään kaivetuilla mätästysojilla kuivatettujen ja lannoitettujen ns. H-kulttuurikokeiden (Huikari 1972) viljelytuloksia on julkaistu alun perin 1909-1932 ojitetuilta ja nykyisin puolukka- ja mustikkaturvekankaiksi kehittyneiltä soilta (Kaunisto 1985). Kokeet oli inventoitu runsaan kymmenen vuoden ikäisinä. Männyn elossa säilyneiden taimien osuudet vaihtelivat 57-86 % välillä. Mäntytaimikoissa oli runsaasti kasvuhäiriöitä. Lisäksi sekä männyn että kuusen taimikoissa esiintyi runsaasti tyviosastaan lenkoja runkoja. Männyn pituuskasvu vastasi parhaimmillaan lehtomaisten kankaiden kasvun tasoa.

Männyn istutustaimikoille on yleisemminkin ollut ominaista myös oksikkuus, hirvi- ja myyrätuhot, sekä 1980-luvulla perustetuilla viljelyksillä versosurman aiheuttamat ranganvaihdot. Lisäksi luontaisen hieskoivun runsaus on ollut ongelmana jopa karuja varputurvekankaita myöten (Saarinen 2002). Ojitusalueiden männyn uudistamisessa olisikin hyvä etsiä ratkaisuja männyn laatukehityksen



ja hieskoivun runsauden luomaan ongelmaan siten, että hieskoivua voitaisiin mahdollisimman paljon hyödyntää istutetun taimikon tiheyden lisääjänä ja samalla männyn laadun parantajana.

Kylvön ja istutuksen keskinäinen käyttökelpoisuus ja niiden valintaan vaikuttavat tekijät vanhojen ojitusaluiden uudistamisessa ovat edelleenkin hankalia ohjeistaa selkeästi. Männyn kylvöt ovat onnistuneet useimmiten varsin hyvin mutta kuten kaikki tähänastiset metsänviljelyn tutkimustulokset ovat osoittaneet, niidenkin tulokset vaihtelevat kylvövuoden sääoloista riippuen kaikilla muokkauspinnoilla. Mikä tahansa maanpinnan rikkominen lisää selvästi männyn kylvötaimien määrää, eniten taimien määrä lisääntyy mätästetyillä kohteilla. Kuten aiemmin mainittiin, mättäillä itämisalustan pintakosteus kuitenkin vaihtelee suuresti. Tämä saattaa selittää suurimman osan männyn kylvötulosten vaihtelusta sääoloiltaan erilaisina vuosina.

3.3.3. Kokemuksia rauduskoivun viljelystä

Jo 1930-luvulla perustettiin muutamia rauduskoivun viljelykokeita soille (Lukkala 1951) mutta systemaattinen koivun viljelyn tutkimustoiminta alkoi vasta 1960-luvulla, jolloin perustettiin laajahkoja kokeita avosoille (Kaunisto 1973). Tulokset ovat olleet vaihtelevia mutta sienitautiherkkyytensä vuoksi rauduskoivu on nähty liian epävarmana puulajina ainakin koekenttien edustamilla paksuturpeisilla kasvupaikoilla. Lehtiniemi ja Sarasto (1973) perustivat vanhojen ojituskohteiden turvekankaalle koivun istutuskokeita jatkona aiemmin kuvailluille Saraston kylvökokeille (Sarasto 1963 ja 1964a). Kokeissa taimet istutettiin kourukuokalla käsittelemättömään pintaan. Osa ruuduista lannoitettiin suomaiden Y-lannoksella, jolla ei kuitenkaan ollut vaikutusta taimettumiseen ja taimien pituuskasvuun. Kolmen kasvukauden jälkeen elossa oli vajaa 70 % taimista. (Lehtiniemi ja Sarasto 1973).

Rauduskoivun taimet ovat menestyneet melko hyvin aiemmin mainittujen Pohjois-Karjalan, Kainuun ja Lapin koekenttien ohutturpeisilla mätästysaloilla (Moilanen ym. 1995). Taimista oli kuuden kasvukauden jälkeen elossa vähintään 85%. Sen sijaan paksuturpeisen Kivalon kokeen rauduskoivuista oli elossa vain viidennes. Taimien pituus vaihteli Kolilla ja Paljakassa kahden ja kolmen metrin välillä, kun taas Kolarin koivut olivat puolta lyhyempiä.

Osalla Metsäntutkimuslaitoksen H-kulttuurikokeista rauduskoivu on menestynyt hyvin paksuturpeisellakin ojitusalueella. Tehokkaasti kuivatettujen, mätästettyjen ja lannoitettujen koekenttien kymmenen vuoden ikäisissä koivikoissa elossa olevien taimien osuudet vaihtelivat välillä 64–83 %. Eri puulajeista rauduskoivun pituuskasvu oli ylivoimaisesti paras ja kuusen hitain (Kaunisto 1985). Yleisesti ottaen voitaneen sanoa, että rauduskoivun viljely on varteenotettava vaihtoehto ainakin niillä ohutturpeisilla ojitusalueilla, joissa kasvualusta on pääosin kivennäismaata ja kuivatus on tehokas. Tämä toteutuu useimmiten ohutturpeisten korpikaistaleiden mätästetyillä uudistamisaloilla.

3.3.4. Myös alikasvoksia voi viljellä ilman muokkausta

Metsäntutkimuslaitoksen toimesta on perustettu kuusen viljelykokeita, joissa kuusen taimia on istutettu nuoreen hieskoivun kasvatusmetsään alikasvokseksi suoraan muokkaamattomaan maahan. Koivikon alle istutetuista kuusista 70–90 % on säilynyt terveinä 10–15 vuoden seurantajakson aikana riippumatta ylispuukoivikon tiheydestä. Alle kahden metrin pituisena kuusten kasvu riippui vain vähän ylispuuston tiheydestä. Varttuneemmat taimet hyötyivät selvästi koivikon harvennuksesta. Musikkaturvekankaan viljavuustason ojitusalueilla kasvaneiden kuusten pituuskasvu elpyi noin 5–10 vuodessa samalle kasvun tasolle kuin alusta asti vapaana kasvaneet vastaavan kokoluokan kuuset kuuset. Kuuset kannattaa istuttaa pian koivikon ensiharvennuksen jälkeen, jolloin koivut ovat 30–35 vuoden ikäisiä ja niitä on noin 1000 kpl ha⁻¹. Koivukuitupuuta tuotettaessa koivun toista harvennusta ei tarvita ja kuusikko vapautetaan noin 15 vuoden kuluttua sen ollessa 2–3 metrin pituisista. Erityisen viljava ja hyvälaatuinen hieskoivikko voidaan tällöin harventaa toisen kerran ja kasvattaa koivutukkia kuusten päällä (Niemi & Poutiainen 2004).



3.3.5. Lannoituksen vaikutus taimettumiseen

Turvemailla puiden käytettävissä olevien kivennäisravinteiden ja kasvualustan typpimäärän suhde on huomattavasti pienempi kuin kangasmailla. Turpeen ravinnesuhteiden epäedullinen vaikutus taimettumiseen näyttäisi korostuvan koivun uudistumisessa, sillä fosfori- ja kaliumlannoitus edistää koivun taimettumista erityisesti kosteilla jyrsinvakopinnoilla (Saarinen 2002). Useimmissa tutkimuksissa lannoituksella ei ole ollut vaikutusta havupuiden taimettumiseen tai sitten vaikutus on ollut haitallinen (Koskela 1970, Paavilainen 1970, Kaunisto 1971, 1975, Mannerkoski 1971, 1972, Heikurainen & Laine 1976, Moilanen & Issakainen 1981, 1984, Saarinen 1993, Saarinen 2002). Haitta on sitä suurempi mitä kuivemmalle kasvualustalle lannoitteita lisätään. Männyn taimettumisen on tosin havaittu myös lisääntyneen erityisesti tuhkalannoitetuilla kylvömättäillä (Silfverberg 1995). Näin siitakin huolimatta, että siementen kastelu tuhkaluoksessa heikentää voimakkaasti itävyyttä. Erilaisten lannoitusten ja taimettumisen väliseen riippuvuuteen vaikuttaa olennaisesti kasvualustaan lisättyjen ravinteiden konsentraatio maavesiliuoksessa (Moilanen & Issakainen 1984). Tuhkan on todettu muuttavan myös turpeen fysikaalisia ominaisuuksia ja lisäävän sitä kautta taimettumisen mahdollisuuksia (Huikari 1951).

3.3.6. Turvemaiden kulotus

Turvemaiden kulotuksesta on aiemmin tehty vain yksi tutkimus (Yli-Vakkuri 1958), johtuen kaikesta turvepalon aiheuttamisen pelosta. Yli-Vakkurin lähinnä isovarpuisille rämemuuttumille perustamilla kokeilla hieskoivujen vesominen lisääntyi kulotuksen vaikutuksesta. Itse kulotuksen vaikutuksesta männyn taimettumiseen ei mainita mitään, mutta rahkasammalkasvustojen taimitiheydet olivat lähes kolminkertaiset seinäsammalkasvustoihin verrattuina. Kulotuksen vaikutusta männyn ja koivun taimettumiseen on varputurvekankaan siemenpuualalla tutkittu pienimuotoisesti myös 1990-luvulla (Saarinen ja Kaunisto, julkaisematon aineisto). Kulotuksen vaikutuksesta pintakasvillisuus muuttui seinäsammalvaltaisesta harvaa kytökarhunsammalta kasvavaksi, mutta männyn taimettuminen oli siitä huolimatta yllättävän heikkoa. Koivun kohdalla vaikutus oli päinvastainen kuin Yli-Vakkurin kokeessa. Koivuntaimia oli eniten palamatta jääneillä pinnoilla. Kangasmailla Yli-Vakkuri (1962) totesi palaneen pinnan olevan hyvin epäedullinen niin männyn, koivun kuin kuusenkin siementen itämiselle ja sirkkataimien syntymiselle ja taimettumisolojen paranevan vasta 3-5 vuotta kulotuksen jälkeen. Palaneen pinnan taimettumisherkkyys riippuu myös kulon voimakkuudesta (Schimmel 1993). Mikäli tuli polttaa vain osan hakkuutähteistä ja pintakasvillisuudesta, jää raakahumuskerrostuma sekä valtaosa kuolleesta ja mustuneesta seinäsammalkasvustosta jäljelle. Auringossa nopeasti kuivuva tumma karikeri- ja sammalpinna lieneekin suurin syy heikkoon taimettumistulokseen edellä kuvatulla hyvin ”pinnallisesti” palaneella kulotuskokeella.

3.4. Jatkovapeitteinen metsätalous turvemailla

Turvemaiden maankäytöstä aiheutuu suurempi vesistökuormitus, kuin kivennäismaiden maankäytöstä (Finér ym. 2010). Ravinteiden ja kiintoaineen huuhtoutumat lisääntyvät, kun turpeen vedenpinta nousee korkealle (Kaila ym. 2014, Nieminen ym. 2015). Toisaalta maaperän hiilidioksidipäästöt lisääntyvät sitä enemmän, mitä enemmän tehokkaalla kuivatuksella edistetään hajotustoimintaa vedenpintaa laskemalla (Ojanen 2015). Samalla lisääntyy myös turpeen maatumisen aiheuttama vesistökuormitus (Nieminen ym. 2017, 2018).

Ympäristöjärjestöjen taholta metsätaloutta on jo pitkään kehoitettu siirtymään jatkovapeitteiseen metsänkasvatukseen turvemaiden metsätalouden ympäristöongelmien vähentämiseksi. Viime vuosina tämä kysymys on noussut myös merkittäväksi tutkimusaiheeksi (Nieminen ym. 2018). Metsien hoidon näkökulmasta kysymys kuuluu; voidaanko jatkuvalla puuston peitteisyydellä vähentää

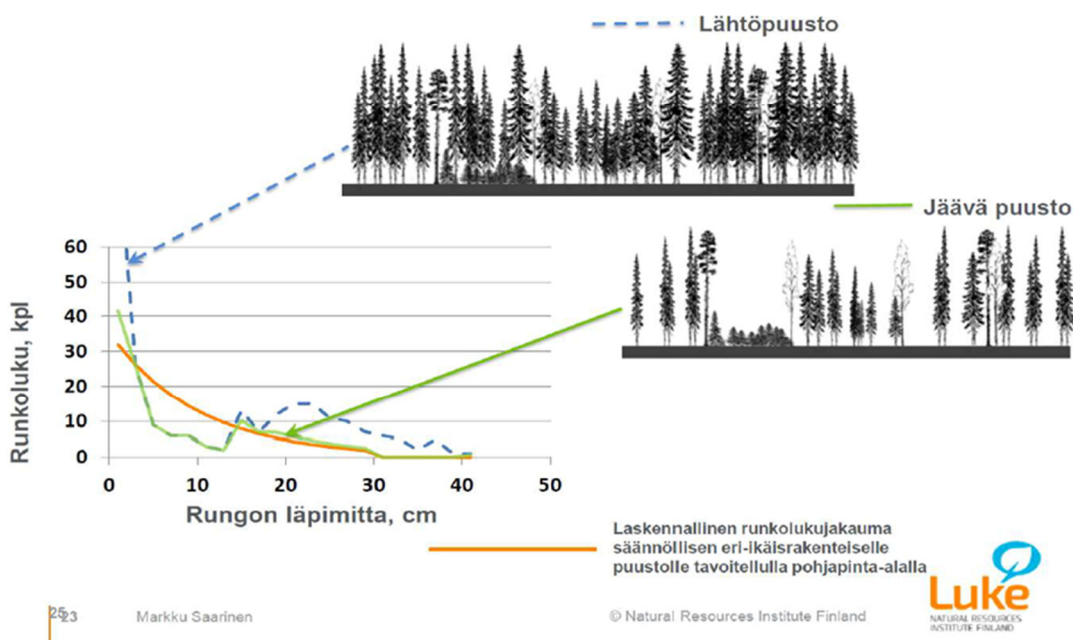


turpeen vedenpinnan vaihtelua ojitusalue metsissä? Voidaanko siis ylläpitää sellaista vedenpinnan keskimääräistä tasoa, jossa toisaalta vältetään avohakkuualoilla mahdollinen ja vesistöjen kannalta haitalliselle tasolle nouseva vedenpinta ja toisaalta vältetään myös päätehakkuuvaiheessa olevan tasan rakenteisen metsän tarpeettoman syvälle painuva vedenpinta. Käytännöllisemmin sanoen; voidaanko ylläpitää sellaista puustopääomaa, joka hakkuiden jälkeenkin riittää haihdunnallaan pitämään vedenpinnan syvemmällä kuin noin 30 cm:n etäisyydellä maan pinnasta, mutta joka ennen hakkuuta ei nousisi niin korkeaksi että sen haihdunta laskisi vedenpintaa tarpeettoman paljon alle 40 cm:n syvyyttä?

Edellisestä johtuen joudutaan jatkuvapeitteinen kasvatus määrittelemään hieman eri tavalla kuin kangasmailla (Valkonen 2017). Ojitetuilla turvemilla jatkuvaan peitteellisyys pitäisi käsitteellisesti ottaa mukaan kaikki sellaiset ratkaisut, jotka minimoivat kunnostusojitustarvetta, edellä kuvattuja ympäristöhaittoja ja säästävät hakkuissa riittävän suuren osan puustosta edistämällä ojitusalueen biologista kuivatusta. Säännöllisen eri-ikäisrakenteisten metsien lisäksi myös pienten aukkojen tai kaistaleiden hakkaaminen paljaaksi on näin ollen jatkuvapeitteistä kasvatusta, kunhan metsiköstä suurin osa säilyy peitteellisenä. Luonnonvarakeskuksessa nyt käynnissä olevien tutkimusten puitteissa aukon kokoa ei toistaiseksi ole määritelty yksiselitteisesti, sillä tavoitteena on selvittää sellainen maksimaalinen avoimen pinta-alan osuus, joka käsiteltävän ojitusalue metsikön hydrologiaa kokonaisuutena tarkastellen vielä riittävässä määrin palvelee ympäristöhaittojen minimoimiseen tähtäävää tavoitetta. Tällöin kysymys kuuluu; kuinka suuria voivat kaistaleet ja pienaukot olla ennen kuin niiden tekeminen ”muuttuu avohakkuuksi”.

Eri-ikäisrakenteeseen siirtyminen

Esimerkkinä Multian Havusuon hakkuut



Kuva 2. Eri-ikäisyysrakenteeseen siirtyminen.



Kirjallisuus

- Ahti, E. 1974. Measuring seasonal moisture variation of drained peatlands by using tensiometers. Proceedings of the International Symposium on Forest Drainage, 2nd–6th September 1974, Jyväskylä-Oulu, Finland: 81–86.
- Andersson, O. 1988. Severely suppressed trees of *Picea abies* as complement at forest regeneration (in Swedish) Swed. Univ. Agric. Sci Dept. for Yield Res Rep No. 24, Garpenberg.
- Andersson, S-O. 1984. Removal of broadleaves in cleanings and precommercial thinnings (in Swedish). Sver Skogsvårdsfoerb Tidskr 82: 69-95.
- Andersson, S. & Wiklert, P. 1972. Marfysikaliska undersökningar: Odlad jord. XXIII. Om de vattenhållande egenskaperna hos svenska jordarter. Grundförbättring 25: 53-143.
- Anlauf, R., Rehrmann, P. & Schacht, H. 2011. Simulation of water uptake and redistribution in growing media during ebb-and-flow irrigation. Journal of Horticulture and Forestry. Vol. 4(1): 8–21.
- Arnott, J. T. 1968. Germination and survival of black spruce on certain moss seedbeds. Canada. Department of Forestry and Rural Development. Forestry Branch, Quebec, Information Report Q-X-4. 8 p.
- Bergan, J. 1971. Skjermforyngelse av gran samenligner med plantering i Grane i Nodland. Summary: Natural Norway spruce regeneration under shelterwood compared with plantations at Grane in Nordland. Meddelser fra det Norske skogforsöksvesen 28(104):194-211.
- Berglund, K. 1996. Cultivated organic soils in Sweden: Properties and amelioration. Department of soil sciences. Reports and dissertations 28. Uppsala 1996.
- Brandyk, T., Szatyłowicz, J., Oleszczuk, R. & Gnatowski, T. (2002) Water-Related Physical Attributes of Organic Soils. Teoksessa: L-E. Parent & P. Ilnicki (toim.) Organic soils and peat material for sustainable agriculture. New York : CRC Press and International Peat Society, Boca Raton, Florida. s. 33-66.
- Bunt, A. C. 1988. Media and mixes for container-grown plants: a manual on the preparation and use of growing media for pot plants. 2nd ed. of modern potting composts. London. 309 p.
- Cajander, E.K. 1934. Kuusen taimistojen vapauttamisen jälkeisestä pituuskasvusta. Referat: Über den Höhenzuwachs der Fichtenpflanzenbestände nach der Befreiung. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 19(5):1 59.
- Ferda, J. 1968. Determination of the optimum height of the groundwater level for young plantations on boggy soils. Proceeding 3rd Int. Peat Congres, Quebec City, Canada, 268–272.
- Finér L, Mattsson T, Joensuu S, Koivusalo H, Laurén A, Makkonen T, Nieminen M, Tattari S, Ahti E, Kortelainen P, Koskiahio J, Leinonen A, Nevalainen R, Piirainen S, Saarelainen J, Sarkkola S, Vuollekoski M. 2010. A method for calculating nitrogen, phosphorus and sediment load from forest catchments. The Finnish Environment No. 10/2010. Finnish Environment Institute: Helsinki; 33.
- Groot, A. & Adams, M. 1994. Direct seeding black spruce on peatlands: fifth-year results. The Forestry Chronicle vol. 70, no. 5: 585–592.
- Hannerz, M. & Hånell, B. 1993. Changes in the vascular plant vegetation after different cutting regimes on a productive peatland site in Central Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research 8: 193–203.
- Heikurainen, L. & Laine, J. 1976. Lannoituksen, kuivatuksen ja lämpöolojen vaikutus istutus- ja luonnontaimistojen kehitykseen rämeillä. Summary: Effect of fertilization, drainage and temperature conditions on the development of planted and natural seedlings on pine swamps. Acta Forestalia Fennica 150: 1–38.
- Heikurainen, L. & Päivänen, J. 1970. The effect of thinning, clear-cutting, and fertilization on the hydrology of peatland drained for forestry. Seloste: Harvennuksen, avohakkuun ja lannoituksen vaikutus ojitetun suon vesioloihin. Acta Forestalia Fennica 104. 23 s.
- Heinselman, M. L. 1957. Living Sphagnum found most favorable seedbed for swamp black spruce in Minnesota study. USDA Forest Service, Lake States Forest, Experiment Station. Technical Note. No. 504. 2 p.



- Helenius, P. & Saarinen, M. 2013. Regeneration result of excavator-mounted rototiller in direct seeding of Scots pine on forestry-drained peatland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 28(8): 752-757.
- Huikari, O. 1951. Havaintoja ojitettujen rimpinevojen taimettumista ehkäisevistä tekijöistä. *Suo* 2 (1): 1-4.
- Huikari, O. 1972. H-kulttuuri. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 2/1972:1-19.
- Hytönen, J., Hökkä, H. & Saarinen, M. 2019. The Effect of Site Preparation on Seed Tree Regeneration of Drained Scots Pine stands in Finland. *Baltic Forestry* 25(1): 132-140.
- Hånell, B. 1992. Skogskörnyelse på högproduktiva torvmarker - plantering av gran på kalhygge och under skärmträd (Forest renewal on productive peatlands: Planting of Norway spruce on clearcuts and in shelter-woods). Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture. Report 34, 71 p.
- Hökkä, H., Kaunisto, S., Korhonen, K. T., Päivänen, J., Reinikainen, A., & Tomppo, E. 2002. Suomen suomensäät 1951–1994. *Metsätieteen aikakauskirja* 2A/2002. s. 201–357.
- Hökkä, H., Repola, J., Moilanen, M. & Saarinen M. 2011. Seedling survival and establishment in small canopy openings in drained spruce mires in Northern Finland. *Silva Fennica* 45 4: 633-645.
- Hökkä, H., Repola, J., Moilanen, M. & Saarinen, M. 2013. Kuusen luontainen taimettuminen ojitettujen korprien muokatuilla ja muokkaamattomilla pienaukoilla ja pienillä avohakkuualoilla – tapaustutkimus Pohjois-Suomesta. *Metsätieteen aikakauskirja* 1: 101-102.
- Hökkä, H., Hytönen, J. & Saarinen, M. 2016. The effect of scalping on seedling establishment after seed tree cutting of Scots pine stands in drained peatlands in northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 31(2): 166-174.
- Hökkä, H. & Repola, J. 2018. Pienaukkohakkuun uudistumistulos Pohjois-Suomen korpikuusikossa 10 vuoden kuluttua hakkuusta. *Metsätieteen aikakauskirja* 2018-7808: 17 s.
- Hökkä, H., Repola, J. & Laine, J. 2008. Quantifying the interrelationship between tree stand growth rate and water table level in drained peatland sites in Central Finland. *Can. J. For. Res.* 38: 1775-1783.
- Jeglum, J. K. 1979. Effects of some seedbed types and watering frequencies on germination and growth of black spruce: a greenhouse study. Department of Environment, Canadian Forestry Service, Sault Ste. Marie, Ontario. Information Report O-X-292. 33 p.
- Jeglum, J. K. & Kennington, D. J. 1993. Strip clearcutting in black spruce: a guide for the practicing forester. Forestry Canada-Ontario Region, Sault Ste. Marie, Ontario, 102 p. Johnston, W. F. 1977. Manager's handbook for black spruce in the North Central States. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, General Technical Report. NC-34. 18 p.
- Johnston, W. F. 1977. Manager's handbook for black spruce in the North Central States. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, General Technical Report. NC-34. 18 p.
- Kaila, A., Sarkkola, S., Laurén, A., Ukonmaanaho, L., Koivusalo, H., Xiao, L., O'Driscoll, C., Asam, Z., Tervahauta, A. & Nieminen, M. 2014. Phosphorus export from drained Scots pine mires after clear-felling and bioenergy harvesting. *Forest Ecology and Management* 325(2.5.2014): 99-107.
- Kamra, S. K. 1968. Effect of different distances between water level and seed bed on Jacobsen apparatus on the germination of *Pinus silvestris* L. seed. *Studia Forestalia Suecica* 65, 1–18
- Kamra, S. K. 1969. Further studies on the effect of different distances between water level and seed bed on Jacobsen apparatus on the germination of *Pinus silvestris* and *Picea abies* seed. *Svensk Bot. Tidskr.* 63 (2), 265–274
- Katrusenko, I.V. 1965. The photosynthetic adaptation to light of old needles of *Picea abies* underwood. *Botanicheskii Zhurnal* 50(8):1119-1121.
- Katrusenko, I.V. 1967. The effect of a Birch stand on the C metabolism and P nutrition of Spruce underwood. *Lesovedenie* 1:73-75.



- Kaunisto, S. 1971. Lannoituksen, muokkauksen ja vedenpinnan etäisyyden vaikutus kylvötaimien ensi kehitykseen turvealustalla. Kasvihuoneessa suoritettu tutkimus. Summary: Effect of fertilization, soil preparation, and distance of water level on the initial development of Scots pine and Norway spruce seedlings on peat. A study performed in greenhouse. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 75.2. 64 s.
- Kaunisto, S. 1972. Lannoituksen vaikutus istutuksen onnistumiseen ja luonnontaimien määrään rahkanevalla. Tuloksia Kivisuon koekentältä. Summary: Effect of fertilization on successful planting and the number of naturally born seedlings on a fuscum bog at Kivisuo experimental field. *Folia Forestalia* 139: 1–11.
- Kaunisto, S. 1973. Raudus- ja hieskoivun viljelystä metsäojitetuilla soilla. Summary: Afforestation of open peatlands with *Betula pubescens* and *B. verrucosa*. *Suo* 24(1): 4–7.
- Kaunisto, S. 1975. Suometsien luontaisen uudistamisen edistäminen. Metsäntutkimuslaitos. Pyhäkosken tutkimusaseman tiedonantoja 14: 37–41.
- Kaunisto, S. 1984. Suometsien uudistaminen turvekangasvaiheessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 137: 7–21.
- Kaunisto, S. 1985. Alustavia tuloksia metsän tehoviljelykokeista turvemaidella. (Summary: Preliminary results from high efficiency forest regeneration experiments on peatlands.). *Folia For.* 619:1–16.
- Kaunisto, S. & Päivänen, J. 1985. Metsänuudistaminen ja metsittäminen ojitetuilla turvemaidella. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Summary: Forest regeneration and afforestation on drained peatlands. A literature review. *Folia Forestalia* 625: 1–75.
- Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930–1978 metsäojitetut suot: ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. Summary: Peatlands drained for forestry during 1930–1978: results from field surveys of drained areas. *Acta Forestalia Fennica* 193: 1–94.
- Koistinen, E. & Valkonen, S. 1993. Models for height development of Norway spruce and Scots pine advance growth after release in southern Finland. Tiivistelmä: Mallit kuusen ja männyn vapautettujen alikasvostaimien pituuskehitykselle Etelä-Suomessa. *Silva Fennica* 27(3):179–194.
- Koshelkov, S. P. 1982. The nutrient regime of spruce regeneration in birch forests and felled areas in the southern taiga. *Lesovedenie* 6:26–34.
- Koskela, V. 1970. Havaintoja kuusen, männyn, rauduskoivun ja siperialaisen lehtikuusen halla- ja pakkasvaurioista Kivisuon metsänlannoituskoekentällä. Summary: On the occurrence of various frost damages on Norway spruce, Scots pine, silver birch and Siberian larch in the forest fertilization experimental area at Kivisuo. *Folia Forestalia* 78: 1–25.
- Kramer, P.J. & Kozlowski, T.T. 1960. *Physiology of trees*. McGraw-Hill Book Co., New York-Toronto-London. 642 p.
- Kuusipalo, J. & Vuorinen, J. 1981. Pintakasvillisuuden sukkessio vanhalla ojitusalueella Itä-Suomessa. Summary: Vegetation succession on an old, drained peatland area in Eastern Finland. *Suo* 32(3): 61–66.
- Laatsch, W. & Zech, W. 1967. The importance of shade for conifers suffering from nutritional deficiencies. *An Edafol. Agrobiol.* 26(1/4): 691–702.
- Laiho, R. & Laine, J. 1996. Plant biomass carbon store after water-level drawdown of pine mires. Teoksessa: Laiho, R., Laine, J. & Vasander, H. (toim.). *Northern Peatlands in Global Climatic Change*. Publications of the Academy of Finland 1/96, ss. 54–57. Edita, Helsinki.
- Laiho, R., Tuominen, S., Kojola, S., Penttilä, T., Saarinen, M. & Ihalainen, A. 2016. Heikkotuottoiset ojitetut suometsät – missä ja paljonko niitä on? *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2016: 73–93.
- Laine, J. & Mannerkoski, H. 1975. Tensiometrin käyttö turvemaiden kosteusolojen kuvauksessa. Summary: On the use of tensiometers in describing moisture conditions of peat soils. *Suo* 26(2), 17–24.
- Laine, J. & Vanha-Majamaa, I. (1992). Vegetation ecology along a trophic gradient on drained pine mires in southern Finland. *Annales Botanici Fennici* 29: 213–233.



- Larson, M.M. & Schubert, G.H. 1969. Effect of osmotic water stress on germination and initial development of Ponderosa pine seedlings. *For. Sci.* 15 (1), 30–36.
- Lehtiniemi, T. & Sarasto, J. 1973. Kokemuksia rauduksen istutuksesta ojitetuille soille. (Summary: *Betula verrucosa* (Ehrh.) plantations on drained peat.) - *Silva Fenn.* 7(1):24-44.
- Leikola, M. 1975. Verhopuuston vaikutus metsikön lämpöoloihin Pohjois-Suomessa. Summary: The influence of the nurse crop on stand temperature conditions in northern Finland. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 85(7):1-33.
- Leikola, M. & Rikala, R. 1983. Verhopuuston vaikutus metsikön lämpöoloihin ja kuusen taimien menestymiseen. Summary: The influence of the nurse crop on stand temperature conditions and the development of Norway spruce seedlings. *Folia Forestalia* 559. 33 s.
- Losee, S. T. B. 1961. Results of group cutting for black spruce regeneration at the Abitibi Woodlands Laboratory. Canadian Pulp and Paper Association, Woodlands Section Index No. 2086 (F-2). Lähde, E. 1965. Havaintoja männyn istutuksesta karhunsammalmuuttumille. Summary: Observations on transplanting pine in a *Polytrichum*-covered drained swamp. *Suo* 16(2): 7–10.
- Lukkala, O. J. 1951. Kokemuksia Jaakkoin suon koeojitusalueelta. (Summary: Experiences from Jaakkoin experimental drainage area.) - *Commun. Inst. For. Fenn.* 39(6):1-53.
- Lähde, E. 1969. Biological activity in some natural and drained peat soils with special references to oxidation-reduction conditions. *Acta Forestalia Fennica* 94, 1–69.
- Mannerkoski, H. 1971. Lannoituksen vaikutus kylvösten ensi kehitykseen turvealustalla. Summary: Effect of fertilization on the initial development of Scots pine and Norway spruce plantations established by sowing on peat. *Silva Fennica* 5(2): 105–128.
- Mannerkoski, H. 1975. Vanhan ojitusalueen uudistaminen mätästysmenetelmällä. (Summary: Hummock-building method in reforestation of an old drainage area.) - *Suo* 26(3-4):65-68.
- Mannerkoski, H. 1976. Effect of water table fluctuations on the growth of *Betula verrucosa* and *Pinus silvestris* seedlings on a peat substrate. *Proc. 5th Peat Congr., Poznan, Poland, Sept. 21–25, 1976*, 3, 211–219.
- Mannerkoski, H. 1985. Effect of water table fluctuation on the ecology of peat soil. Tiivistelmä: Vedenpinnan vaihtelun vaikutus turvemaan ekologiaan. Helsingin yliopiston suometsätieteen laitoksen julkaisu. 7: 1–190.
- Marschner, H. & Cakmak, I. 1989. High light intensity enhances chlorosis and necrosis in leaves of zinc, potassium, and magnesium deficient bean (*Phaseolus vulgaris*) plants. *Journal of Plant Physiology*. Vol 134. pp. 308-315.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 1981. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus kuusen ja koivun uudistumiseen eräillä Kainuun soilla. Summary: Effect of fertilization and soil preparation on the regeneration of birch and spruce on thick peat soils in Kainuu. *Folia Forestalia* 481: 1–16.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 1984. Ojituksen, lannoituksen ja muokkauksen vaikutuksesta luontaiseen uudistumiseen piensararämeellä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 133:1-23.
- Moilanen, M., Ferm, A. & Issakainen, J. 1995. Kuusen- ja koivuntaimien alkukehitys korven uudistamisaloilla. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1995(2): 115–130.
- Mueller-Dombois, D. 1964. Effect of depth to water table on height growth of tree seedlings in a greenhouse. *For. Sci.* 10(3). 306–316.
- Multamäki, S. E. 1939. Kuusen kylvöstä ja sen istutuksesta metsitettävillä soilla. (Referat: Über Fichtensaat und -pflanzung auf zu Bewaldenden Mooren.) - *Acta For. Fenn.* 47(3):1-132.
- Multamäki, S. E. 1942. Kuusen taimien paleltuminen ja sen vaikutus ojitettujen soiden metsittymiseen. Referat: Das Erfrieren der Fichtenpflanzen in seiner Wirkung auf die Bewaldung der entwässerten Moore. *Acta Forestalia Fennica* 51(1):1-353.
- Naasz, R., Michel, J.-C. & Charpentier, S. 2008. Water repellency of organic growing media related to hysteretic water retention properties. *European Journal of Soil Science*. Vol. 59: 156–165.



- Nieminen, M., Koskinen, M., Sarkkola, S., Laurén, A., Kaila, A., Kiikkilä, O., Nieminen, T. & Ukonmaanaho, L. 2015. Dissolved organic carbon export from harvested peatland forests with differing site characteristics. *Water, Air, and Soil Pollution* 226 6: 12 p.
- Nieminen, M., Hökkä, H., Laiho, R., Juutinen, A., Ahtikoski, A., Pearson, M., Kojola, S., Sarkkola, S., Launiainen, S., Valkonen, S., Penttilä, T., Saarinen, M., Haahti, K., Mäkipää, R., Miettinen, J. & Ollikainen, M. 2018. Could continuous cover forestry be an economically and environmentally feasible management option on drained boreal peatlands? *Forest ecology and management* 424: 78-84.
- Nieminen, M., Sarkkola, S., Hellsten, S., Marttila, H., Piirainen, S., Sallantausta, T. & Lepistö, A. 2018. Increasing and Decreasing Nitrogen and Phosphorus Trends in Runoff from Drained Peatland Forests—Is There a Legacy Effect of Drainage or Not? *Water, Air, & Soil Pollution* 229 286: 10 p.
- Niemistö, P. & Poutiainen, E. 2004. Hieskoivikon käsittelyn vaikutus kuusialikasvoksen kehitykseen Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan viljavilla ojitusalueilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2004: 441–459.
- Orlov, A. 1983. Effects of soil over-moistering on spruce regrowth in clear felled areas. *Lesovedenie* 1983:11-20.
- 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(6): 1–20.
- Paavilainen, E. 1970. Astiakokeita pintalannoituksen vaikutuksesta koivun, kuusen ja männyn kylvön onnistumiseen muokkaamattomalla kasvualustalla. Summary: On the effect of top dress fertilization on successful seeding of birch, spruce, and pine. Vessel experiments in soil with an untreated surface. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 72(1): 1–37.
- Paavilainen, E. & Norlamo, M. 1975. Effect of various nitrogen fertilizers on the initial development of birch, spruce and pine. Seloste: Typpilannoittelajien vaikutus koivun, kuusen ja männyn alkukehitykseen. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 86(2): 1–43.
- Paavilainen, E. & Virrankoski, K. 1967. Tutkimuksia veden kapillaarisesta noususta turpeessa. Summary: Studies on the capillary rise of water in peat. *Folia Forestalia*. 36. 1–16.
- Pelkonen, E. 1979. Männyn ja kuusen taimien kyvystä sietää tulvaa vuoden eri aikoina. Summary: Seasonal flood tolerance of Scots pine and Norway spruce seedlings. *Suo* 30(2): 35-42.
- Perttu, K. 1974. The radiation balance before and after clear cutting (in Swedish) *Sver Skogsvårdsförb Tidskr* 72:53-59.
- Place, I. C. M. 1955. The influence of seedbed conditions on the regeneration of spruce and balsam fir. Canada Department of Northern Affairs and Natural Resources. Forestry Branch, Bulletin 117. 87 p.
- Päivänen, J. 1973. Hydraulic conductivity and water retention in peat soil. Seloste: Turpeen vedenläpäisevyys ja vedenpidätyskyky. *Acta Forestalia Fennica* 129: 1–70.
- Päivänen, J. 1974. Hydrological effects of clear cutting in peatland forest. Proceedings of the International Symposium Forest Drainage, 2nd-6th Sept. 1974, Jyväskylä-Oulu, Finland. s. 219-228.
- Päivänen, J. 1980. Metsänhoidollisten toimenpiteiden vaikutus vanhojen metsäojitusalueiden vesitalouteen. *Silva Fennica* 14(2):214-217.
- Päivänen, J. 1982. Hakkuun ja lannoituksen vaikutus vanhan metsäojitusalueen vesitalouteen. Summary: The effect of cutting and fertilization on the hydrology of an old forest drainage area. *Folia Forestalia* 516: 1–19.
- Reinikainen, A. 1965. Vegetationsuntersuchungen auf dem Walddüngungs-Versuchsfeld des Moores Kivisuo, Kirchsp. Leivonmäki, Mittelfinnland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 59(5): 1–62.
- Robertsdotter-Gnojek, A. 1992. Changes in chlorophyll fluorescence and chlorophyll content in suppressed Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in response to release cutting. *Trees* 6:41-47.
- Roe, E. I. 1949. Sphagnum moss retards black spruce regeneration. USDA Forestry Service, Lake States Forest Experiment Station. Technical Note 321. 1 p.



- Schimmel, J. 1993. On fire. Fire behavior, fuel succession, and vegetation response to fire in the Swedish boreal forest. Dissertations in Forest vegetation Ecology 5. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Vegetation Ecology. Umeå, Sweden.
- Silfverberg, K. 1995. Forest regeneration on nutrient-poor peatlands: Effects of fertilization, mounding and sowing. *Silva Fennica* 29: 205-215.
- Seryakov, A. D. 1994. Survival and adaptation of thin spruce trees after cutting of small-leaved tree layer. *Le-sovedenie* 4: 11-18.
- Skoklefald, S. 1976. Release of natural Norway spruce regeneration (in Norwegian). *Medd Nor Skogforsoksves* 23:381-409.
- Stålfelt, M. G. 1935. Der Einfluss der Durchforstung auf die Funktion der Nadeln und auf die Ausbildung der Baumkrone bei der Fichte. *Sver Skogsvårdfoerb Tidskr* 33:149-176.
- Saarinen, E. K. E. 1933. Soiden pintaturpeen korkeuskasvusta. Referat: Über das Höhenwachstum des Oberflächentorfes auf den Mooren. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 19: 1-27.
- Saarinen, M. 1993. Miten käsitellä uudistamiskypsiä ojitusaluemetsiä. Julkaisussa. Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). *Metsäntutkimuspäivä Porissa 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 470:6-12.
- Saarinen, M. 1997. Kasvupaikkatekijöiden vaikutus vanhojen ojitusalueiden taimettumiseen. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Effect of site factors on restocking of old drainage areas. A literature review. *Suo* 48(3): 61-70.
- Saarinen, M. 2002. Kasvillisuuden ja maanmuokkauksen vaikutus männyn ja koivun taimettumiseen varpu- ja puolukkaturvekankailla [Effect of vegetation and site preparation on the restocking of Scots pine and birch in dwarf-schrub and *Vaccinium vitis-idaea* type peatland forests]. *Suo - Mires and Peat* 53(2): 41-60.
- Saarinen, M. 2013. Männyn kylvö ja luontainen taimettuminen vanhoilla ojitusalueilla - turvemaiden uudistamisen erityispiirteitä [Abstract: Artificial and natural seeding of Scots pine in old drainage areas – Unique features of forest regeneration on peatlands]. *Dissertationes Forestales* 164. 64 pp. doi:10.14214/df.164.
- Saarinen, M. & Hotanen, J.-P. 2000. Raakahumuksen ja kasvillisuuden yhteisvaihtelu Pohjois-Hämeen vanhoilla ojitusalueilla [Summary: Covariation between raw humus layer and vegetation on peatlands drained for forestry in western Finland]. *Suo - Mires and Peat* 51(4): 227-242.
- Saarinen, M., Alenius, V. & Laiho, R. 2013. Kosteusolosuhteiden vaikutus siementen itämiseen ja taimien varhaiskehitykseen turvemaan metsänuudistusalan muokkauspinnoilla [Summary: Effect of soil moisture conditions on seed germination and early seedling development in prepared microsites in peatland forest regeneration areas]. *Suo - Mires and Peat* 64(2-3): 51-75.
- Saarinen, M., Hotanen, J.-P. & Alenius, V. 2009. Muokkausjälkien kasvillisuuden kehittyminen ojitettujen soiden metsänuudistamisaloilla [Summary: Vegetation succession in prepared microsites in drained peatland forest regeneration areas]. *Suo* 60(3-4): 85-109.
- Salonen, V. & Laaksonen, M. 1994. Effects of fertilization, liming, watering and tillage on plant colonization of bare peat surfaces. *Annales Botanici Fennici* 31: 29-36.
- Sarasto, J. 1963. Tutkimuksia koivun kylvöstä ojitetuilla soilla. Summary: Sowing of birch on drained swamps. *Suo* 14(4): 47-56.
- Sarasto, J. & Seppälä, K. 1964. Männyn kylvöistä ojitettujen soiden sammal- ja jäkäläkasvustoihin. Summary: On sowing of pine in moss and lichen vegetation on drained swamps. *Suo* 15(3): 54-58.
- Satoo, T. & Goo, M. 1954. Seed germination as affected by suction force of soil and saccharose solution. *Bull. Tokyo Univ. For.* 46: 159-168.
- Schwärzel, K., Renger, M., Sauerbrey, R. & Wessolek, G. 2002. Soil physical characteristics of peat soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* vol. 165: 479-486.
- Szajdak, L. & Szatyłowicz, J. 2010. Impact of drainage on hydrophobicity of fen peat-peat-morsh soils. In: Kļavinš (ed.) *Mires and peat*. University of Latvia Press. Riga. 158-174.



- Tuittila, E.-S., Rita, H., Vasander, H. & Laine, J. 2000b. Vegetation patterns around *Eriophorum vaginatum* L. tussocks in a cut-away peatland in southern Finland. *Canadian Journal of Botany* 78: 47–58
- Tuittila, E.-S., Vasander, H. & Laine, J. 2000a. Impact of rewetting on the vegetation of a cut-away peatland. *Applied Vegetation Science* 3: 205–212.
- Valkonen, Sauli (Eds.) 2017. Metsän jatkuvasta kasvatuksesta. 125 p. Metsäkustannus.
- Vasander, H. 1987. Diversity of understorey biomass in virgin and in drained and fertilized southern boreal mires in eastern Fennoscandia. *Annales Botanici Fennici* 24: 137–153.
- Vasander, H. 1990. Plant biomass, its production and diversity on virgin and drained southern boreal mires. *Publications from the Department of Botany, University of Helsinki* 18: 1–16.
- Veihmeyer, F.J. & Hendrickson, A.H. 1949. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. *Soil Science* 68: 75-94.
- Veijalainen, H. 1979. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies of Scots pine on drained peatlands. *Seloste: Neulasanalyysi männyn mikroravinnetilanteen määrittämisessä turvemaiden turvemailla*. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 92 (4):1-32.
- Vomperskaja, M. I. 1980. Influence of shallow drainage network on nutrient regime and growth of Norway spruce on paludified soils. *Lesovedenie* 5:52-61.
- Vuokila, Y. 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. Werner Söderström Osakeyhtiö. Porvoo.
- Wood, J. E. & Jeglum, J. K. 1984. Black spruce regeneration trials near Nipigon, Ontario: Planting versus seedling, lowlands versus upland, clearcut versus stripcut. *Canadian Forestry Service, Sault Ste. Marie, Ontario, Information Report O-X-361*. 19 p.
- Yli-Vakkuri, P. 1958. Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden kulotuksesta. Referat: Untersuchungen über das Absengen als Waldbauliche Massnahme auf entwässerten Torfböden. *Acta Forestalia Fennica* 67: 1–33.
- Yli-Vakkuri, P. 1962. Emergence and initial development of tree seedlings on burnt-over forest land. Taimien syntymisestä ja alkukehityksestä kulotetuilla alueilla. *Acta Forestalia Fennica* 74.1: 1-51.



4 Tiivistelmä

Soiden ilmastovaikutusten olennaiset tekijät ovat puuston ja maaperän hiilidioksidipäästöt sekä turpeen metaani sekä typpioksiduulipäästöt. Keskeinen tekijä näiden säätelyssä on ojituksella aikaan-saatu vedenpinnan korkeus.

Metsäojitetulla suolla ojitus lisää puuston kasvua ja kasvava puusto on hiilidioksidin nielu. Hapellisen kerroksen syveneminen kuitenkin lisää turpeen hajoamista, jolloin suon maaperä muuttuu hiilidioksidin lähteeksi. Ojitus alentaa vedenpintaa, jolloin suon hapellinen pintakerros syvenee. Tämä vähentää metaanin syntymistä ja lisää sen hajoamista. Ensimmäisen ojituksen jälkeisen kiertoajan metsäojituksen vaikutus on yleensä ilmastoa viilentävä, koska vähentynyt metaanipäästö ja kasvavan puuston hiilidioksidinielu viilentävät ilmastoa enemmän kuin turpeen hajoamisesta syntyvät hiilidioksidi- ja typpioksiduulipäästö lämmittävät.

Metsäojitetun suon maaperän kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttaa kaksi asiaa: kasvupaikan ravinteikkaus ja vedenpinnan syvyys. Ravinteikkaimmilla kasvupaikoilla on havaittu merkittävää turpeen hävikkiä.

Karummilla soilla maaperä voi olla maltillisella ojituksella jopa CO₂-neutraali. Metsäojitetun suon maaperän päästöt voidaan minimoida pitämällä vedenpinta niin korkealla, kuin se puuston kasvatuksen kannalta on mahdollista. Turpeen hävikki voidaan estää ja palauttaa suo turvetta kerryttäväksi ennallistamalla suo. Nopeita ilmastoa viilentäviä vaikutuksia on kuitenkin vaikea saada aikaiseksi koska suo palautuu metaanin lähteeksi

Metsäojitettujen soiden ilmastollisesti kestävään käyttöön ei löydy yhtä helppoa ratkaisua. Ravinteikkailla kasvupaikoilla puuston kasvun kannalta riittävä kuivatus (vedenpinta n. 30 cm) ylläpitää turpeen hävikkiä. Kasvava ravinteikas suometsä (maaperä ja puusto yhteensä) on kuitenkin yleensä kasvihuonekaasujen nielu. Karuilla kasvupaikoilla metsätalous hyvin maltillisella ojituksella vaikuttaa mahdolliselta ratkaisulta.

Jaksottaisessa metsänkasvatuksessa metsäojitetun suon maaperän kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää tekemällä kunnostusojituksia vain silloin, kun se on puuston kasvuille erityisen tärkeää. Lisäksi ojista ei pidä tehdä syvempiä kuin on välttämätöntä. Näin pystytään pitämään vedenpinta niin korkealla, kuin se on puuston kasvatuksen kannalta mahdollista

Sekä ilmaston että metsätalouden kannalta toimiva ratkaisu voisi olla jatkaa puuston kasvatusta avohakkuita ja uudistamiskustannuksia välttäen niin kauan kuin se nykyisellä ojituksella on mahdollista.

Tämän vaihtoehdon tutkimusnäyttö on kuitenkin vähäistä.

Seuraavassa taulukossa on tiivistettynä eräiden maankäytön ja metsänhoitotoimien vaikutus turve- maiden kasvihuonekaasupäästöihin. Kaasupäästöjä ehkäisevä merkitty (+) ja lisäävä (-), kysymysmerkki tarkoittaa tutkimusnäytön puutetta.



MAANKÄYTTÖ JA METSÄNHOITO	Puuston hiili	Maaperän hiili	Metaani ja typpi- oksiduuli
1. Suojelu (ojittamattoman suon suojelu)	+	+	-
2. Metsänkasvatusstrategiat			
2.1 Tasaikäisrakenteinen (vertailuperuste)	0	0	0
2.2 Peitteinen (verrataan tasaikäiseen)	?	?	?
3. Metsänhoitotoimenpiteet			
3.1. Ojituksen kunnostus	+	-	(+)
3.2 Tuhkalannoitus	+	-	(+)
3.3 PK-lannoitus	+	-	(+)
4. Ennallistaminen			
4.1. Passiivinen	-	+	-
4.2. Aktiivinen	--	++	--

Turvemaiden metsien uudistamisessa tärkeimmät siementen itämiseen ja sirkkataimien varhaiskehitykseen vaikuttavat ympäristötekijät liittyvät ojitusalueille ominaiseen kasvillisuuteen sekä kasvualustan kosteusvaihteluihin. Turvemaiden metsänuudistamiseen vaikuttavia ympäristötekijöitä ovat korkealla oleva "pohjavesi" ja sen vaihtelu, muokatun turpeen kosteusvaihtelu, turve- ja kivennäismaalajien vaihtelu, ravinneolot, lämpötilavaihtelu sekä pintakasvillisuus ja sen muutokset.

Ojitusalueilla uuden puusukupolven perustamisen on hankalampaa ja kalliimpaa kuin vastaavan tuotospotentiaalin omaavalla kangasmaalla. Tämä johtuu erityisesti vesi- ja ravinnetalouden ylläpitämisen sekä vesistöjen suojelun edellyttämistä lisäkustannuksista. Varsinkin varputurvekankailla on syytä miettiä, kannattaako toista ojituksen jälkeistä puusukupolvea perustaa lainkaan. Ojitusalueiden metsätalouden tutkimusten tärkeimpien kysymysten joukkoon kuuluukin mitä näille reilulle puolelle miljoonalle pohjoisen Suomen varputurvekangashehtaarille tehdään jatkossa.

Yli 80 % turvemaiden uudistamisesta tehdään avohakkuulla ja maanmuokkauksella. Maanmuokkauksen on todettu parantavan selkeästi sekä siementen itämistä että istutettujen taimien eloonjääntiä.

Turvemaiden metsien uudistaminen on suurten muutospaineiden edessä. Kaikki jaksolliseen metsätalouteen pohjautuvat uuden puusukupolven perustamisen menetelmät lisäävät vesistöjen ravinteiden ja orgaanisen aineksen kuormitusta samoin kuin kasvihuonekaasujen kannalta ongelmallista turpeen vedenpinnan syvyysvaihtelua. Tämä koskee myös luontaiseen uudistumiseen tähtääviä siemenpuuhakkuita. Turvemaiden metsätalouden yhteiskunnallinen hyväksyttävyys näyttäisi riippuvan paljon siitä, miten nämä ympäristövaikutukset pystytään minimoimaan.



Tärkeimpänä ratkaisumallina on pidetty peitteelliseen metsätalouteen siirtymistä. Tällöin varsinkin mätästyksen osuus tulisi olennaisesti vähenemään ja samalla kevyiden pintamuokkausvaihtoehtojen osuus lisääntymään. Eniten lisääntyisivät sellaiset metsän kasvatuksen menettelyt, joissa maata ei muokata lainkaan. Niissä hyödynnettäisiin mahdollisimman paljon luontaista taimiainesta. Eri-ikäisrakenteeseen pyritäisiin erimittaisten siirtymävaiheiden kautta soveltamalla aluksi yläharvennustyyppisiä hakkuita, ylispuustojen poistoja sekä pienaukko- ja kaistalehakkuita.

Tutkimustietoa tarvitaan lisää erityisesti luontaisen uudistamisen ja kylvön mahdollisuuksista niissä turvemaiden uudistamisalojen erityisolissa, joita ei kangasmaiden uudistamisaloilla esiinny.



5 Tutkijapaneelin (19.8.2019) politiikkasuositukset ja tutkimustarpeet

Yleisiä päätelmiä / kasvihuonekaasut

- Karujen soiden metsätalous ei ole ilmasto-ongelma
- Rehevien soiden metsätalous on ilmasto-ongelma – metsätalouden hyväksyttävyyssriski
- Suopellot siirtyvät metsitettäessä metsätalouden ongelmaksi
- Tunnistettava, mitkä ovat kohteet, jossa vesitalouteen vaikuttaminen on pakollista. Tunnistettava kohteet, joissa metsänkasvatus ei ole kannattavaa.
- Ilmaston ja juuriston kannalta riittävä pohjavedenpinnan korkeus 30-40 cm (heinä-elo-syyskuussa) > ajatus jatkuvapeitteisen kasvatuksen hyödyllisyydestä
- Osaamisen puutteet, kohdevalinnat
- kannustejärjestelmät: onko painopiste liiaksi suunnittelussa? Näyttää siltä, että ”Kemerassa” ei enää tueta suoraan ojien kaivamista. Siirrytään kokonaisvaltaisempaan suunnitteluun

Yleisiä päätelmiä / peitteinen kasvatus

- Valuma-aluekohtainen tarkastelu, suunnittelu
- Tieteellistä näyttöä on perinteisten uudistamismenetelmien onnistumisesta – tietoa vaihtelusta on
- Korjuuteknologia: miten asia hoidetaan käytännössä. Puustovauriot, talous?
- Sovelletaan joustavasti jaksollisen ja jatkuvan kasvatuksen yhdistämistä
- Peitteisen ja jaksollisen kasvatuksen välimuotoja, sovellettava olosuhteet huomioiden olemassa olevaa puustoa hyödyntäen
- Termistön tarkastelu (avohakkuu...)
- Rajujen menetelmien välttäminen, jos olemassa oleva vesitalous sen sallii
- Uudistaminen tehtävä nopeasti
- Suometsät luontaisesti eri-ikäisrakenteisia -> osittain hyvät edellytykset jatkuvalla kasvatukselle
- Aikajänne? Miten metsänomistajalle perusteellaan peitteinen metsätalous?
- Haasteena, miten ohjeet saadaan käytäntöön
- Puukohtaisen tiedon saaminen jatkossa toimenpiteiden ohjaamisessa?
- Valuma-alueetarkastelu

Politiikkasuosituksia

- hirvi- ja peurakantojen säätely. Ongelma leviää kivennäismailta turvemaille.
- turvepeltojen raivauskielto (EU:sta alkaen)
- kosteikkojen perustaminen (kemerarahojen kohdentaminen). Liittyy myös ilmastomuutokseen sopeutumiseen



- valuma-aluekohtaiset selvitykset. Suurten maanomistajien rooli
- suometsäosaamisen vahvistaminen, myös esim. kaavoittajat
- mietittävä vaikutuksia, jos tehdään liian iso hallinnollinen muutos (vrt. taksiuudistus!)
- Tarpeettoman voimakkaan kuivatuksen välttäminen
- Siirrytään kuivatuksesta vesitalouden hallintaan mukaan lukien suopalariskit
- Metsäojitusalueiden ennallistamisella ei saada nopeita ilmastohyötyjä
- Ilmastovaikutuksia tarkasteltava yhdessä vesistö- ja monimuotoisuusvaikutusten kanssa
- Sekapuuustoisuuden lisääminen
- **Tuhoihin varautuminen**

Tutkimustarpeita

- kannattavuustutkimus
- lisätietoa lannoituksesta – relevanteilla kohteilla
- juurikääpä
- miten monta kertaa voidaan toistaa tuhkalannoitus
- vesiensuojelurakenteiden ilmastovaikutukset
- Uudistuminen ja korjuu jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa
- Suopeltojen käsittelyvaihtoehtojen ilmastovaikutukset
- Tuhkalannoitus ja hiilitase
- Ojittamattomien soiden hiilitase muuttuvassa ilmastossa
- Jatkuvapeitteisen kasvatuksen ilmasto- ja vesistövaikutukset
- Vesistö-, hiili- ja monimuotoisuusvaikutusten yhteistarkastelu sekä työkalujen tuottaminen
- Spatiaalinen ja temporaalinen vaihtelu



Maistraatinportti 4 A

00240 Helsinki

tapio@tapio.fi

www.tapio.fi