

Suometsien kokonaisanalyysi

Tutkijapaneeli 1

Suometsistä ja niiden metsävaroista, hakkuumahdollisuuksista, hoidosta ja korjuusta

Raportti 29.8.2019

Henry Schneider
Risto Päivinen
Hannu Hökkä
Matti Sirén

Sisälllys

Suometsien kokonaisanalyysi	1
1. Johdanto.....	3
2. Metsätalouden tehostamisohjelmat	3
3. Soiden metsävarat	8
3.1. Soiden pinta-alan kehitys	8
3.2. Suometsien puusto	12
3.3. Suometsien hakkuumahdollisuudet	15
3.4. Puun laatu turvemailla.....	22
4. Suometsänhoidon panosten vaikutus puuntuotantoon (Hannu Hökkä, LUKE)	24
5. Suometsien puunkorjuu (Matti Sirén, LUKE)	28
5.1. Korjuukelpoisuus	28
5.2. Kantavuus	28
5.3. Korjuun suunnittelu	30
5.4. Hakkuutavat.....	31
6. Soiden suojele	35
Tiivistelmä	37
Liite 1. Tutkijapaneelin 17.4. työryhmäraportit.....	38
Liite 2 Tutkijapaneelin ohjelma 17.4.2019.....	84

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 sisältävä loppuraportti.

Vuoden 2019 Metsäpolitiikkafoorumin aihe on ”Suometsien kokonaisanalyysi”. Tämä raportti on laadittu ensimmäisen tutkijapaneelin tulosten pohjalta. Paneelissa keskityttiin suometsien metsävarojen ja hakkuumahdollisuuksien analysointiin. Suometsien kokonaisanalyysiin kuuluu yhteensä kolme tutkijapaneelia. Jälkimmäisissä paneeleissa keskitytään suometsien käsittelyn ilmastovaikutuksiin, soiden metsänhoidon menetelmien vaihtoehtoihin sekä soiden suojelu- ja vesiensuojelukysymyksiin.

2. Metsätalouden tehostamisohjelmat

Toisen maailmansodan jälkeen metsätalous nähtiin kansantaloudelle ensiarvoisen tärkeäksi. 1950-luvulla lisääntyneiden hakuiden seurauksena valtakunnan metsien inventointitulosten perusteella laskettu metsätase oli vielä pitkään 1960-luvulle negatiivinen. Tilanteen parantamiseksi katsottiin tarpeelliseksi laatia ohjelmia, joiden tavoitteena oli puuntuotannon tehostaminen metsäteollisuuden kasvun mahdollistamiseksi. Seuraavassa käsitellään ohjelmia, jotka kulkivat nimillä HKLN, TEHO, MERA I, II ja III sekä Panos (Mäki ym. 2011, Päivänen 2018).

Metsätalouden suunnittelukomitealle vuonna 1959 tehtyyn laskelmaan ja vuonna 1962 lopullisesti valmistuneeseen, tekijöiden nimien alkukirjaimiin perustuvaan HKLN-ohjelmaan (Heikurainen, Keltikangas, Linnamies, Nyssönen) sisällytettiin muiden muassa laskelmat metsänviljelyllä, metsäojituksella ja lannoituksella aikaan saatavasta puuston tuottokyvyn lisäyksestä (Heikurainen ym. 1960, Pohtila 1999). Ohjelman laskelmissa lähdettiin liikkeelle vuosina 1951–53 toteutetun valtakunnan metsien III inventoinnin tulosten pohjalta.

Ohjelman tavoitteet soiden ojitusmääriin olivat seuraavat:

- ojitustavoite 100 000 hehtaaria vuodessa
- ojituskelpoista suota on alkuperäisestä luonnontilaisten soiden alasta 4,5 miljoonaa hehtaaria
- ojitustoiminnan päätyttyä kasvullisen metsämaan ala on noin 19 miljoonaa hehtaaria

Lisäksi tavoiteltiin vajaatuottoisten metsien uudistamista, viljelytaimikkojen perustamista ja niiden hoitoa.

Edellä mainituilla edellytyksillä hakkuusuunnitteen arvio ensimmäisellä 10-vuotiskaudella vuotta kohti oli 47 miljoonaa kuutiometriä, 40 vuoden kuluttua 51 miljoonaa kuutiometriä ja noin 90 vuoden kuluttua 67 miljoonaa kuutiometriä.

Vuosina 1958-1962 istunut professori Nils Westermarkin johtama maatalouskomitea esitti tuotannon painottamista aiempaa enemmän metsätalouteen. Komitean asettama kuusimiehinen työryhmä (Heikinheimo, Holopainen, Kuusela, Heikurainen, Keltikangas, Möttölä) laati ns. TEHO-ohjelman (Nyssönen 1998). Sen mukaan maatilametsien perusparannuksiin tulisi lisätä voimavaroja.

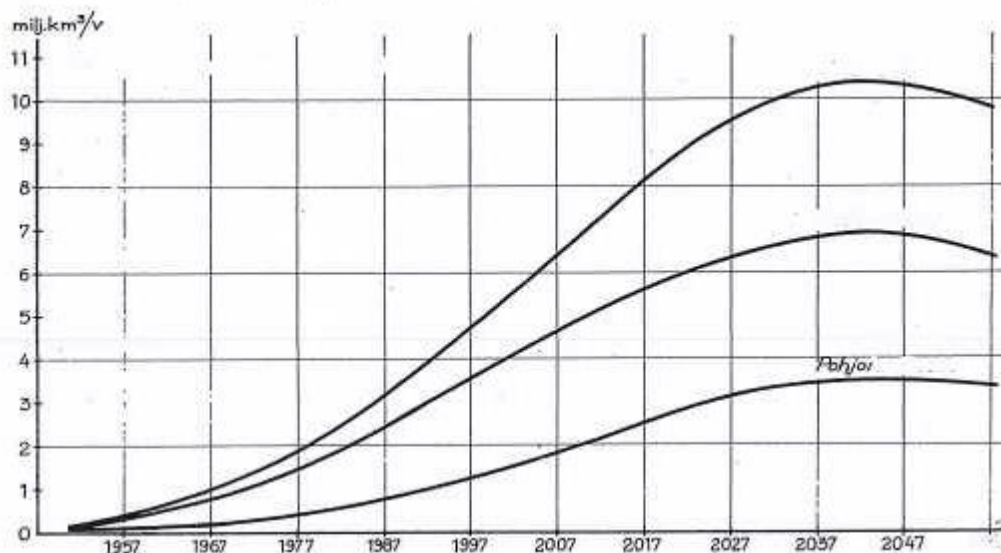
Ohjelman tärkeimmät elementit turvemailla olivat:

- ojituskelpoinen suoala ja tavoitemetsän kasvullinen maa-ala samat kuin HKLN-ohjelmassa

- metsäojitusten pinta-ala on 194 000 hehtaaria vuodessa

Niin ikään tavoitteena oli metsien uudistaminen viljelemällä ja metsien keskipuuston lisääminen.

Ohjelman mukainen hakkuutavoite oli ensimmäisenä 10-vuotiskautena keskimäärin 50 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, 40 vuoden kuluttua 57 miljoonaa kuutiometriä ja noin 80 vuoden kuluttua 80 miljoonaa kuutiometriä.



Kuva 1. Soiden metsäojituksen vaikutus metsien hakkuumahdollisuuksiin (Heikurainen 1960). Selite: Alin käyrä = Pohjois-Suomi, keskimäinen käyrä = Etelä-Suomi, ylin käyrä = Koko Suomi.

Kuvassa 1 on esitetty professori Heikuraisen vuonna 1960 tekemä alustava laskelma ojituksen aiheuttamasta hakkuusuunnitteen lisäyksestä. Laskelmat koskevat vain soiden metsäojituksia; soistuneiden kankaiden ojitukset eivät sisälly laskelmiin. Laskelmissa on oletettu metsäojitettujen soiden pinta-alksi 3,1 miljoonaa hehtaaria ja tämä ala on oletettu ojitettavaksi viidessäkymmenessä vuodessa. Heikurainen arvioi, että ojitukset olisivat tuottaneet 1960-luvun alkuun mennessä vain noin 0,5 miljoonan kuutiometrin lisäyksen. Vuonna 1975 lisäys on hänen mukaansa jo noin 1,6 miljoonaa kuutiometriä ja vuonna 2000 noin 5,2 miljoonaa kuutiometriä. Noin vuoteen 2040 mennessä metsäojitusten vaikutus olisi saavuttanut kokonaisvaikutuksensa, noin 10,4 miljoonaa kuutiometriä (Heikurainen 1960). Myöhemmin Heikurainen (1983) tarkensi lisäkasvun arvioksi 15 milj. m³.

Heikurainen arvioi soistuneiden ja veden vaivaamien metsämaiden ojitusten aiheuttamaksi kasvunlisäykseksi noin 1,6 miljoonaa kuutiometriä, jolloin koko metsäojitustoiminnan aikaansaama kasvunlisäys olisi vuosikymmenten kuluttua 12 miljoonaa kuutiometriä. Tämä merkitsi aikakauden kokonaishakkuusuunnitteeseen, 47 miljoonaan kuutiometriin, nähden noin 25 %:n lisäystä.

Vuosina 1960-63 toteutetun valtakunnan metsien IV inventoinnin tulosten mukaisen puuston perusteella tehtiin Talousneuvoston kasvupoliittiseen mietintöön liittynyt tutkimus, jossa selvitettiin ohjelmaa, jolla voitaisiin saada aikaan teoreettisesti suurin mahdollinen puuntuotanto.

Ohjelman edellyttämät ojitustyömäärät olivat seuraavat:

- uudisojitusten vuotuinen pinta-ala on noin 250 000 hehtaaria vuodessa ja ojitettava ala on noin 7 miljoonaa hehtaaria, joka saavutetaan vuonna 1990. Kasvullinen metsämaan pinta-ala on tuolloin 21,5 miljoonaa hehtaaria

Uutena keinona tuli myös mukaan metsän lannoitus.

Tätä Panosohjelmaksi nimettyä tutkimusta vastaava hakkuusuunnite on ensimmäisen 10-vuotiskauden aikana vuotta kohti noin 53 miljoonaa kuutiometriä, 40 vuoden kuluttua noin 66 miljoonaa kuutiometriä ja 70-80 vuoden kuluttua 100 – 120 miljoonaa kuutiometriä.

Metsätalouden rahoitustoimikunta esitti vuosina 1964 ja 1966 Valtioneuvostolle MERA I ja MERA II ohjelmia vuosiksi 1965-1970. Vuonna 1969 rahoitustoimikunta esitti MERA III ohjelmaa Valtioneuvostolle vuosiksi 1970-75. Esitysten mukaan ohjelmat toteutettaisiin valtoin tulo- ja menoarvioon varatuilla määrärahoilla ja erityisten metsänparannusobligatioiden myyntituotoilla. Myöhemmin vuonna 1972 MERA III ohjelman toteutusta varten haettiin Maailmanpankin lainaa. Panosohjelma oli pohjana MERA I-III ohjelmien työmääräesityksille (Ervasti ym. 1970).

Taulukko 1. MERA I ja II -ohjelmien tavoitteet ja toteutunut pinta-ala:

	Tavoiteala 1965-68	Toteutunut	% tavoitteesta
		1000 ha	
Metsänviljely	625	558	89
Metsäojitus	1003	1060	106
Taimikonhoito	849	854	101
		kilometriä	
Metsäautotiet	8000	9038	113

Vuosina 1965-1975 toteutetut MERA I, II ja III-ohjelmat toivat metsälannoituksen yksityismetsätalouteen. Myös valtion metsien, samoin kuin yhtiöidenkin metsien lannoitustoiminta vilkastui MERA-kaudella (Mera I 1964, Mera II 1966, Mera III 1969). Lannoitus tulikin metsänparannusrahoituksen työalajiksi vuonna 1967 uudistettuun metsänparannuslakiin (413/1967).

MERA III -ohjelman toimenpideohjelman laatimisen pohjana käytettiin Talousneuvoston työryhmän esittämää maksimipanosohjelmaa vuosille 1970-75. Lähelle kunnianhimoisia MERA III a- ojitusmääriä päästiin ainoastaan huippuvuosina 1970- luvun vaihteessa.

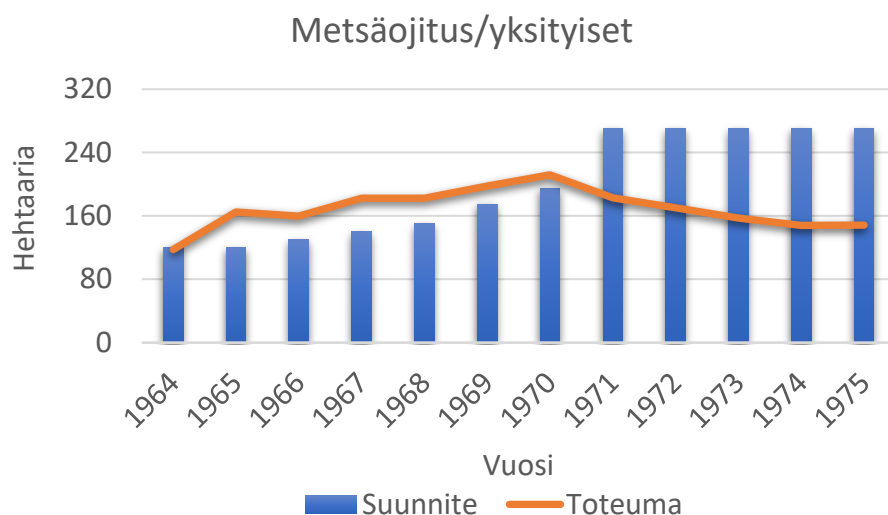
Taulukko 2. PANOSOHJELMA ja MERA III ojitustavoitteet, 1000 ha/ v

	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Panosohjelma	250	250	250	250	250	250
MERA III	351	343	337	335	331	326

Vuonna 1965 metsäojitusmäärä lähti nousuun ja tuolloin ojitettiin jo kaikkiaan 210 000 hehtaaria. Ojitus saavutti huippunsa vuonna 1969, jolloin ojitettiin 294 000 hehtaaria. Tästä määrästä valtion mailla toteutettiin 68 000 hehtaaria, firmojen mailla 29 000 hehtaaria ja yksityismailla 198 000 hehtaaria. Yksityismailla ojituksen huippu saavutettiin vuonna 1970, jolloin ojitusmäärä oli 212 000

hehtaaria. Tämän jälkeen ojitusala pienentyi ja vuonna 1975 kaikkien omistajaryhmien yhteenlaskettu ojituspinta-ala oli enää 199 000 hehtaaria.

Koko MERA-rahoitusohjelman kaudella ojitettiin kaikkiaan 2 652 000 hehtaarin alalla. Tästä määrästä valtion mailla 20 %, teollisuusyritysten mailla 9 % ja yksityismailla 71 %. Tämän kuivuvan alan aikaansaamiseksi kaivettiin kaikkiaan 713 000 kilometriä ojaa (Uusitalo 1978). Tällä jaksolla ojitettiin eniten Pohjois-Pohjanmaan, Lapin, Kainuun ja Pohjois-Karjalan metsälautakuntien alueella.



Kuva 2. MERA-rahoitusohjelman metsäojituksen tavoitteet ja toteutuminen yksityismetsissä kaudella 1965-1975.

Vuosien 1965-1970 MERA I ja MERA II -ohjelmiin kirjatut metsäojitustavoitteet toteutuivat kaikkien metsänomistajaryhmien osalta hyvin. Tavoitteet jopa ylitettiin. Vuosiksi 1970-75 laadittuun MERA III -ohjelmaan metsäojituksen tavoitteet asetettiin Talousneuvoston esittämän Panos-ohjelman pohjalta hyvin korkealle. Käytännössä ainoastaan firmojen mailla tavoitteet saavutettiin. Tämä saattoi johtua siitä, että täällä tavoitteet asetettiin alun perinkin hyvin varovaisesti. Yksityismailla ainoastaan vuoden 1971 ojitusmäärä ylitti tavoitteen. Muina vuosina saavutettiin keskimäärin vajaa 60 prosenttia tavoitteesta. Valtion mailla koko jakson vuotuinen toteuma oli keskimäärin 75 prosenttia tavoitteesta.

Uusitalo (1978) arvioi syyksi ojitustoiminnan vähentymiseen sen, että pääosa ojitustehtävästä oli jo lähellä toteutumista ja jäljellä oli vaikeita ja epätaloudellisia kohteita. Soiden ojituskelpoisuudelle asetettuja vaatimuksia oli myös tarkistettu. Lisäsyys Uusitalo mainitsee myös, että metsäojittajat olivat saaneet vastaansa luonnonsuojelijoiden ja muiden ojituksen vastustajien rintaman.

MERA-ohjelman loppukauden ojitustilastoinnin epätarkkuudesta Kullervo Kuusela esitti, että ajankohdan valtakunnanmetsien kahden inventoinnin välisenä kuusivuotisjaksona uudisojituksena tilastoidusta ojitusalasta runsaat 500 000 hehtaaria eli 36 % olisikin toiseen kertaan tehtyjä ojituksia tai täydennysojituksia. Tilastoitujen pinta-alojen ero VMI-tuloksiin oli Kuuselan mukaan likimain samaa suuruusluokkaa yksityisten, teollisuuden ja valtionmailla.

Seuraavissa luvuissa on metsäojituksen seurausvaikutuksia eritelty nykyisin saatavilla olevien inventointi- ja muiden tietojen pohjalta.

Kirjallisuus

Ervasti, S., Heikinheimo, L. Kuusela, K. & Mäkinen, V. O. 1970. Forestry and forest industry production alternatives in Finland, 1970-2015. *Folia For.* 88: 1-65.

Heikurainen, L. 1960. Metsäojitus ja sen perusteet. WSOY Porvoo. 378 s.

Heikurainen, L., Kuusela, K., Linnamies, O. & Nyysönen, A. 1960. Metsiemme hakkuumahdollisuudet. Pitkän ajan tarkastelua. *Silva Fennica* 110. 52 s.

Mera I. 1964. Metsätiedotustoimisto. Helsinki

Mera II. 1966. Metsätiedotustoimisto. Helsinki.

Mera III. 1969. Metsätiedotustoimisto. Helsinki.

Mäki, O., Ovaskainen, V., Hänninen, H. ja Heimo Karppinen, H. 2011.
Metsäpolitiikan ohjauskeinot: Arviointikehikko ja sovellus Suomen metsäpolitiikkaan
Metlan työraportteja 213 <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp213.htm>

Nyysönen, A. 1998. Metsiemme kasvu; HKLN-ohjelman tavoitteet toteutumassa. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1998, 104-107.

Palosuo, V. J. 1979. Mera-ohjelmat Suomen metsätaloudessa. *Acta Forestalia Fennica* 165, 1979.

Pohtila, E. 1999. Aikaisemmat puuntuotanto-ohjelmat. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1999, 130-133.

Päivänen, J. 2018. (2018). Suometsätalous itsenäisessä Suomessa. *Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 2018* artikkeli id 10123. <https://doi.org/10.14214/ma.10123>

Tuokko, K. 1992. Metsänparantajat kansakunnan asialla 1908-1988. Saarijärvi. 509 s.

Uusitalo, M. 1978. Suomen metsätalous MERA-ohjelmakaudella 1965-75 : Tilastoihin perustuva tarkastelu. *Folia Forestalia* 367. 89s.

3. Soiden metsävarat

3.1. Soiden pinta-alan kehitys

Suometsien pinta-alasta ja ojitustilanteesta on julkaistu tietoa tutkimusraporteissa sekä LUKEn tietopalvelussa, jossa valtakunnan metsien inventoinnin (VMI:n) tuloksia voi tarkastella alueittain ja aikasarjoina. Tätä raporttia varten on myös tilattu erillisiä laskelmia LUKEsta.

Valtakunnan metsien inventoinnissa kerätään tietoja seuraavista muuttujista suometsien kasvupaikkaa kuvaavista muuttujista (taulukko 3):

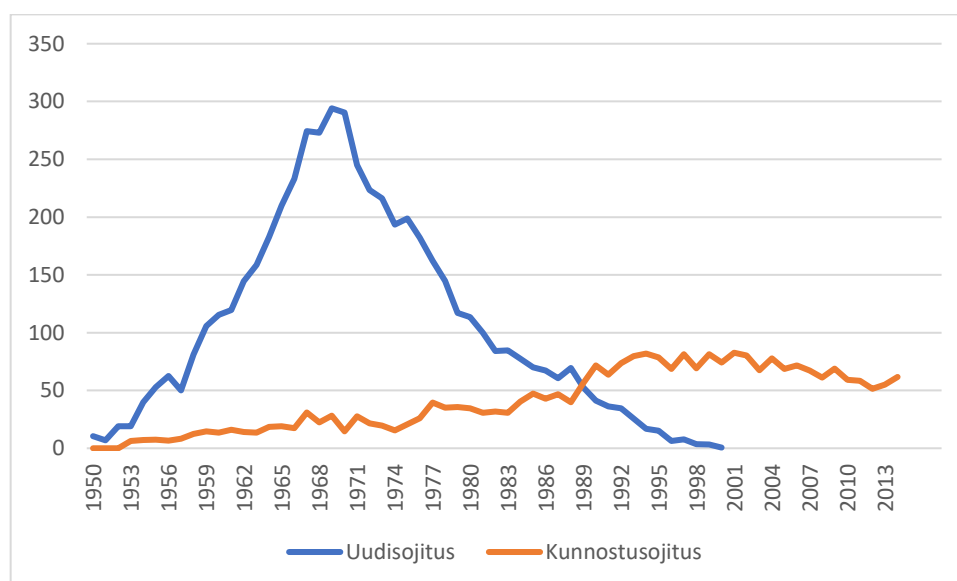
Taulukko 3. Soilta kerättävät kasvupaikkatiedot VMI:ssä.

SOIDEN LUOKITUS VMI:SSÄ

Maaluokka	Tehty ojitus
Kasvupaikan päätyyppi	Ojituksen ajankohta
Päätyypin lisämääre	Ojistarve, ml. kunnostuskelvottomuus
Kasvupaikkatyyppi	Sarkaleveys
Kasvupaikkatyyppin lisämääre	Ojien kunto
Ojitustilanne	Orgaanisen kerroksen laatu
Suotyyppi	Orgaanisen kerroksen paksuus
Turvekangastyyppi	Soiden avainbiotoopit

(Ihalainen 2011)

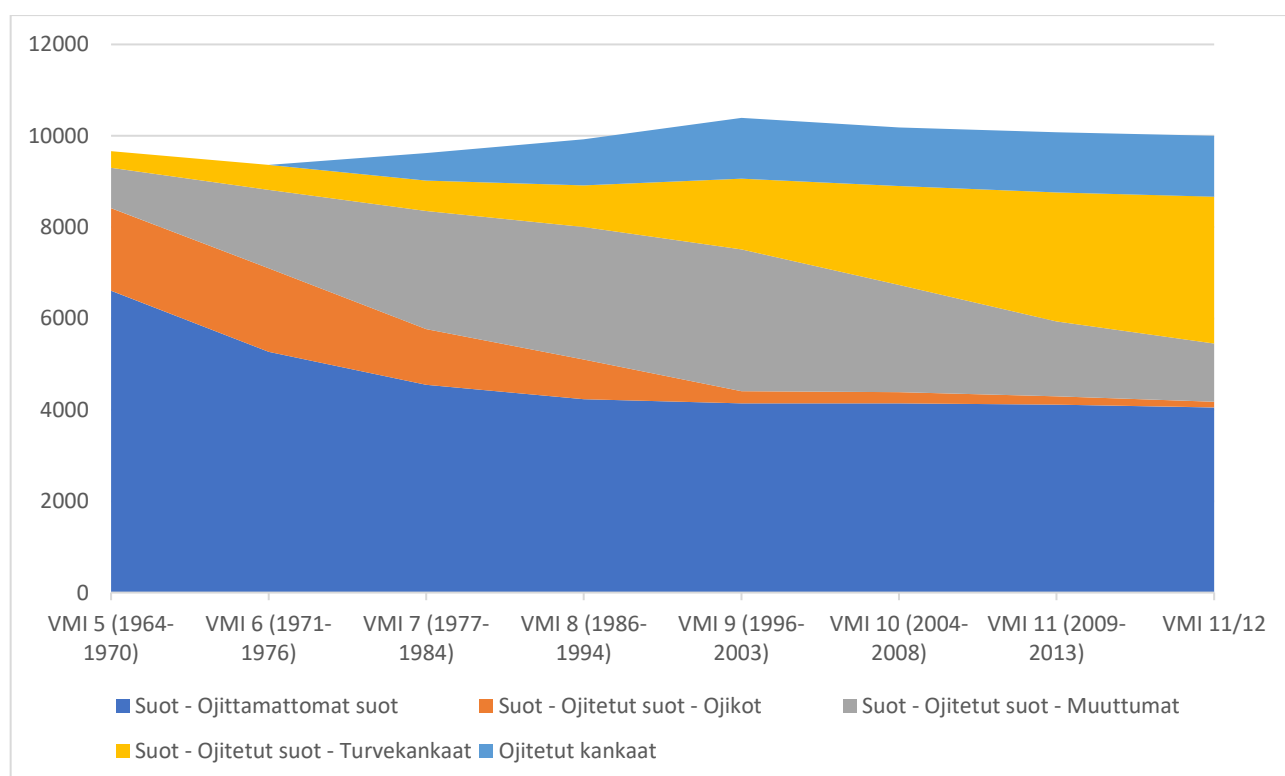
Soiden uudisojituksen määrä oli korkeimmillaan 1960- ja 1970 -luvun vaihteessa, noin 200 000 ... 300 000 hehtaaria vuodessa. Ojien kunnostusala on 1990-luvun alusta vaihdellut 60 000 ha ... 100 000 ha välillä (kuva 3).



Kuva 3. Uudisojitus- ja kunnostusojituspinta-alojen kehitys (Lähteet: stat.luke.fi, Metsätilastollinen vuosikirja 2004 ja 1985).

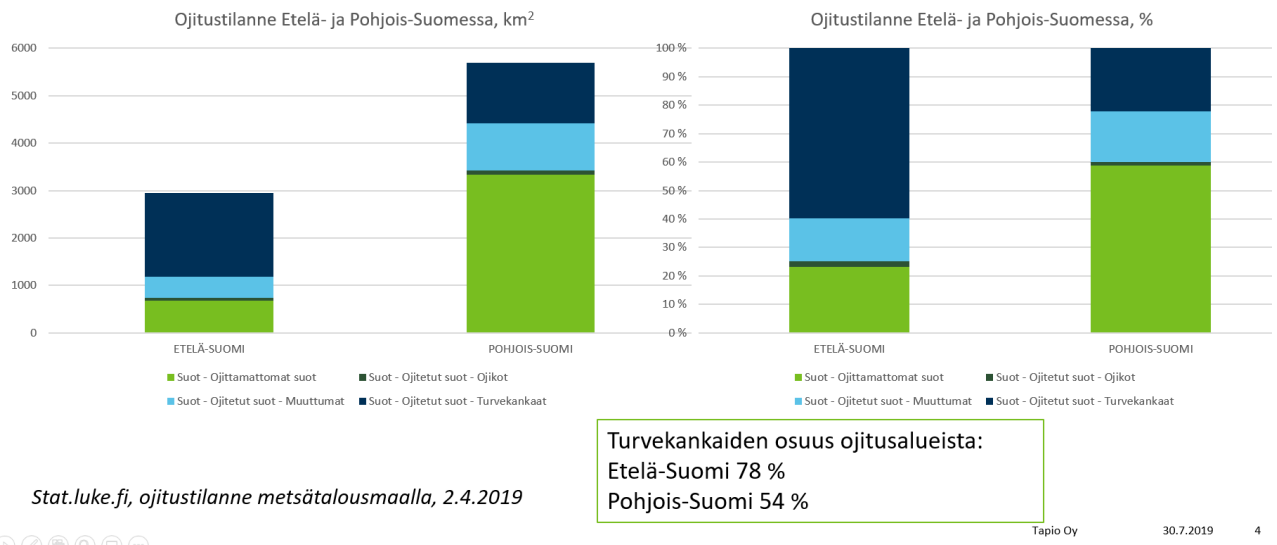
VMI:n mukaan soiden pinta-ala on pienentynyt 1950- luvun n. 9,7 miljoonasta hehtaarista 8,7 miljoonaan hehtaariin 2010-luvulle tultaessa. Tähän ovat pääasiallisina syinä ojitettujen ohutturpeisten soiden muuttuminen kivennäismaiksi ja soiden siirtyminen muihin maankäyttöluokkiin: turvetuotantoon, tekojärviksi, rakentamiseen tai pelloiksi. Toisaalta aiempia suopeltoja on metsitetty. Ojitetut suot ovat kuivuneet verrattain hyvin, ojikoksi on jäänyt vain 2,7 % ojitetusta alasta, noin 124 000 hehtaaria (VMI 11/12) (kuva 4).

VMI11:n mukaan ojitettuja soita on 4,6 milj. ha ja ojitettuja kivennäismaita 1,3 milj. ha. Uudisojitukset ovat käytännössä loppuneet 2000-luvulle tultaessa, joten ojitettujen soiden ala ei enää nouse. Ojitusala jää 1950- ja 1960-lukujen metsäohjelmien suurimpia arvioita pienemmäksi.

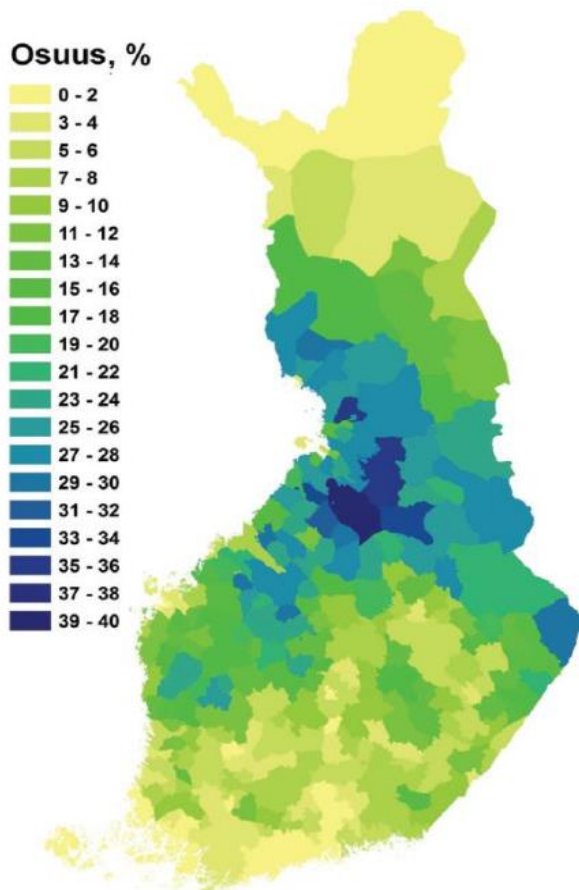


Kuva 4. Ojitustilanteen kehitys 50 vuoden aikana (stat.luke.fi)

Etelä- ja Pohjois-Suomea verrattaessa nähdään, että Etelä-Suomessa soista on ojitettu 75 %, ja Pohjois-Suomessa 40 %. Etelä-Suomessa myös kehitys turvekankaiksi on ollut nopeampaa (kuva 5). Kuvassa 6 on esitetty ojitettujen soiden osuus kaikista metsistä alueittain (Laiho ym. 2016)

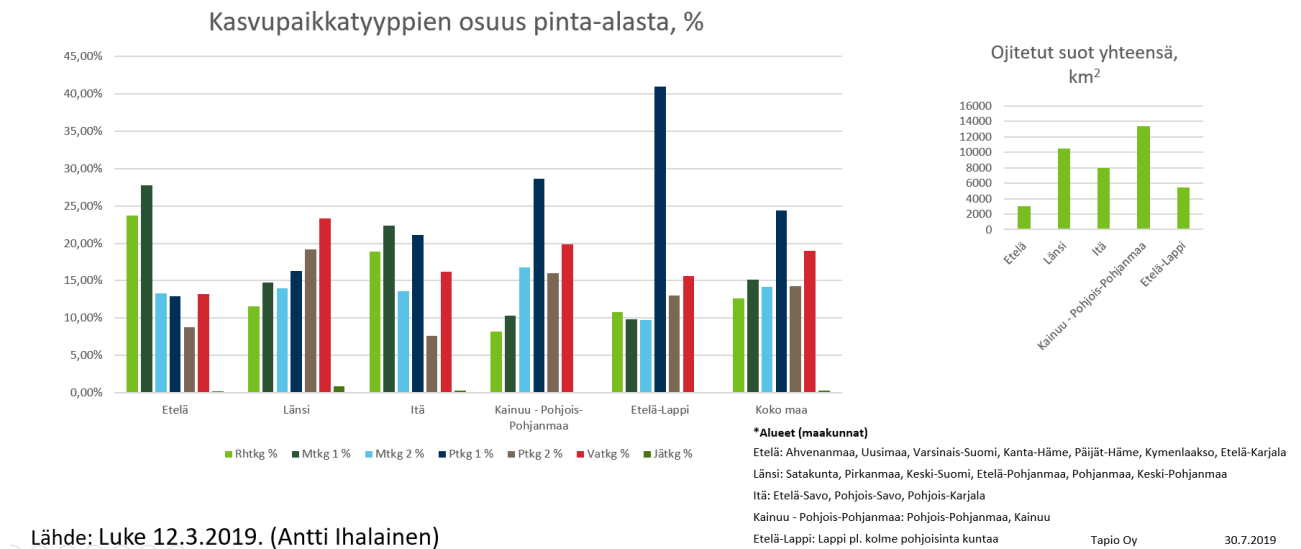


Kuva 5. Ojitustilanne Etelä- ja Pohjois-Suomessa.

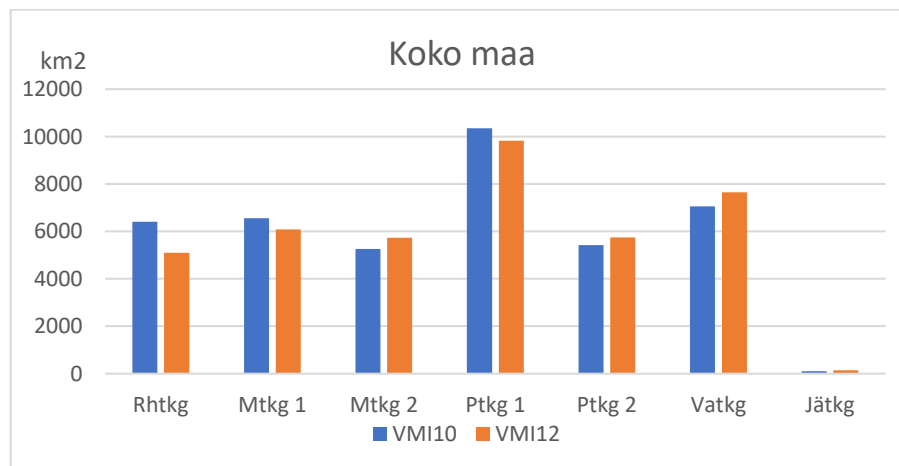


Kuva 6. Ojitettujen soiden osuus metsätalousmaasta (Laiho ym. 2016)

Eteläisessä ja Itäisessä Suomessa ojitettujen soiden kasvupaikkatyytit ovat rehevämpiä kuin muualla maassa (kuva 7). VMI-mittausten mukaan myös kasvupaikkajakaumassa on tapahtunut muutoksia. Syinä saattavat olla sekä rehevöityminen että karuuntuminen: rehevimpien soiden siirtyminen kivennäismaiksi ja kitumaiden siirtyminen metsämaaksi soiden huonommilla kasvupaikoilla. Myös luokituserot vaikuttavat asiaan (kuva 8).



Kuva 7. Ojitettujen soiden kasvupaikkajakauma metsämaalla VMI 11/12 mukaisesti. Kasvupaikat luokiteltu odotettavissa olevan turvekangasvaiheen mukaisesti.



Kuva 8. Ojitettujen soiden kasvupaikkajakauman kehitys metsämaalla

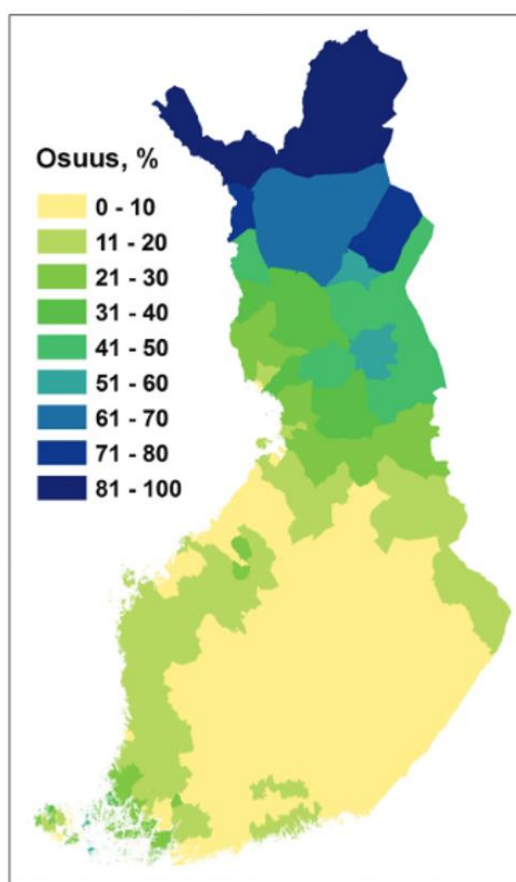
Ojitetuista soista osa on ollut niin karuja, että ojitusta ei voida katsoa taloudellisesti kannattavaksi. VMI11 maastoaineiston perusteella puuntuotannon maalla heikkotuottoisia ojitettuja soita oli 0,84 miljoonaa hehtaaria, joista kitu- ja joutomaita 0,55 miljoonaa hehtaaria (Kojola ym. 2013).

Laiho ym. (2016) selvittivät heikkotuottoisten ojitusaluiden laajuutta metsämaalla kunnittain satelliittikuviin perustuvan monilähdeinventoinnin avulla. Koko metsätalouden maa kuvioitiin automaattisella segmentointialgoritmeilla ja kuvioille laskettiin VMI- maastokoealoihin tukeutuen kasvupaikka- ja puustotunnukset. Ojituksen jälkeen kitu- tai joutomaaksi luokiteltavia ojitettuja soita löytyi 778 000 ha, mikä on 17 % ojitusalasta. Vähäpuustoisiksi luettiin alle 30 m³/ha puustot, joita oli 592 000 ha eli 13 % ojitetuista soista (Ks. kuva 6). Kuvissa Pohjoisimman Suomen osuus korostuu, koska siellä ojitettujen soiden määrä on ollut pieni. Heikkotuottoisuuden määrittäminen ja tunnistaminen ei

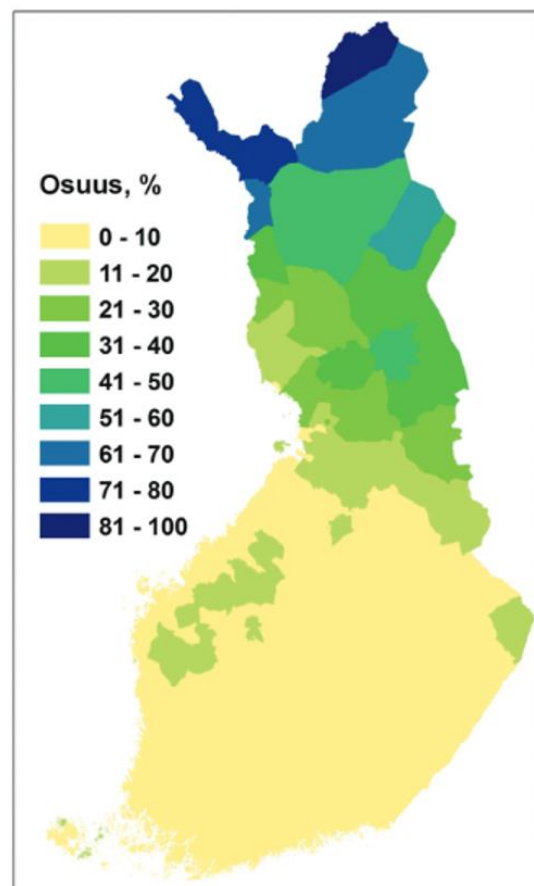
ole yksiselitteistä. Laiho ym. (2016) päättelivät sen olevan 10-20 % kokonaisojituksen alasta metsätalouden maalla.

Toisaalta teoreettisesti uudisojituskelpoisia soita arvioitiin olevan jäljellä 834 000 ha 2000 -luvun alussa (Hökkä et. al. 2002), joten ojitusten kohdistamisessa näyttäisi olleen nykytiedon valossa ainakin teoriassa parantamisen varaa.

Turpeen kasvun ja lietteen muodostumisen seurauksena ojat kasvavat pikkuhiljaa umpeen. Ojien kunnostus on tarpeen, jos vedenpinnan nousun seurauksena puuston kasvu alkaa taantua, mikä tapahtuu yleensä 20-30 vuodesta ojituksesta. Ojien kunnostuksen tarpeessa olevia soita on VMI8:n mukaan runsaat 1,5 milj. ha. Vuositasolla ojien kunnostustarpeeksi on arvioitu 100 000 ha (MMM 2008). Kunnostusojitusmäärät olivat 1990-luvulla noin 60 000 ... 80 000 ha vuodessa, mutta ovat viime vuosina olleet alle 20 000 ha vuodessa (stat.luke.fi 20.5.2019, kuva 3).



Kitu- tai joutomaaksi
luokitellut ojitusalueet

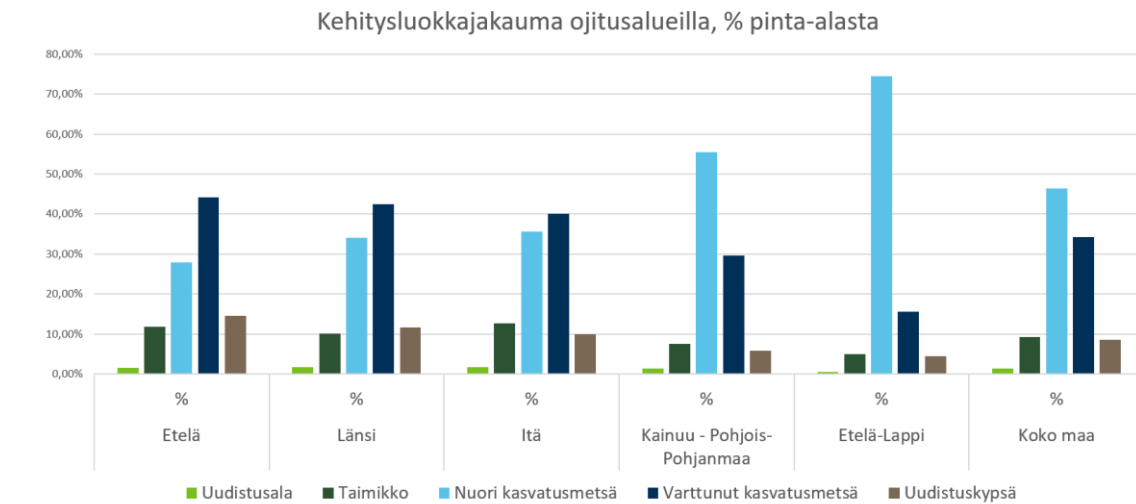


Vähäpuustoisuuden perusteella
heikkotuottoiseksi luokitellut ojitusalueet

Kuva 9. Heikkotuottoisten kuvioiden pinta- alaosuus ojitetuista suometsistä (Laiho ym. 2016)

3.2. Suometsien puusto

Viimeisimpien VMI-tulosten mukaan ojitusalueiden nuorten kasvatusmetsien osuus lisääntyy pohjoiseen päin mentäessä ja vastaavasti etelään tultaessa lisääntyy varttuneiden metsien osuus (kuva 10). Varttuneiden metsien osuus on kuitenkin lisääntynyt viime vuosikymmenellä sekä etelässä että pohjoisessa (kuva 11).



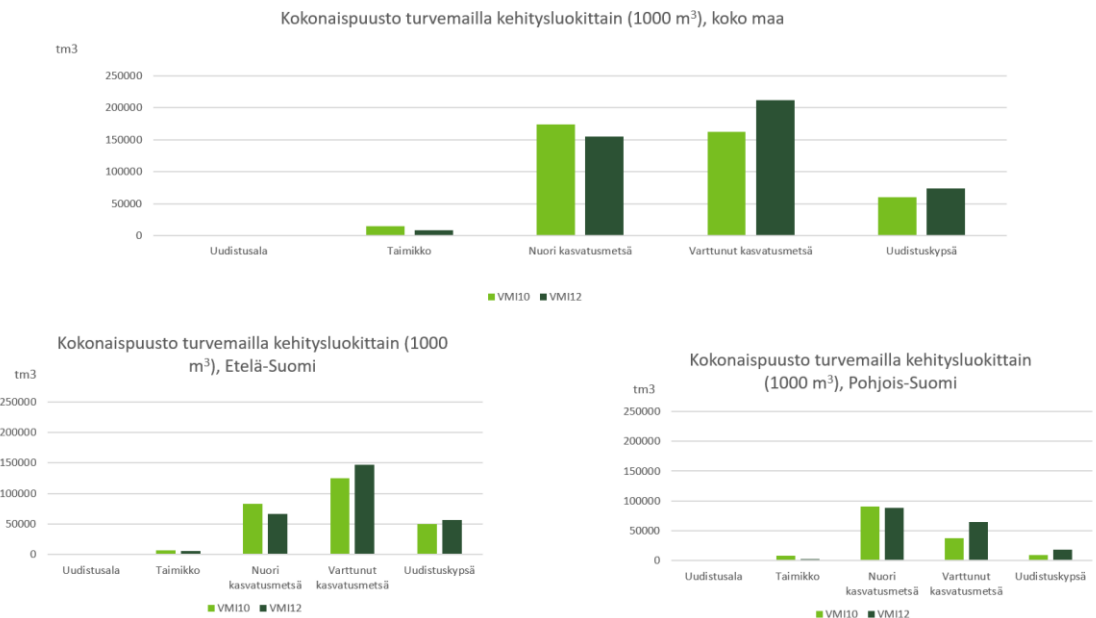
Lähde: Luke 12.3.2019. (Antti Ihalainen)

Tapio Oy

31.7.2019

10

Kuva 10. Ojitettujen soiden puuston kehitysluokat alueittain.



Lähde: Korhonen ym. 2017, Luke 12.3.2019. (Antti Ihalainen)

Tapio Oy

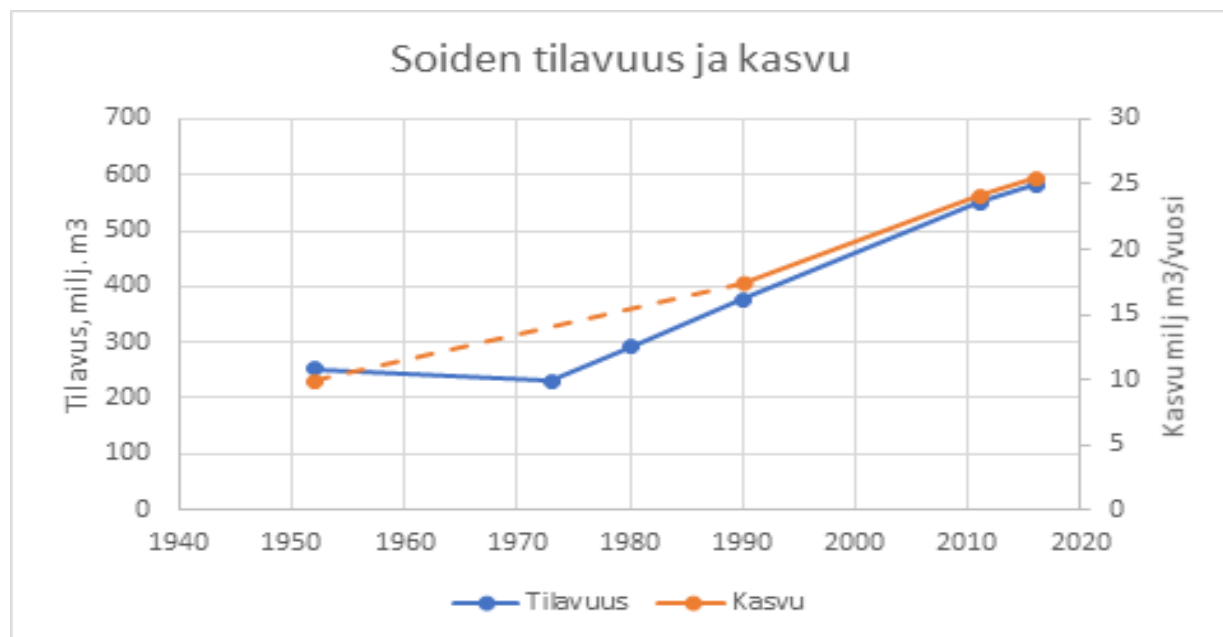
31.7.2019

11

Kuva 11. Ojitettujen soiden kehitysluokkajakauman muutos VMI 10 ja VMI11/12 välillä.

VMI3:ssa soiksi luokiteltujen maiden puuvarannoksi arvioitiin 252 milj. m³, kun se VMI11/12:n mukaan oli 582 milj. m³. Kun otetaan huomioon soiden siirtyminen kankaiksi, soiden puusto entisillä ja nykyisillä soilla on arviolta 10-12 % suurempi kuin VMI11/12:ssa mitattu nykyisten soiden puumäärä (vrt. Hökkä ym. 2002, taulukko 6).

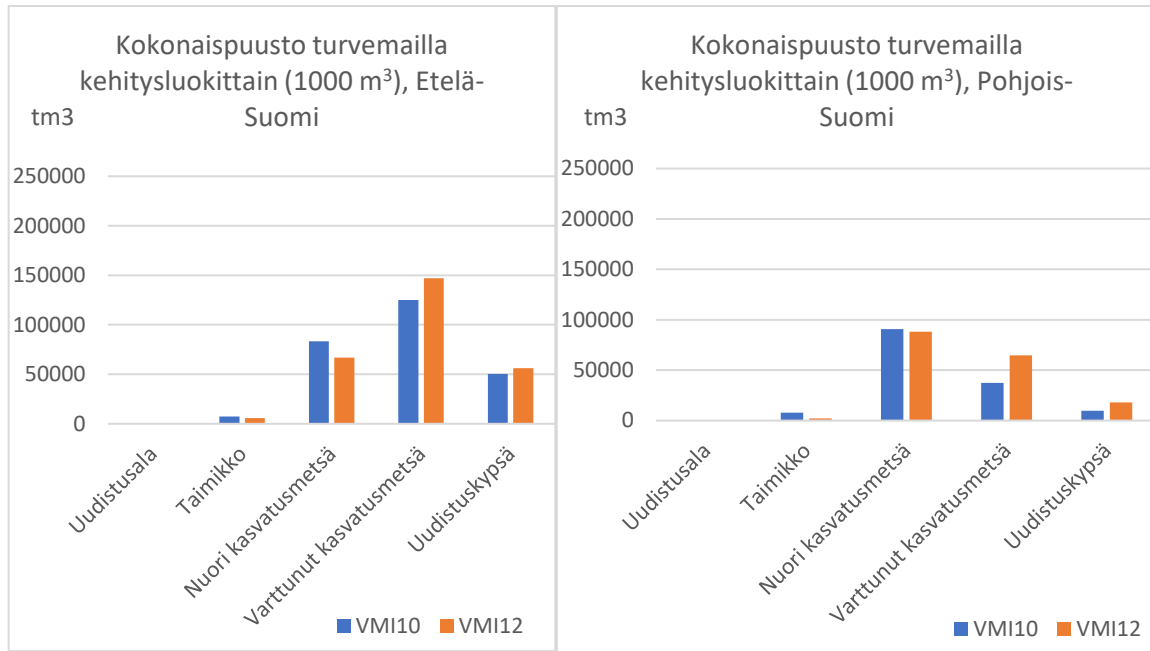
Samassa ajassa puuston vuotuinen kasvu on noussut 9,9 milj. m³:stä noin 25 milj. m³:iin vuodessa. Samoin tässä vertailussa on otettava huomioon, että nykysoiden kasvu kertyy pienemmältä pinta-alalta kuin 1950-luvulla.



Kuva 12. Soiden tilavuuden ja kasvun kehitys. Kuvassa ei ole otettu huomioon soiden pinta-alan pienemistä. Lähteet: Luke 12.3.2019 (Antti Ihalainen), Hökkä ym. 2002.-

Sekä puuvarannon että puuston vuotuisen kasvun suhteelliset lisäykset ovat 1950-luvun alun jälkeen olleet soilla selvästi suuremmat kuin kivennäismailla. Ojituksen lisäksi tähän vaikuttavat puustojen erilaiset lähtötilanteet, nykyisten ikärakenteiden erot sekä se, että soilla hakkuut ovat olleet vähäisempiä kuin kivennäismailla (Hökkä ym. 2002). Soiden osuus sekä kokonaistilavuudesta että kasvusta on kasvanut noin 17 %:sta 23 %:iin.

Varttuneiden metsien osuus sekä suometsien pinta-alasta (kuva 11) että kokonaistilavuudesta (kuva 12) on kasvanut selvästi viimeisen vuosikymmenen aikana. Varttuneiden metsien osuus on VMI-tietojen mukaan nuoria suurempi eteläisessä osassa Suomea, mutta tilanne on päinvastainen Kainuussa, Pohjois-Pohjanmaalla ja Etelä-Lapissa (kuvat 7 ja 10).

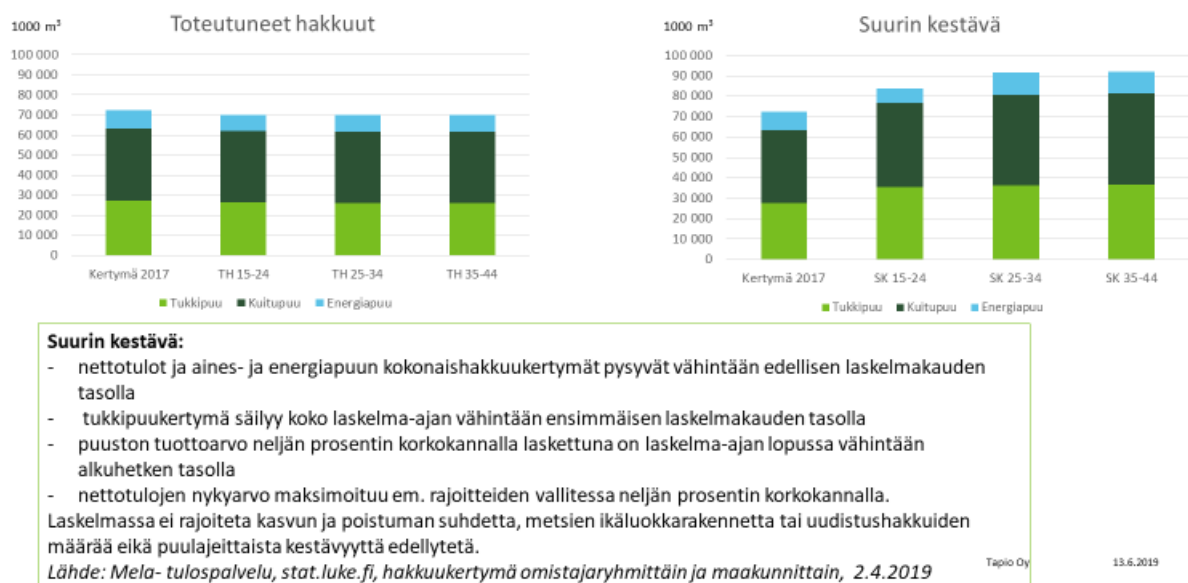


Kuva 13. Soiden kehitysluokittaisen puuston muutos VMI10 ja VMI11/12 välillä.

3.3. Suometsien hakkuumahdollisuudet

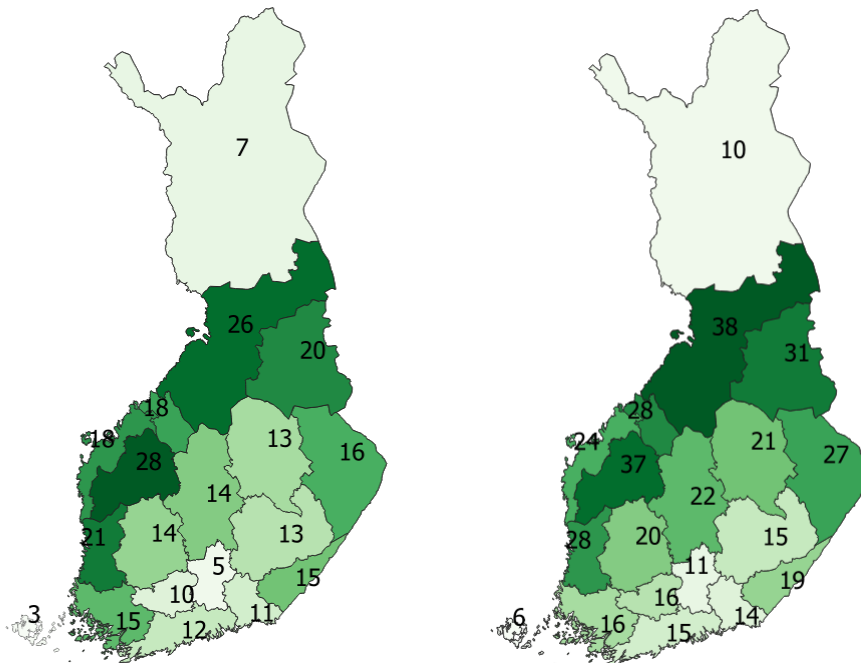
Seuraavassa on käytetty Mela-tulospalvelun sekä ”suurimman kestävä” että ”toteutuneen hakkuiden” skenaarioita. Näistä edellinen nousee 80 miljoonaan kuutiometriin jaksolla 20035-20044, ja jälkimmäinen pysyy 60 miljoonassa kuutiometrissä ainespuuta. Laskelmassa ei rajoiteta kasvun ja poistuman suhdetta, metsien ikäluokkarakennetta tai uudistushakkuiden määrää eikä puulajeittaista kestävyttä edellytetä. *Lähde: Mela- tulospalvelu, stat.luke.fi, hakkuukertymä omistajaryhmittäin ja maakunnittain, 2.4.2019.*

MELA-skenaariot



Kuva 14. Mela-tulospalvelun skenaariot ”Toteutuneet hakkuut” ja ”Suurin kestävä”.

Soiden osuus kuitupuiden kertymästä on kahden seuraavan kymmenvuotiskauden aikana 21-25 % ja tukkikertymästä 15-18 % sekä toteutuneiden hakkuiden mukaisessa että suurimmassa kestävässä hakkuusuunnitteessa. (Mela-Tulospalvelu). Tämä osuus vaihtelee alueittain. Kuvassa 15 esitetään soiden osuus suurimmasta kestävästä hakkuusuunnitteesta erikseen tukin ja kuidun osalta.



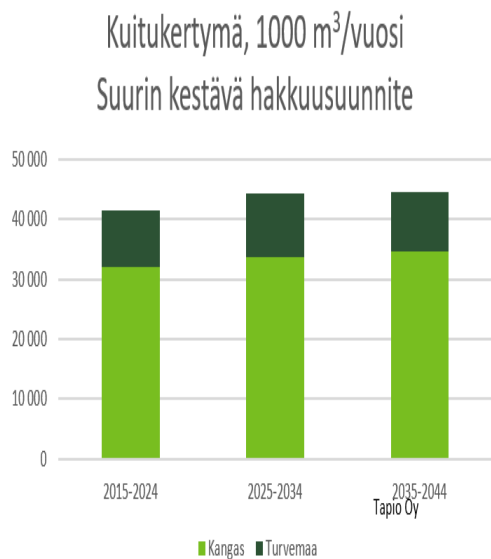
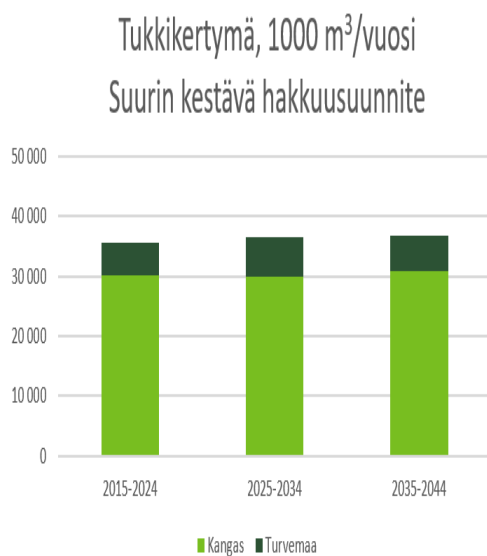
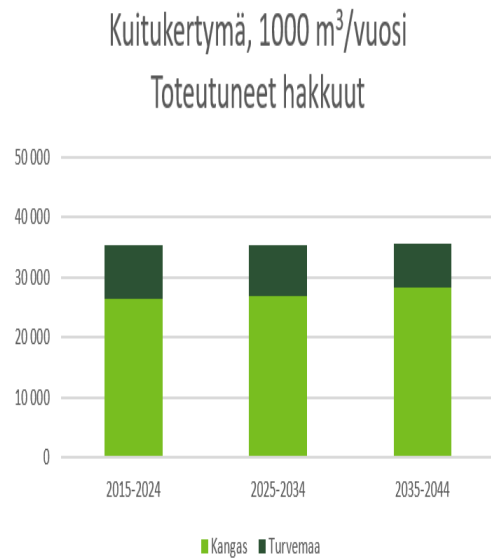
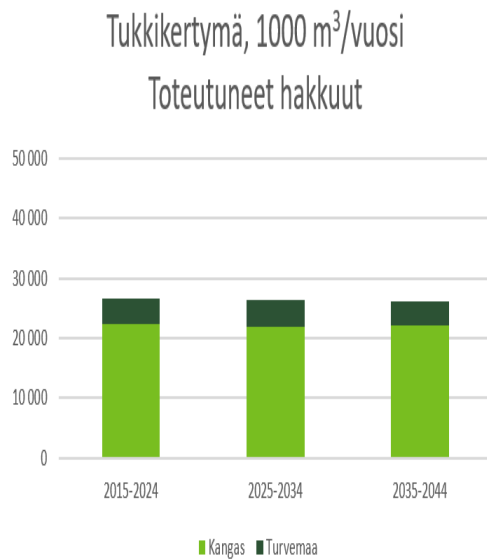
Kuva 15. Soiden osuus tukin ja kuidun suunnitteesta maakunnittain, % (Suurin kestävä suunnite 2015-2024)

Soiden kertymä on määrällisesti merkittävin Pohjois-Pohjanmaalla, Pohjois-Karjalassa, Keski-Suomessa ja Etelä-Pohjanmaalla, jossa kertymä on yli 1,25 milj. m³ vuodessa Suurimman kestävän suunnitteen mukaan kaudella 2015-2025 (taulukko 4).

Taulukko 4. *Tukin ja kuidun kokonaissuunnite maakunnittain kankailla ja turvemailla (MELA-tulospalvelu, suurin kestävä hakkuusuunnite).*

Maakunta	Tukki		Kuitu		Tukki+kuitu	
	Kangas	Turvemaa	Kangas	Turvemaa	Kangas	Turvemaa
Ah	61	2	182	12	243	14
Uu	1 210	158	1 456	247	2 666	405
V-S	1 093	200	1 505	294	2 598	494
Sa	1 072	287	953	363	2 025	650
K-H	1 043	112	907	176	1 950	288
Pi	2 436	386	2 049	505	4 485	891
P-H	1 156	63	883	113	2 039	176
Ky	923	115	855	143	1 778	258
E-K	1 118	191	791	182	1 909	373
E-S	3 514	504	2 616	473	6 130	977
P-S	2 853	428	2 907	781	5 760	1 209
P-K	2 920	576	2 420	885	5 340	1 461
K-S	3 199	526	2 702	778	5 901	1 304
E-P	1 364	519	1 281	765	2 645	1 284
Po	800	178	1 067	331	1 867	509
K-P	381	83	546	214	927	297
P-P	1 837	649	3 134	1 905	4 971	2 554
Ka	1 235	313	1 956	883	3 191	1 196
La	1 841	144	3 748	409	5 589	553
Koko maa	30 056	5 434	31 958	9 459	62 014	14 893

Kuvassa 16 on esitetty soiden ja kankaiden tukki- ja kuitukertymien muutos toteutuneiden hakkuiden ja suurimman kestävän suunnitteen mukaan.



Tapio Oy

5.8.2019

26

Kuva 16. Mela-skenaarioiden Toteutuneet hakkuut ja Suurin kestävä hakkuusuunnite mukaiset tukin ja kuidun kertymien muutokset.

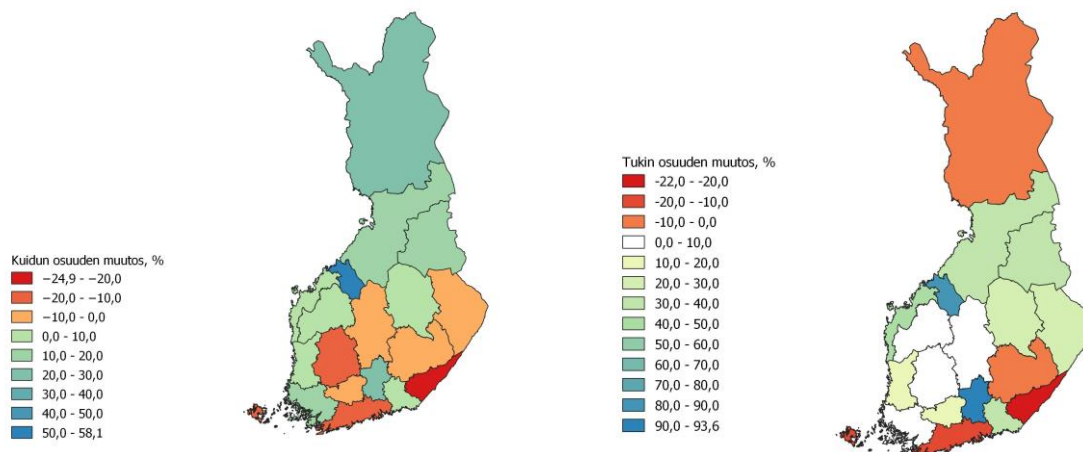
Taulukossa 5 kuvataan soiden osuus suunnitteesta eri skenaarioiden mukaan.

Taulukko 5. Soiden osuus tukki- ja kuituskenaarioista

Skenaario ja puutavaralaji	2015-2024	2025-2034	2035-2044
TH, tukki	16 %	16 %	15 %
TH, kuitu	25 %	24 %	21 %
SK, tukki	15 %	18 %	16 %
SK, kuitu	23 %	24 %	22 %

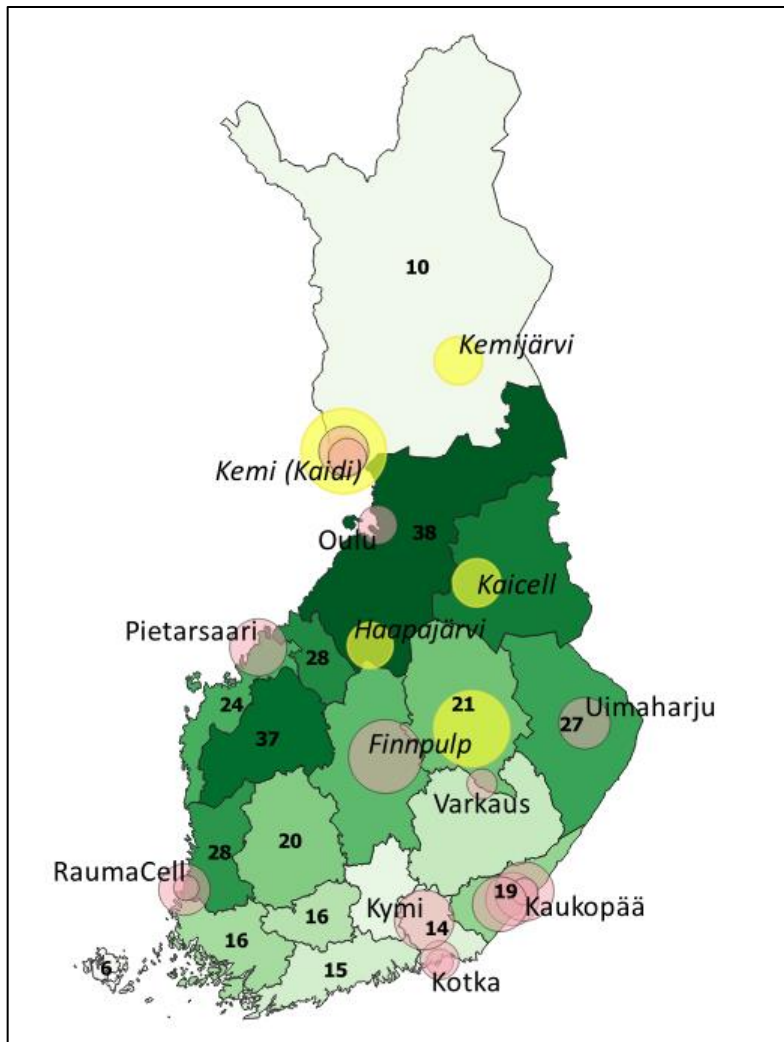
Hakkuutason säilyessä ennallaan (TH) soiden osuus etenkin kuitupuun kertymästä laskee. Hakkuutason noustessa (SK) soiden osuus tukkikertymästä hieman nousee, ja kuitukertymästä osuus pysyy suunnilleen ennallaan.

Alueittain muutokset ovat selkeämpiä kuin koko maan keskiarvoina. Kuvassa 17 on soiden kuitu- ja tukkikertymän osuuden muutos alueittain. Kuvasta nähdään suometsien merkityksen lisääntyminen kuitukertymään (vasen kuva) etenkin Pohjanmaan alueella ja tukkikertymään vielä laajemmalla alueella.



Kuva 17. Soiden osuuden muutos tukin ja kuidun suunnitteesta (Suurin kestävä suunnite 2025-2034/2015-2024)

Kuvassa 18 on havainnollistettu kuitupuun nykyisiä ja tulevia käyttöpaikkoja ja hakkuumahdollisuuksia suometsissä.



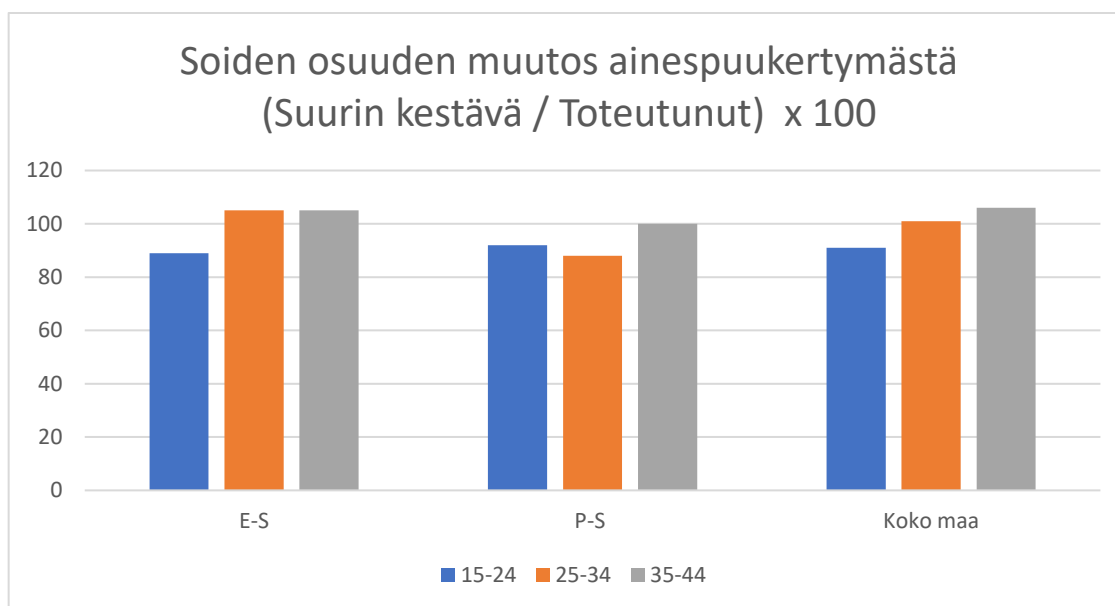
Selite: kartan lukuarvot tarkoittavat maakunnittain turvemailta kerättävän kuitupuun osuuden suurimmasta kestävästä suunnitteesta (vuodet 2015-2024) (lähde: VMI-tulospalvelu).

Sellutehtaiden ja suunniteltujen sellutehtaiden nimet on merkitty karttaan. Olemassa olevan sellutehtaan (punaisella) tai suunnitellun sellutehtaan kohdalle piirretyn ympyrän koko kuvaa laitoksen kapasiteettiä (pienin 200 t/vuosi... suurin 1300 t/vuosi). Tiedot perustuvat yritysten julkisiin internet-sivuihin.

Kuva 18. Nykyisten ja suunniteltujen sellutehtaiden kapasiteetti sekä suometsien osuus suurimmasta kestävästä kuitupuun hakkuusuunnitteesta maakunnittain 2014-2015.

Suometsien hakkuiden painopiste on siirtymässä nuorista metsästä varttuneisiin metsiin. Suunnitelaskelmissa tämä näkyy tukin osuuden suhteellisenä suurenemisena hakkuukertymästä tulevana vuosikymmeninä.

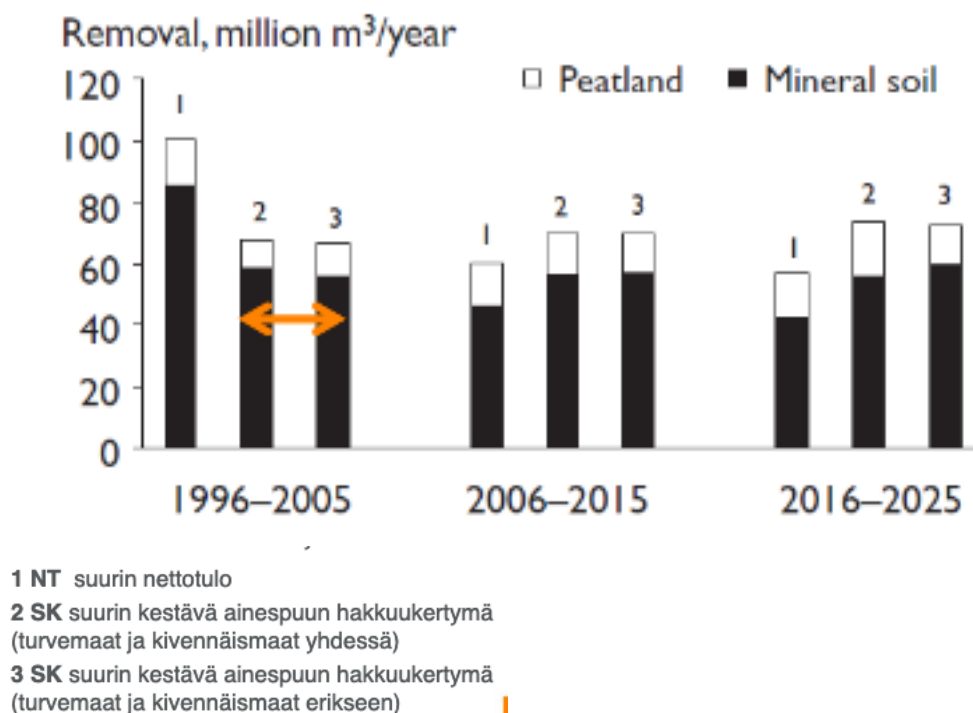
Kuvassa 19 on laskettu miten soiden osuus ainespuukertymästä muuttuisi, jos siirryttäisiin toteutuneiden hakkuiden tasolta korkeammalle, suurimman kestävä suunnitteen tasolle. Ensimmäisellä vuosikymmenellä soiden osuus pienenesi, mutta sen jälkeen suurenisi. Tämä johtunee siitä, että suurenevat hakkuut kannattaisi ensin ohjata kangasmaille, ja soille vasta myöhemminä kautena.



Kuva 19. Soiden osuuden muutos hakkuusuunnitteesta siirryttäessä suurimpaan kestävään skenaarioon, ts. hakkuiden lisääntyessä

Melan tuottamien skenaarioiden analyysien yhteydessä on pohdittu, kannattaisiko kangasmaiden ja turvemaiden skenaariolaskelmat tehdä erikseen. Asiaa ovat selvittäneet Nuutinen ym. (2000).

Kuvassa 20 skenaario 2 ja 3 ovat muutoin samanlaisia, mutta toisessa on kivennäis- ja turvemaat käsitelty yhtenä kokonaisuutena, toisessa erikseen. Teoriassa jaettaessa optimointi osa-alueisiin, hakkuumahdollisuuksien summan tulisi pienentyä. Näiden skenaarioiden välinen kokonaispoistuman ero jää kuitenkin melko pieneksi, ollen skenaariossa 2 vain vajaat 2 % suurempi skenaarion 3 vastaavaa lukua. Syynä lienee se, että sekä turvemaat että kankaat ovat sen verran suuria yksiköitä, että optimoinnissa löytyy hakkuumahdollisuuksia. Turve- ja kivennäismaiden poistumien jakautumisessa kymmenvuotiskausien välille skenaario 3 on tasaisempi. Skenaariossa 2 kivennäismaiden ensimmäisen kauden poistuma on suhteellisesti suurempi, turvemailla taas päinvastoin. Vaikka tutkimuksen aineisto on jo parin vuosikymmenen takaa, voidaan olettaa, että tulos uudemmilla aineistoilla olisi samansuuntainen.



Kuva 20. Skenaariolaskelmat, joissa suot ja kankaat on optimoitu yhdessä ja erikseen (Nuutinen ym. 2000).

3.4 Puun laatu turvemailla

Turvemailla kasvaneiden runkojen laatu vaihtelee kangasmaita enemmän. Ennen ojitusta lustot ovat ohuita, mutta kasvavat kuivatuksen myötä. Luontaisesti epätasainen metsikkörakenne aiheuttaa oksikkuutta ja pehmeä kasvualusta etenkin mättäillä ja ojanpientareilla lenkoutta ja tyvekkyyttä. Runkojen järeys on samanikäisiin kangasmaitiin verrattuna pienempi. Rikala ja Sipi (2002), Stöd ym. (2002), Verkasalo (2018).

Turvemaiden runkojen tiheät lustot ja lujuus ovat sahauksen kannalta myönteisiä piirteitä, mutta oksat, lenkous ja tyvekkyyys taas päinvastoin. Varhimon ym. (2002) mukaan turvemaiden männiköiden ensiharvennuksista saatava kuitupuu ole huonompaa kuin ensiharvennuspuu yleensä, joskaan paras käyttökohde ei kuitenkaan ole lujitekykyä vaativan sellun valmistuksessa. Erilaisilla metsänkasvatuksen toimenpiteillä voidaan kuidun ja sellun ominaisuuksiin vaikuttaa suometsissä ilmeisesti enemmän kuin kangasmetsissä (Rissanen ja Sipi 2002).

Kirjallisuus

Hökkä, H., Kaunisto, S., Korhonen, K.T., Päivänen, J., Reinikainen, A. & Tomppo, E. 2002. Suomen suomensäät 1951–1994. Metsätieteen aikakauskirja 2A/2002: 201–357.

Ihalainen, A. 2011. Uutta tietoa suomensätalouteen. Suomensätalous – tutkimusohjelman tulokset käytäntöön-seminaari. 12.4.2011

Korhonen K., Ihalainen A., Ahola A., Heikkinen J., Henttonen H., Hotanen J-P., Nevalainen S., Pitkänen J., Strandström M.&Viiri H. 2017. Suomen metsät 2009–2013 ja niiden kehitys 1921–2013. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 59/2017. Luonnonvarakeskus. Saatavissa: http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/540537/luke-luobio_59_2017.pdf

Laiho, R., Tuominen, S., Kojola, S., Penttilä, T., Saarinen, M. & Ihalainen, A. 2016. Heikko-tuottoiset ojitettut suomensät – missä ja paljonko niitä on? Metsätieteen aikakauskirja 2/2016: 73–93.

Kojola, S., Niemistö, P., Ihalainen, A., Penttilä, T. & Laiho, R. 2013. Metsätaloudellisesti kannattamattomien ojitettujen suomensien tunnistaminen ja jatkokäytön arvioimisperusteet. Maa- ja metsätalousministeriölle laaditun selvityksen loppuraportti (16 s.).

Mmm 2008. Kansallinen Metsäohjelma 2015. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 3/2008

Nuutinen T., Hirvelä H., Hynynen J., Härkönen K., Hökkä H., Korhonen K.T., Salminen O. (2000). The role of peatlands in Finnish wood production – an analysis based on largescale forest scenario modelling. *Silva Fennica* 34(2): 131–153.

Rikala, J. ja Sipi, M. (2002) Suopuustot sahateollisuuden raaka-aineena. Metsätieteen aikakauskirja 4/2002: 620–623.

Rissanen, J., ja Sipi, M. (2002) Puuaineen ja –kuitujen ominaisuudet ojitettujen soiden männyissä. Metsätieteen aikakauskirja 4/2002: 617–619.

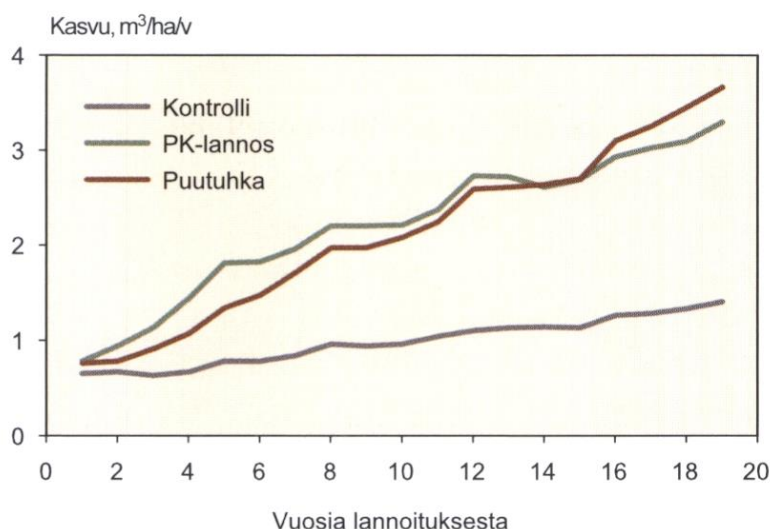
Stöd R. Wall, T., Kilpeläinen, H. ja Verkasalo, E. (2002) Mänty- ja kuusipuustojen teknillinen laatu turvemaidilla puutuoteteollisuuden kannalta – nykytila ja tulevaisuuden näkymiä Metsätieteen aikakauskirja 4/2002: 624–633

Varhimo, A., Penttilä, T., Kojola, s. ja Laiho, R. (2002) Ojitusaluemänniköiden ensiharvennuspuiden sellun raaka-aineena. Metsätieteen aikakauskirja 4/2002: 614–616

Verkasalo, E. (2018) Suopuustojen laatu ja käyttömahdollisuudet: haaste metsänkasvatukselle ja mahdollisuus kehitystyölle. SMS Metsänhoitoklubi Metsätieteen päivä ”Suomensienkäytön tulevaisuus” Helsinki, 26.11.2018. <http://www.metsatieteellinenseura.fi/files/sms/MTP2018/MTP18-MH-Verkasalo.pdf>

4. Suometsänhoidon panosten vaikutus puuntuotantoon (Hannu Hökkä, LUKE)

Ojitettujen suometsien intensiivistä puuntuotantoa ei ole kovin paljon tutkittu. Lannoituskokeiden perusteella tiedämme, että puuston kasvureaktio PK-lannoitukseen voi olla huomattava. Tuhka lisää puuston kasvua hitaammin kuin PK-lannoite, mutta pitkällä aikavälillä tuhkalannoituksella saadaan jopa parempi kasvureaktio Kuva 21. (Moilanen ym. 2004 ja 2005, Sikström ym. 2010).

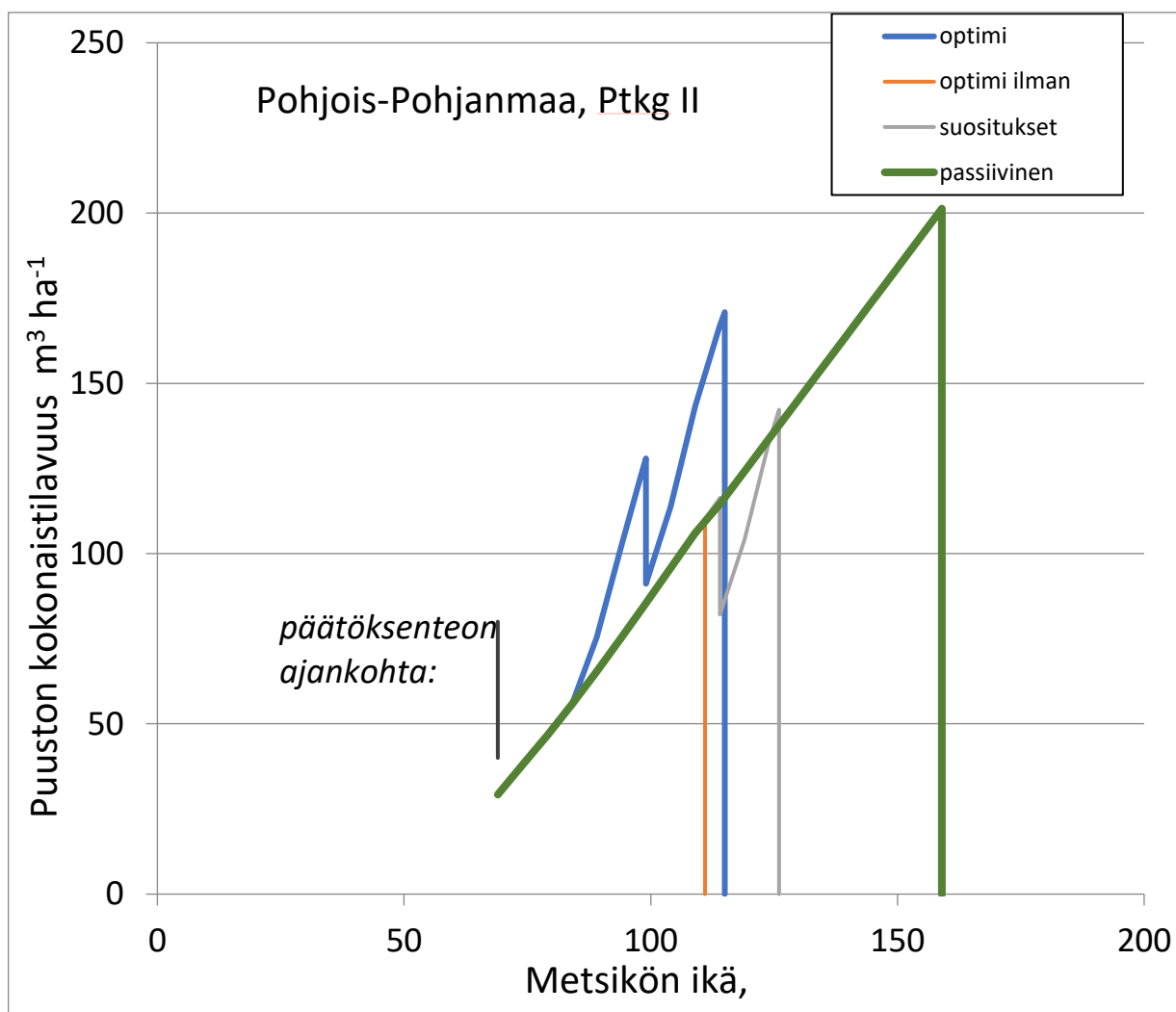


Kuva 21. Männyn tilavuuskasvun kehitys turvemaiden lannoituksen jälkeen (Moilanen 2005).

Simulointitutkimuksessa selvitettiin kuinka paljon suometsien puuntuotantoa ja kannattavuutta voidaan parantaa, jos metsänhoidon (kunnostusojitukset, harvennukset, lannoitukset) panostus vaihtelee (Ahtikoski and Hökkä, 2019). Simuloinnit tehtiin Lounais-Suomen ja Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueelle viljavalle ja keskiravinteiselle kasvupaikalle (MtkgII ja PtkgII). Lähtötietona käytettiin VMI11:n maastokoeala-aineiston yleisintä puuston ikäluokkaa (50-v75) josta valittiin minimi-, mediaani ja maksimiläpimittaa vastaavat puustot. Puustojen kehitys nykyhetkestä päätehakkuuseen simuloitiin Motti-metsikkösimulaattorilla. Kaikille metsiköille simuloitiin seuraavat vaihtoehtoiset kasvatusohjelmat:

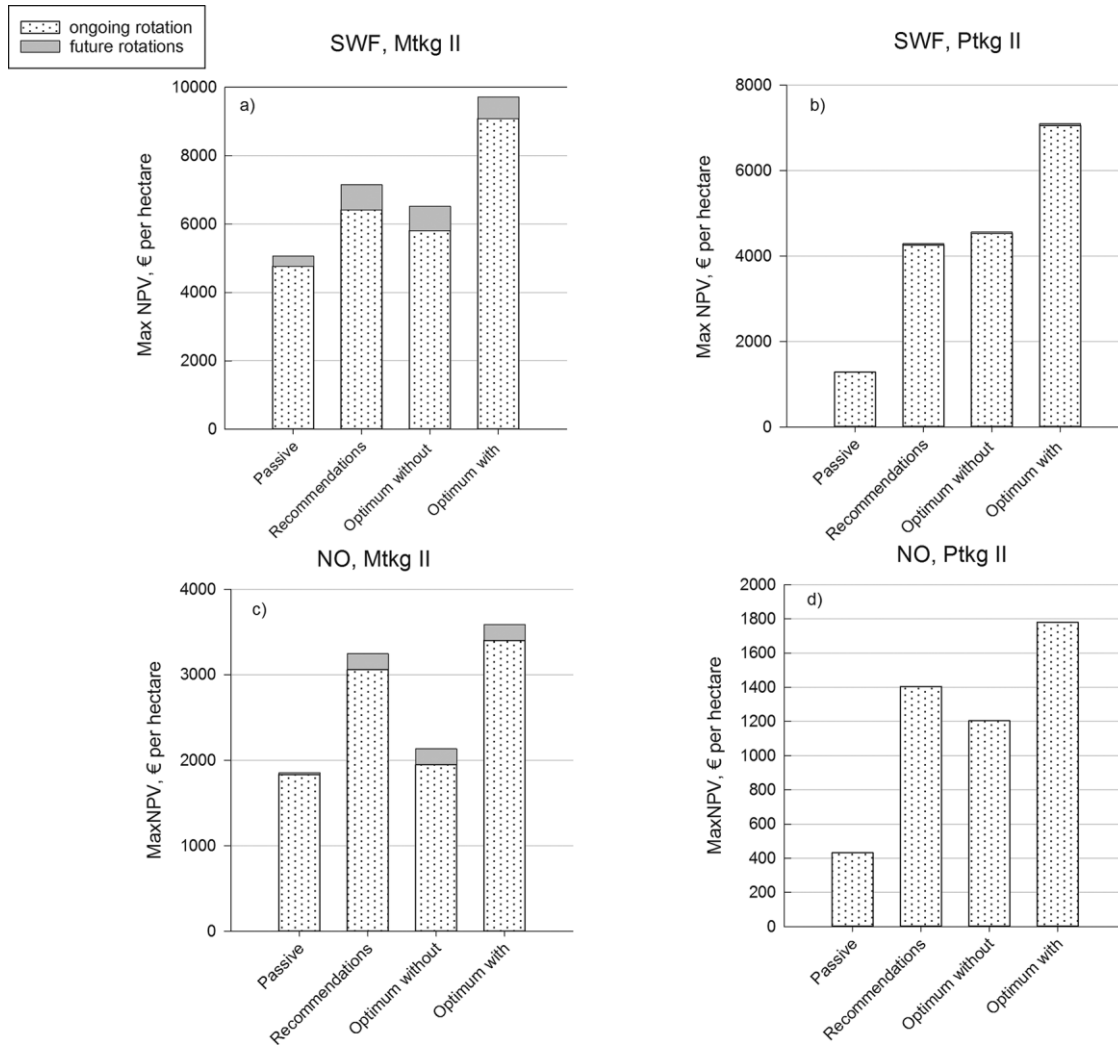
- passiivinen kasvatus päätehakkuuseen asti,
- kasvatus metsänhoitosuosituksen mukaan (harvennukset, yksi kunnostusojitus, yksi tuhkalannoitus),
- kasvatuksen optimointi ilman kunnostusojitusta ja lannoitusta (harvennukset optimoitu)
- kasvatuksen optimointi harvennusten, kunnostusojitusten ja lannoitusten kanssa.

Talouskriteerinä käytettiin nettotulojen nykyarvoa (3%:n laskentakorkokanta).



Kuva 22. Neljän eri kasvatusvaihtoehdon puuston tilavuuden kehitys iän funktiona.

Tulosten mukaan metsänkasvatuksen talous oli sitä parempi, mitä intensiivisempää oli metsänhoito. Kummallakin alueella kiertoajan keskikasvu ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) voitiin jopa moninkertaistaa kunnostusojitusten ja lannoitusten avulla. Nettotulojen nykyarvo oli optimikäsittelyllä lähes kaksi kertaa suurempi kuin passiivikäsittelyllä. Kannattavuutta paransi lyhyempi kasvatusaika aina kun tehtiin joitain aktiivisia toimenpiteitä. Metsänhoitosuosituksiin nähden optimikäsittely sisälsi useammin kaksi harvennusta ja kaksi tuhkalannoitusta, erityisesti ikäluokan minimiläpimittaa kuvaavissa metsiköissä. Kunnostusojituksen rooli oli vähäisempi kuin lannoituksen, varsinkin Lounais-Suomessa kunnostusojituksen pois jättäminen pienensi optimitaloustulosta vain marginaalisesti (n. 3%). Intensiivikasvatuksen laskennallinen vaikutus aluetason puun tarjontaan Lounais-Suomessa oli lähes kaksinkertainen suhteessa kasvupaikkojen (Mtkg II ja Ptkg II, ikäluokka 50-74v) pinta-alaosuuteen metsämaan kokonaisalasta.



Kuva 23. Metsänkäsittelyvaihtoehtojen nykyarvot Pohjois-Pohjanmaan (NO) ja Lounais-Suomen (SWF) mustikka- ja puolukaturvekankailla (Ahtikoski and Hökkä, 2019)

Tulosten mukaan suometsien kasvatukseen panostaminen nostaa voimakkaasti niiden puuntuotantoa, kannattavuutta ja näyttäisi lisäävän myös puun tarjontaa, ainakin laskennallisesti. Merkittävimmät syyt eritoten kannattavuuteen paranemiseen (vrt. passiivinen metsänhoito) ovat lyhyempi kiertoaika ja tuhkalannoituksen tuottama voimakas pitkäaikainen lisäkasvu.

Kirjallisuus

- Ahtikoski A., and Hökkä, H. 2019. Intensive forest management — does it pay off financially on drained peatlands? *Can. J. For. Res.* **49**: 1101–1113 (2019) [dx.doi.org/10.1139/cjfr-2019-0007](https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0007)
- Ahtikoski, A., Salminen, H., Hökkä, H., Kojola, S. and, Penttilä, T. 2012. Optimising stand management on peatlands: the case of northern Finland. *Can. J. For. Res.* **42**:247-259. doi: 10.1139/x11-174
- Ahtikoski A., Kojola S., Hökkä, H., and Penttilä, T. 2008. Ditch network maintenance in peatland forest as a private investment: short- and long-term effects on financial performance at stand level. *Mires and Peat* **3**(3):1–11.
- Hökkä, H., Salminen, H., Ahtikoski, A., Kojola, S., Launiainen, S., and Lehtonen, M. 2017. Long-term impact of ditch network maintenance on timber production, profitability and environmental loads at regional level – a simulation study. *Forestry* **90**(2): 234-246.
- Hökkä, H., and Salminen, H. 2006. Utilizing information on site hydrology in growth and yield modeling: peatland models in the MOTTI stand simulator. *In* Proceedings of the international conference: Hydrology and management of forested wetlands, April 8-12 2006. New Bern, North Carolina, U.S. pp. 302–309.
- Hökkä H., and Kojola S. 2003. Suometsien kunnostusojitus – kasvureaktion tutkiminen ja kuvaus (Ditch network maintenance in peatland forests – growth response and it's description). *In*: Soilla ja kankailla – Metsien hoitoa ja kasvatusta Pohjois-Suomessa (On peatlands and uplands – forest management in northern Finland). *Edited by* Jortikka, S., Varmola, M., and Tapaninen, S. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja – Finnish Forest Research Institute, Research papers **903**: 13–20 (in Finnish)
- Hökkä, H., Alenius, V., and Salminen, H. 2000. Predicting the need for ditch network maintenance in drained peatland sites in Finland. *Suo* **51**(1): 1–10.
- Hökkä, H., Repola, J. and Moilanen, M. 2012. Modelling volume growth response of young Scots pine (*Pinus sylvestris*) stands to, N, P, and K fertilization in drained peatland sites in Finland. *Can. J. For. Res* **42**(7): 1359-1370. <http://dx.doi.org/10.1139/x2012-086>.
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Salminen, H., Siipilehto, J., and Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA System. Finnish Forest Research Institute, Research Papers 835. 116 p.
- Moilanen, M., Silfverberg, K., Hökkä, H. and Issakainen, J. 2004. Comparing Effects of Wood Ash and Commercial PK Fertiliser on the Nutrient Status and Stand Growth of Scots Pine on Drained Mires. *Baltic Forestry* **10** (2) 2004. [http://www.balticforestry.fi/bf/PDF_Articles/2004-10\[2\]/2_10%20Moilanen%20et%20al.pdf](http://www.balticforestry.fi/bf/PDF_Articles/2004-10[2]/2_10%20Moilanen%20et%20al.pdf)
- Moilanen M. 2005. Metsän lannoitus. Teoksessa Suosta metsäksi. Tutkimusohjelman loppuraportti. Toim. Ahti, E., Kaunisto, S. ja Murtovaara, I. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947.
- Nuutinen T., Hirvelä H., Hynynen J., Härkönen K., Hökkä H., Korhonen K.T., Salminen O. (2000). The role of peatlands in Finnish wood production – an analysis based on largescale forest scenario modelling. *Silva Fennica* **34**(2): 131–153.
- Sikström, U., Almqvist, C. ja Jansson, G. 2010. Growth of *Pinus sylvestris* after the application of wood ash or P and K fertilizer to a peatland in southern Sweden. *Silva Fennica* **44** (3) 2010. <http://www.silvafennica.fi/pdf/article139.pdf>

5. Suometsien puunkorjuu (Matti Sirén, LUKE)

5.1. Korjuukelpoisuus

Korjuutekniset tekijät, kuten poistuman määrä (m^3/ha) ja poistettavien runkojen koko (m^3/runko) ja kokojakauma (runkolukusarja) määrittävät pitkälti korjuutyön tuottavuuden ja kustannukset. Hakkuukohteelta saatavalla puumäärällä on myös merkittävä vaikutus korjuun ja kuljetuksen kustannuksiin. Koneiden kuljettajilla on suuri vaikutus tuottavuuteen ja korjuujälkeen. Kun suometsien korjuuolaja katsotaan edellä mainittujen tekijöiden kannalta, suometsien korjuuolot ovat pääsääntöisesti kohtuullisen hyvät (Sirén 2002). Merkittävä osa suometsistä on sellaisia, ettei suuri yleisö välttämättä miellä niitä suometsiksi. Toisaalta ojitetuissa suometsissä on merkittävä määrä kohteita, yli puoli miljoonaa hehtaaria, joilla panostukset puuntuotantoon eivät ole olleet järkeviä. Näiden kohteiden käsittelyyn ei tässä esityksessä puututa.

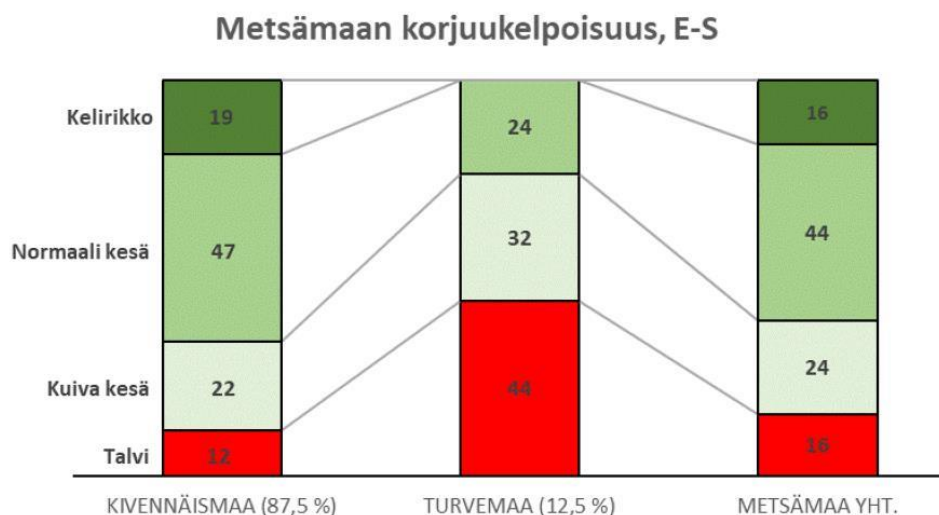
Turvemaiden puunkorjuussa lisävaikeuksia aiheuttavat ojien ylitykset, pitkät ajomatkat palstalta tienvarteen, hakkuutähteiden huono saatavuus maaperää suojaamaan erityisesti huonosti kantavissa kohdissa ja puuston aukkoisuus. Lisähaasteena suunnittelussa ja korjuun toteutuksessa on toimenpiteiden (korjuu, kunnostusojitus, mahdollinen lannoitus) järkevä yhteensovittaminen laajoilla suoalueilla, joilla usein pirstaloinen omistus vaatii omistajien yksituumaisuutta, hankkeen kokoon juoksijaa ja monien tahojen yhteistyötä. Puunkorjaajan on myös hyväksyttävä, että suometsien puukorjuu on usein kivennäismaan puunkorjuuta kalliimpaa. Tällä on heijastuksensa myös puustamaksukykyyn.

Turvemaiden korjuukelpoisuuden määrittelyyn kehitettiin oma luokituksensa kymmenisen vuotta sitten (Högnäs ym. 2011). Luokituksen keskiössä oli puuston määrä, jota täydensivät pohjaveden korkeus, korjuuta edeltävä sademäärä ja turpeen paksuus. Luokitus kohdennettiin myös kuormitukseltaan erilaisille uratyypeille. Käytännön toiminnassa myös kone ja sen varustelu, kyky toimia turvemaalla, on kytketty luokitteluun. Uusimassa, monilähdetietoon perustuvassa ja Suomen metsäkeskuksen kautta jaettavassa luokituksessa (Peuhkurinen 2017) korjuukelpoisuuden soilla määrittäviä tekijöitä ovat kosteusindeksi, puuston määrä ja ojien kuivavara. Kokemukset uudesta luokituksesta ovat olleet positiivisia.

Puunkorjuussa ympärivuotisuuden lisääminen on pitkän ollut yksi kehittämistoiminnan keskeisistä teemoista. Sulan maan aikaisen korjuun edellytyksiä ja parhaita toimintamalleja on haettu niin turvemailla kuin kivennäismaiden haastavissa kohteissa, kuusikoissa ja kantavuudeltaan vesipitoisuuden mukaan vaihtelevilla hienojakoisilla kivennäismailla. Kehittämisen kärkinä ovat olleet koneet, niiden varustelu ja työmallit ja toisaalta kohteiden kantavuuden ja korjuukelpoisuuden määrittely. Korjuukelpoisuuden määrittelyssä ollaan siirtymässä staattisesta dynaamiseen, sääolojen muutoksiin paremmin reagoivaan luokitteluun.

5.2. Kantavuus

Puunkorjuun näkökulmasta suometsien erityispiirre ja haaste on kantavuus. Hyvin jäätyneenä turvamaa on tasainen ja kantava alusta korjuukoneille. Kantavuuden edellytyksenä voidaan pitää esimerkiksi 20 cm routaa tai 40 cm lumikerrosta. Aikajakso, jolloin nämä ehdot täyttyvät, on eteläisimmässä Suomessa lyhentynyt muutamassa kymmenessä vuodessa lähes olemattomaksi, mutta korjuulle suotuisen jakson lyhentyminen näkyy voimakkaana myös pohjoisemmassa. Tämän kehityksen oletetaan jatkuvan ilmaston lämpenemisen myötä (kuva 24).



2.2.2018

Metsätehon tulostalvosarja 8/2017

Kuva 24. Metsämaan kumulatiivinen korjuukelpoisuus Etelä-Suomessa (Lähde: Metsäteho)

Turvemaan kantavuuden tärkeimmät komponentit ovat puuston tilavuus, juuristokerroksen lujuus sekä turvemaan kosteus (Ala-Ilomäki 2013, Uusitalo & Ala-Ilomäki 2013). Merkittävin kantavuustekijä on puuston tilavuus, sillä se vaikuttaa puuston juurikerroksen määrään, turpeen ominaisuuksiin sekä haihduntaan. Sekapuustoisuus sekä runsas alikasvosteen määrä on aina edullista turvemaan kantavuuden kannalta, sillä ne kummatkin lisäävät juuristokerroksen määrää. Pohjaveden pinnan laskiessa alle puolen metrin maaton turvekerroksen lujuus lisääntyy merkittävästi. Edullisin ajankohta turvemaiden sulan maan aikaiselle puunkorjuulle ajoittuu heinä-syyskuun väliseen aikaan, kun pohjaveden korkeus on alimmillaan. Kantavuutta voidaan lisätä työstämällä hakkuutähteet ajouralle (Eliasson & Wästerlund 2007, Kärhä ym. 2010, Labelle & Poltorak 2015, Surakka ym. 2015), mutta erityisesti rämeillä uralle saatavan havutuksen määrä jää usein vähäiseksi. Harvennuskusikoissa voidaan urille saada maaperää suojaavaa havutusta 15-20 kg/m². Tällaisen määrän on todettu suojaavan maaperää varsin hyvin.

Raiteenmuodostus on voimakkaasti sidoksissa ylikulkeneeseen kokonaismassaan; koneiden ja kuormien yhteismassaan (Cambi ym. 2015, Uusitalo & Ala-Ilomäki 2015). Pienellä koneella tarvitaan enemmän ajokertoja saman puumäärän kuljettamiseen, joten konekokuukien väliset erot raiteenmuodostuksessa eivät ole yksioikoisia. Koneissa on tapahtunut viime vuosikymmeninä voimakas kehitys. Tehokkuutta ja luotettavuutta on haettu koneiden kokoa ja alustaratkaisuja kehittämällä (Rieppo 2001). Koneiden massa on noussut, mutta samalla on siirrytty enenevässä määrin 8-pyöräisiin koneisiin niin hakkuussa kuin metsäkuljetuksessa. Koneiden renkaat ovat leventyneet ja erilaisiin olosuhteisiin räätälöityjen telojen kehitys on ollut nopeaa. Viime vuosina pehmeiden maiden puunkorjuussa ovat yleistyneet kaivukonetela-tyyppiset telat, joissa telakenkä jakaa pintapaineen tasaisesti. Pehmeiden maiden erikoisteloja ei useinkaan voi käyttää talviaikana lumen paakkuuntumisen vuoksi, joten yrittäjän on investoitava kaksiiin teloihin. Kun telaparin hinta on yli 10000 euroa, investoinnin kattamiseksi vaaditaan riittävää käyttömäärää ja varustelun on näytävä myös töiden hinnoittelussa.

Yksi ratkaisu kantavuusongelman ratkaisuun on kantopinnan lisääminen joko lisäämällä pyöräpari kuormatraktoriin (Ponsse 10 WD) tai pidentämällä teliä (kuva 25). Kokemukset näistä ratkaisuista ovat hyviä (Ala-Ilomäki & Högnäs 1987, Ala-Ilomäki ym. 2011), ja näillä ominaisuuksilla varustettuja koneita

on merkittävässä määrin käytössä. Myös erilaisia kumitelaratkaisuja on kokeiltu aikojen saatossa. Kaksi-kolmekymmentä vuotta sitten kumiteloja kokeiltiin Bruun Twoo ja Valmet Botnia -koneissa. Kumitelan kantavuusominaisuudet olivat hyvät, mutta kestävyys kivikoissa ja kannokoissa oli huono. Aivan viime vuosina materiaalien kehitys on taas nostanut kumitelaratkaisuja kokeiluun. Lupaava ratkaisu on prototyyppivaiheessa oleva Ponsse OnTrack, jossa kumitelaratkaisu tulee Prinothilta.



Kuva 25. Apupyöräratkaisu ideasta toteutukseen (idea: Tore Högnäs – toteutus : Ponsse Oy)

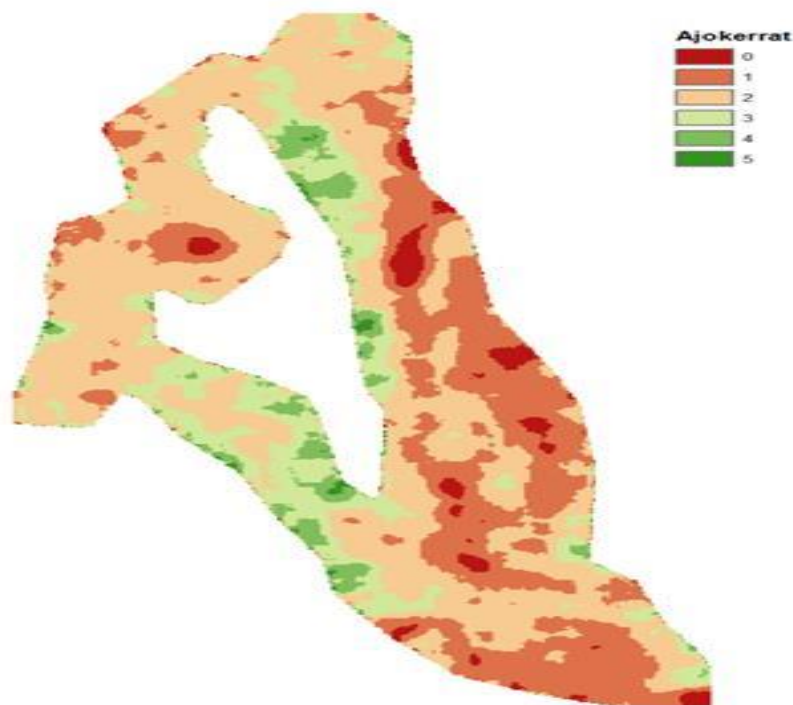
Kun koneissa pyritään yhdistämään tuottavuus (suuri kuormankantokyky), kestävyys ja samalla lisätään kantopintaa (pyörien lukumäärä, koko, telavarustus), koneista tulee vääjäämättä raskaita. Kuormatraktorin massa kuormattuna nousee helposti yli 30 tonniin. Vaikka laskennalliset pintapaineet saattavat näyttää kohtuullisilta, koneen kokonaismassalla on merkitystä maaperävaurioiden syntyyn. Toiveissa olisikin suopuustojen korjuuseen soveltuva hakkuukone ja kuormatraktori, jossa koneen massaa on merkittävästi alennettu innovatiivisilla ratkaisuilla.

Suometsien puunkorjuuta ja koneiden varustelua on syytä katsoa myös koneyrittäjän näkökulmasta. Jotta koneen räätälöiminen suomiin olisi kannattavaa, varusteltuja koneita olisi pystyttävä tehokkaasti käyttämään myös talvikuukausien ulkopuolella. Osa varustelun kustannuksista on katettavissa lisääntyneillä työtunneilla ja vähentyneillä seisokeilla, mutta erikoisolot on otettava huomioon myös korjuutaksoissa. Näin siksi, että heikosti kantavissa olosuhteissa työn tuottavuus alenee ja polttoaineen kulutus kasvaa. Puunkorjuuyritysten kasvanut koko antaa lisämahdollisuuksia koneiden varusteluun, kun osa korjuuketjuista voidaan varustella ja suunnata suometsien savotoille.

5.3. Korjuun suunnittelu

Suometsissä ajoreitistö tulee suunnitella huolella. Suometsien puunkorjuuoperaatioissa tulisi aina pyrkiä kuljettamaan puut ainakin kahdelle eri varastopaikalle, jolloin pääajourille kohdistuvaa kokonaisrasitusta voidaan vähentää. Lähtökohtaisesti ajokertojen määrä tulisi pääajourilla rajoittaa 4-5 kertaan ja palstaurilla 2 kertaan. Nykyohjeisto sallii ajourien levantämisen pääajourilla, mikä mahdollistaa kuljettajan hakemaan kuormatraktorille uuden kulkutilan jo kertaalleen ajatun uran vierestä (Uusitalo ym. 2015). Tällä voidaan pienentää uran maksimisyvyyttä. Mikäli suoalue rajoittuu kivennäismaakaistaleeseen, olisi hyvä, jos pääajoura voitaisiin kierrättää tätä kautta. Suoalueella pääajourat tulee sijoittaa leimikon puustoisimmille kohdille. Tässä voidaan hyödyntää puuston laserkeilausprojektien latvusrajakarttoja (CHM) (Lindeman ym. 2013), valmiita gridi-kohtaisia puustoennusteita tai niistä työstettyjä mikrokuviointeja (kuva 26). Raskaasti kuormitettujen urien

sijoitteluun erityisesti kivennäismaille on olemassa apuneuvoja, kuten Bestway Ruotsissa (Mohtashami ym. 2017, Willén 2017) ja Ajourakone Suomessa. Nämä järjestelmät hyödyntävät DTW-karttoja (Murphy ym. 2009) ja maanpinnan muotoja.



Kuva 26. Laserkeilaukseen perustuva kantavuuskartta (Lindeman ym. 2013)

Puunkorjuukoneet keräävät monipuolista, paikkaan sidottua tietoa päivätasolla noin miljoonasta rungosta. Tämän tietomassan tehokas hyödyntäminen ottaa alkuaskeliaan ja avaa merkittäviä mahdollisuuksia. Hakattujen runkojen koko-, laatu- ja terveystiedon lisäksi koneet tulevat keräämään tietoa myös jäävästä puustosta ja maaperän kantavuudesta. Kantavuuden mittaamisessa voidaan käyttää esimerkiksi hakkuukoneen can-väylästä kerättävää tietoa (Ala-Ilomäki ym. 2012) tai koneeseen sijoitettua laserkeilainta (Salmivaara ym. 2018). Samaan aikaan korjuun suunnittelijoilla ja kuljettajilla on enenevässä määrin käytössään kohteesta kerättyä ennakkotietoa ja korjuun aikana kertyvää reaaliaikaista, koneelta koneelle siirtyvää tietoa. Hakkuukoneen keräämä HPR-tieto antaa tiedon puutavarakasoista ja niiden sijainnista. Tarkka tieto ajokoneelle siirrettynä antaa mahdollisuuden metsäkuljetuksen tehostamiseen (Väättäinen ym. 2013, Ylimäki ym. 2012), esimerkiksi sekakuormien käyttöön huonosti kantavissa maastokohdissa ajokertojen minimoimiseksi. Sekakuormien tehokasta purkamista varastolla voidaan puolestaan parantaa erilaisten kuormatilan jakamisratkaisujen avulla.

5.4. Hakuutavat

Viime aikoina on esitetty vaatimuksia avohakkuiden kieltämisestä suometsissä. Syynä ovat olleet mm. vaikutukset vesistöihin ja ilmakehään. Korvissa avohakkuun vaihtoehtona voisi olla poimintahakkuu tai jonkinlainen kaistalahakkuiden, pienaukkojen ja poimintahakkuiden mosaiikki. Poimintahakkuissa ajouraverkoston ei tarvitse olla samalla tavoin säännöllinen ja kohteen kattava kuin tasaikäisen metsän harvennuksissa. Ennakkotieto kohteen rakenteesta, kantavuudesta ja pinnanmuodoista auttaa suuntaamaan hakkuun sinne, missä hakattavaa on. Jos hakataan kaistaleita ja pienaukkoja, uudistumiseen ja tuuleen liittyvät asiat on otettava huomioon.

Poimintahakkuissa työympäristö on haastava työn suunnittelun mutta myös korjuujäljen osalta. Jos kohde on aidosti eri-ikäinen, isojen puiden kaataminen alemman latvuserroksen puiden päältä aiheuttaa merkittävän vaurioriskin. Useissa tutkimuksissa on todettu, että välikoon (5-15 m) pituisista puista vaurioituu 10-20 % merkittävän osan vaurioista ollessa latvakatkoja (Field & Granhus 1998, Granhus & Field 2001). Taimien kehitys peitteisessä metsässä on hyvin hidasta, ja lähitulevaisuuden hakkuumahdollisuudet ovat juuri välikoon puiden varassa. Latvakatkojen riski rajoittaa korjuuta pakkaskaudella (Eliason ym. 2003), joka muuten olisi hyvää korjuuaikaa. Korjuujäljen osalta poimintahakkuuta ei pidä sekoittaa yläharvennukseen, jossa poistettavan ja jäävän puuston kokoero on pieni, eivätkä jäävät puut altistu ylhäältä päin tuleville iskuille.

Poimintahakkuissa myös taimet ovat alttiita vaurioille. Taimivaurioiden välttämiseksi hakkuussa tarvitaan isoa hakkuukonetta, joka pystyy hyödyntämään ajoura-aukkoja ja samoja kaatosuuntia, ja näin vähentämään vaurioille altistuvien taimien määrää (Hämäläinen 2014). Taimien osalta korjuujäljen keskiössä ei ole vaurioituneiden taimien osuus, vaan jäljelle jääneiden hyväkuntoisten taimien määrä ja jakautuminen (Surakka ym. 2011).

Poimintahakkuissa kertymä vaihtelee, eikä kaikkiin urakohtiin aina ole saatavilla havumattoja maaperää suojaamaan. Poimintahakkuissa urat on avattava riittävän leveinä, jotta reunapuuston juuret ja juurenniskat välttyvät vaurioilta. Jäävän puuston määrätavoitteet ilmaistaan poimintahakkuissa pohjapinta-alana. Kuljettajan avuksi on laskettu, minkälaista pohjapinta-alaa hakkuukoneen puomin rajoittamalle puoliympyrälle jäävät, erikokoiset puut edustavat. Kokeissa kuljettavat ovat omaksuneet hakkuutavan hyvin ja myös päässeet lähelle tavoiteltuja pohjapinta-aloja.

Päätehakkuuikään tulleissa rämemänniköissä avohakkuun välttäminen voisi tapahtua kaistalehakkuulla ja kaistaleiden reunoille jäävien alueiden harvennuksella. Ojitetuilla rämeillä paran puusto ja kantavuus on urien lähellä. Työn tuottavuuden ja korjuujäljen kannalta ojien lähialue olisi paras paikka avohakatuille vyöhykkeille. Jos huomattava osa hakkuukypsästä puustosta säästetään, sillä on vääjäämättä vaikutuksensa puuntuotannon kannattavuuteen.

Kirjallisuus

Ala-Ilomäki, J. ja Högnäs, T. 1987. Painojakauman vaikutus kuusipyöräisen kuormatraktorin raiteenmuodostukseen turvemaalla. Metsähallitus, kehittämisjaosto. Koeselostus 246. 10 s.

Ala-Ilomäki, J., Högnäs, T., Lamminen, S. & Sirén, M. 2011 Equipping a conventional wheeled forwarder for peatland operations. International Journal of Forest Engineering 22(1): 7-13.

Ala-Ilomäki, J., Lamminen, S., Sirén, M., Väättäinen, K. & Asikainen, A. 2012. Using harvester CAN-bus data for mobility mapping. In: Special issue. Abstracts for international conferences organized by LSFRI Silava in cooperation with SNS and IUFRO. Mezzinatne 25(58): 85-87.

Ala-Ilomäki, J. 2013. Spiked shear vane-a new tool for measuring peatland top layer strength. Mires and Peat 64 (2-3):113-118

Cambi, M., Certini, G., Neri, F. & Marchi, E. 2015. The impact of heavy traffic on forest soils: a review. *Forest Ecology and Management* 338: 124-138. [https://doi.org/ 10.1016/j.foreco.2014.11.022](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.11.022).

Eliasson, L., Lageson, H. & Valinger, E. 2003. Influence of sapling height and temperature on damage to advance regeneration. *Forest Ecology and Management* 175: 217-222.

Eliasson, L. & Wästerlund, I. 2007. Effects of slash inforcement of strip roads on rutting and soil compaction on a moist fine-grained soil. *Forest Ecology and Management* 252 (1-3): 118-123. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.037>.

Fjeld, D. & Granhus, A. 1998. Injuries after selection harvesting in multi-storied spruce stands - the influence of operating systems and harvest intensity. *Journal of Forest Engineering* 9(2): 33-40.

Granhus, A. & Fjeld, D. 2001. Spatial distribution of injuries to Norway spruce advance growth after selection harvesting. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 1903–1913.

Hämäläinen, J. 2014. Poimintahakkuun nykykäytännöt: työohjeistus, ajanmenekki ja korjuujälki. Helsingin yliopisto. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Metsätieteiden laitos. Pro gradu -työ. 103 s.

Högnäs, T. 1985. Kuorman koon vaikutus metsätraktorin raidesyvyyteen. Metsähallituksen kehittämisjaosto. Koeselostus 217. 19 s.

Högnäs, T. 1997. Puunkorjuu turvemaalla. Metsähallituksen aikaisemman kokeilutoiminnan tuloksia. Metsähallitus. Metsätalouden kehittämisyksikkö. Tiedote 2/1997. 13 s.

Kärhä, K., Poikela, A. & Keskinen, S. 2010. Korpikuusikon korjuu sulan maan aikana. Metsätehon tulosalvosarja 5/2010. 46 p. http://metsate1.asiakkaat.sigmatic.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulosalvosarja_2010_05_Korpikuusikon_harvennus_kk.pdf

Labelle, E.R., Jaeger, D. & Poltorak, B.J. 2015. Assessing the Ability of Hardwood and Softwood Brush Mats to Distribute Applied Loads. *Croatian Journal of Forest Engineering* 36(2): 227-242. http://www.crojfe.com/r/i/crojfe_37-1_2016/Labelle.pdf

Lindeman, H., Ala-Ilomäki, J., Sirén, M., Vastaranta, M., Holopainen, M. & Uusitalo, J. 2013. Turvemaan kantavuuden ennustaminen laserkeilausaineistoilla. Metlan työraportteja 263. 31 s.

Mohtashami, S., Eliasson, L., Jansson, G. & Sonesson, J. 2017. Influence of soil type, cartographic depth-to-water, road reinforcement and traffic intensity on rut formation in logging operations: a survey study in Sweden. *Silva Fennica* 51(5): 14 p. <https://doi.org/10.14214/sf.2018>

Murphy, P.N.C., Ogilvie, J. & Arp, P. 2009. Topographic modelling of soil moisture conditions: A comparison and verification of two models. *European Journal of Soil Science* 60(1): 94-109. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01094.x>

Peuhkurinen, J. 2017. Staattinen maastomalli – päivitetyn version ominaisuudet ja implementointi käytäntöön. MEOLO/ Asiantuntijaryhmän kokous. 17.2.2017. Arbonaut.

Rieppo, K. 2001. Konekehityksellä yhä parempaan korjuujälkeen. *Metsätieteen aikakauskirja. Tieteen tori.* 4/2001: 635-639.

Salmivaara, A., Miettinen, M., Finér, L., Launiainen, S., Korpunen, H., Tuominen, S., Heikkonen, J., Nevalainen, P., Sirén, M., Ala-Ilomäki, J. & Uusitalo J. 2018. Wheel rut measurements by forest machine mounted LiDAR sensor - Accuracy and potential for operational applications. *International Journal of Forest Engineering* 29(1): 41-52. <https://doi.org/10.1080/14942119.2018.1419677>

Sirén, M. 2002 (toim.) Ensiharvennusten korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 837. 56 s.

Sirén M., Ala-Ilomäki J., Mäkinen H., Lamminen S., Mikkola T. 2013. Harvesting damage caused by thinning of Norway spruce in unfrozen soil. *International Journal of Forest Engineering* 24(1): 60-75. <https://doi.org/10.1080/19132220.2013.792155>

Sirén, M., Hytönen, J., Ala-Ilomäki, J., Neuvonen, T., Takalo, T., Salo, E., Aaltio, H. & Lehtonen, M. 2013. Integroitu aines- ja energiapuun korjuu turvemaalla sulan maan aikana - korjuujälki ja ravinnetalous. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 256. 24 p. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp256.pdf>

Surakka, H., Sirén, M., Heikkinen, J. & Valkonen, S. 2011. Damage to saplings in mechanized selection cutting in uneven-aged Norway spruce stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26(3): 232-244.

Uusitalo, J. & Ala-Ilomäki, J. 2013. The significance of above-ground biomass, moisture content and mechanical properties of peat layer on the bearing capacity of ditched pine bogs. *Silva Fennica* 47(3):1-18. <https://doi.org/10.14214/sf.993>

Uusitalo, J., Salomäki, M & Ala-Ilomäki J. 2015. The effect of wider logging trails on rut formations in the harvesting of peatland forests. *Croatian Journal of Forest Engineering* 36(1):125-130. Available from: http://www.crojfe.com/r/i/crojfe_36-1_2015/uusitalo.pdf

Väätäinen, K., Lamminen, S., Ala-Ilomäki, J., Sirén, M. & Asikainen, A. 2013. Kuljettajaa opastavat järjestelmät koneellisessa puunkorjuussa - kooste hankkeen avaintuloksista. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 279. 24 pp. [in Finnish]. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp279.htm>

Willén, E., Friberg, G., Flisberg, P. & Andersson, G. 2017. Bestway - beslutstöd för förslag till huvudbasvägar för skotare - Demonstrationsrapport BillerudKorsnäs-Mellanskog. Skogforsk. Arbetsrapport 955. 27 s. <https://www.skogforsk.se/contentassets/60d1a46520644987bfce2624db7fab2/arbetsrapport-955-2017.pdf>

Ylimäki, R., Väätäinen, K., Lamminen, S., Sirén, M., Ala-Ilomäki, J., Ovaskainen, H. & Asikainen, A. 2012. Kuljettajaa opastavien järjestelmien tarve ja hyötypotentiaali koneellisessa puunkorjuussa. *Metlan työraportteja* 224. 70 s.

6. Soiden suojele

Soiden suojeleu käsitellään perusteellisemmin Metsäpolitiikkafoorumin myöhemmässä tutkijapaneelissa ja sen raportissa.

Soiden metsätaloustyö, turpeennosto ja pelloksi raivaus ovat vaikuttaneet suoekosysteemeihin. Suomen soista noin puolet on ojitettu, ja maamme eteläosassa noin neljäsosa on säilynyt ojittamattomana. Uhanalaisista kasvilajeista noin 10 % on suokasveja. Soiden luontotyypeistä yli puolet on arvioitu uhanalaisiksi (YM 2015)

Ensimmäiset soidensuojeluohjelmat valtion maille valmistuivat 1960 – luvulla. Valtionneuvoston hyväksymään soidensuojelun perusohjelmaan sisältyi noin 600 000 hehtaaria. Tänäpä suolasta on suojeltu noin 13 % Suomessa. Suojelu painottuu Pohjois-Suomeen. Koko soiden suojeleuala on tällä hetkellä noin 1,2 miljoonaa hehtaaria. Suojelu on toteutettu soidensuojelun perusohjelman kautta 1980-luvulta alkaen kansallispuistoina, erämaa-alueiden perustamisen yhteydessä ja Natura 2000-ohjelman kautta (Taulukot 6 ja 7).

Soidensuojelun täydennysohjelmaehdotus valmistui vuonna 2015, mutta sen toteutus ei ole suuremmin edennyt yksityismaiden osalta. Ohjelman toteutuksen jatkaminen sisältyy kuitenkin Suomen nykyisen hallituksen hallitusohjelmaan (Valtioneuvosto 2019). Kuvassa 27 esitetään soiden suojeleutilanne kasvillisuusvyöhykkeittäin sekä tietoja soidensuojelun täydennysohjelmasta.

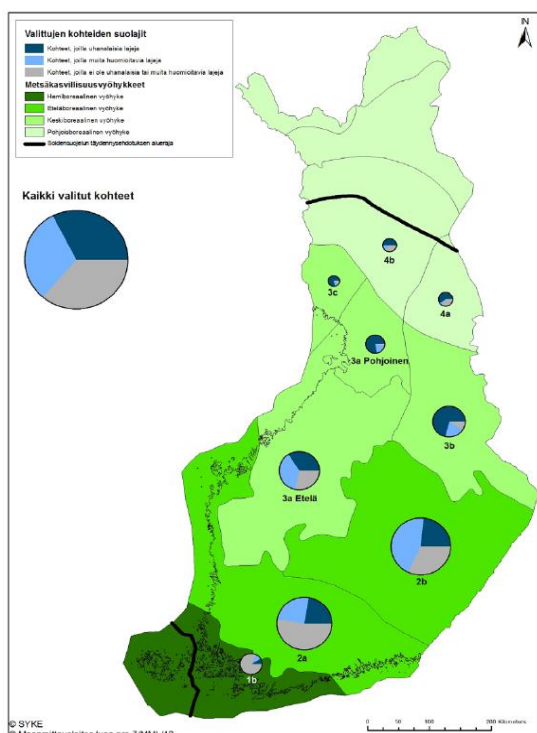
Taulukko 6. Soiden suojeleupinta-ala kasvillisuusvyöhykkeittäin (YM 2015)

Metsäkasvillisuusvyöhyke	Suojeleu		Ei suojeleu		Yhteensä	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
1b+2a	393	8	4804	92	5197	100
2b	232	2	9551	98	9783	100
Hemi- ja Eteläboreaalin yht.	625	4	14355	96	14980	100
3a	2003	8	23924	92	25928	100
3b	929	8	10900	92	11829	100
3c	422	11	3589	89	4011	100
Keskiboreaalin yht.	3355	8	38414	92	41769	100
4a	547	11	4439	89	4987	100
4b eteläosa*	464	5	9072	95	9536	100
Pohjoisboreaalin eteläosa yht.*	1012	7	13511	93	14523	100
SSTE yhteensä	4991	7	66280	93	71271	100
SSTE:n pohjoispuolinen alue	7575	47	8549	53	16124	100
Koko maa	12566	14	74828	86	87395	100

* 4b/Pohjoisboreaalin vyöhykkeen eteläinen, SSTE alueella oleva osa

Taulukko 7. Soidensuojelun täydennysehdotuksen kohteet (YM 2015)

Metsäkas- villisuus- vyöhyke	Kohteita, kpl	Valtio		Muu omistaja		Yhteensä, Ha
		Ha	%	Ha	%	
1b	35	10	1	1247	99	1257
2a	209	475	3	13477	97	13952
2b	251	1109	7	15739	93	16848
3a etelä	111	4550	20	18771	80	23322
3a pohjoinen	26	4854	30	11460	70	16314
3a yhteensä	137	9405	24	30231	76	39636
3b	74	9498	51	9207	49	18705
3c	10	1645	28	4326	72	5971
4a	19	7760	71	3224	29	10984
4b	12	5903	61	3849	39	9751
Yhteensä	747	35803	31	81301	69	117104

**Kuva 27.** Soidensuojelun täydennysohjelman kohteet. Kartan aluejakoa on käytetty taulukoissa 5 ja 6.

Viitteet:

Valtioneuvosto 2019. Pääministeri Antti Rinteen hallituksen ohjelma 6.6.2019. Valtioneuvoston julkaisu 2019:23.

YM 2015. Soidensuojelutyöryhmän raportin tiivistelmä 4.11.2015, www.ym.fi

Tiivistelmä

Metsänparannuksen rahoitusohjelmien tuloksena soita ja kankaita ojitettiin 1960-luvulta alkaen yhteensä 6 miljoonaa hehtaaria. Ojitustoiminnan seurauksena soiden kasvu on nykyään noin 15 miljoonaa kuutiometriä vuodessa suurempi kuin 1950-luvulla. Kun otetaan huomioon soiden siirtyminen kankaiksi, ojituksen kasvunlisäys on itse asiassa suurempi, koska suometsien nykyinen kasvu kertyy pienemmältä turvemaan alueelta kuin ennen laajamittaisen ojitustoiminnan aloittamista. Osa kasvun lisäyksestä johtuu myös todennäköisesti ympäristön muutoksesta, ilmaston lämpenemisestä ja hiilidioksidin lisääntymisestä.

Vaikka pyrittiinkin ojittamaan soita, jotka luokiteltiin ojituskelpoisiksi, on eri syistä jäänyt heikkotuottoisiksi 10-20 % ojitetuista soista, näistä pääosa Pohjois-Suomessa.

Sekä metsien puustosta että niiden kasvusta turvemailla on noin neljännes. Etelä-Suomessa ojitettujen soiden puusto ovat pääosin varttuneita kasvatusmetsiä, pohjoisemmassa nuoret kasvatusmetsät ovat vielä vallitsevina. Suurimmasta kestävästä hakkuukertymästä soiden osuus on tukissa vajaa viidennes ja kuidussa vajaa neljännes. Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalla osuus on näitä keskimääräisiä lukuja suurempi. Näillä alueella myös soiden osuus hakkuukertymästä kasvaa tulevana vuosikymmeninä.

Turvemaiden metsien käsittelyssä on otettava huomioon useampia tekijöitä kuin kangasmailla. Vesitalouden säätelyn ja vesiensuojeluun on kiinnitettävä erityistä huomiota. Viimeisimpien tutkimustulosten mukaan rehevillä turvemailla sekä eteläisessä Suomessa että Pohjois-Pohjanmaalla ojituksen kunnostuksen sekä erityisesti tuhkalannoituksen avulla kiertoajan keskikasvua voidaan huomattavasti lisätä. Intensiivinen metsätalous turvemailla havaittiin myös taloudellisesti kannattavaksi.

Puunkorjuu turvemailla on kangasmaita hankalampaa. Talvella ja kesällä maaperän kantavuus on erilainen. Korjuuolosuhteisiin vaikuttavat turpeen paksuus, sademäärä ja pohjaveden korkeus. Korjuun tuottavuuden arvioimisessa olennainen tekijä on myös puuston määrä ja laatu. Korjuukoneita kehitetään kantavammiksi ja lähikuljetusreittejä optimoidaan maastotietojärjestelmien avulla. Korjuuolosuhteiden vaihtelua voidaan tasoittaa suunnittelujärjestelmillä, joissa voidaan ottaa huomioon maaston, puuston ja vuodenaikojen vaihtelu.

Liite 1. Tutkijapaneelin 17.4. työryhmäraportit

1. Päätelemät soiden roolista ja kriittisistä elementeistä tulevaisuuden puuhuollossa?

a. Metsävarat ja niiden kehitys

Ryhmä 1

- VMI aivan perusedellytys tietolähteenä metsävaroista
- tulokset valtakunnan tasolla realistisia, paikallisella tasolla ei esim. investointiuskalluuden kannalta
- hilatietotaso ok
- onko saatavilla tietoa suometsien ravinnehäiriöistä ja puuston laadusta turvemailla? – kasvuhäiriöpuut ja ravinnepuutokset eivät varsinaisesti ole VMI:ssä mukana
- miten suometsät jakautuvat eri omistajaryhmille, paljonko sitoutunut rahaa – vertailuluku?
- tarpeen tehdä skenaario, mikä suopuustojen kehitys eri käsittelyketjuilla, etelä-pohjois-suomi – paikallisella tasolla
- Sompa-hankkeessa tarkoitus laskea MELA-laskelmilla jatkuvan kasvatuksen tulosta
- onko MELA-laskelmissa suojelualueet mukana? ojitusaluet ovat mukana puuntuotantolaskelmissa
- miten maankäyttö muuttunut – ei pystytä VMI:n kautta selvittämään tarkasti minkälaisia kohteita muuttunut esim. pelloiksi tai muutos kivennäismaiksi – muutos kirjataan – laskennallinen ongelma VMI:n kannalta
- onko turvemaiden laajennettu luokittelu I ja II tyyppin kohteiksi VMI:ssä – ei ole

Ryhmä 2

- Toteutustiedon hyödyntäminen. Toimijoiden yhteinen suositus toteutustiedon keräämisestä olemassa.
- Soiden hyödyntäminen on ollut kritiikin kohteena. Miten vaikutetaan imago-riskiin? Soiden mahdollisuuksien perusteleva, myös taloudellisessa mielessä.
- Metsävaratiedon esittäminen paitsi puu-m3:nä, myös hiilitietona, erityisesti soilla. Erilainen hiilitase soilla ja kivennäismailla (turpeen hävikin ilmastovaikutus).
- Maahiilen laskenta on ongelmallinen, erityisesti metsikkötasolla. SOMPA-hankkeessa tarkoitus laskea hila-aineiston perusteella
- peitteellinen metsätalous ja puuhuolto (esim. siirtymävaiheen hakkuut soilla)
- Suot tärkeä resurssi monella alueella. Mittasuhteet ilmastomuutoksessa pidettävä mielessä...
- Skenaariot osoittavat, että ensin hakataan kivennäismaiden kohteita, sen jälkeen soita
- Alueellinen tarkastelu oleellinen
- Strateginen ajattelu: pitkällä tähtäyksellä mahdollisimman paljon puuta, vai ensimmäisen puusukupolven korjaaminen ja sen ekstensiivinen metsätalous vai ...
- Viestintä – License to Operate
- VMI:stä haluttiin monipuolisempaa dataa
 - Alueellinen tieto
 - Jakautuminen omistajittain
 - Tuhot – ravinnehäiriöt – puuston laatu
 - Tarkennettu kasvupaikkaluokitus (1- ja 2-tyypin ojitusaluet?)
- Tarvitaan monipuolisempia MELA-laskelmia
 - Jatkuvan kasvatuksen tuloksia

b. Suometsien hoito

Ryhmä 1

- metsänviljely suometsissä? tarvitaan lisää tutkimustietoa
- suometsien alikasvokset? – missä paikoissa ja minkälaisia
- poimintahakkuista hypoteeseja, mutta tieteellinen tulos puuttuu – ei ole näyttöjä
- ympäristönäkökohdat ja yleinen hyväksyttävyys – pitäisi perustua tieteelliseen näyttöön
- aikarajoite suuri, koska vaatii runsaasti aikaa empiirisen aineiston keräämiseen
- hallan vaikutus? pahasti epäonnistuneita viljelmiä olemassa
- kannattavuus? ja taimikonhoidon tarve
- lannoitus – laskelmat voidaan tehdä, mutta miten voidaan löytää ne parhaat kohteet – selvä tutkimusaihe – kaukokartoitus ehkä ongelman ratkaisu
- taloudellinen kannattavuus heikompi – soilla vaikea optimointikysymys, millä hyvät kohteet voidaan löytää
- puun tarjonta – vai hakkuumahdollisuudet?
- kannattavuus riippuu lisäkasvun realisoitumisesta hakkuissa
- optimoinnin tulos laskennallisesti todettu
- hallan merkitys korostaa sitä, että korpikuusikoilla tehdään kapeita kaistalehakkuita laajojen avohakkuisen sijasta
- metsästrategiassa haasteena licence to operate – pitää olla käsitys ristikkäisvaikutuksista – ilmasto – vesistöt – korostetusti hallittu tieto ja tunnistetut vaikutukset
- minne lantaa? – kyllä tiedetään, koska meillä on pitkäaikainen tieto eri kasvupaikoista
- toimenpidesuosituksissa otettava huomioon ristikkäisvaikutukset kokonaisuutena
- käytännön osaaminen iso juttu! – tärkeää saada tutkimustieto käytäntöön

Ryhmä 2

- Metsänhoitomenetelmien monipuolistaminen välttämätöntä
- Tiedon puute menetelmien vaikutuksista soilla
 - Mitä tarkoittaa peitteellinen metsätalous soilla, taloudellisesti ja teknisesti?
 - Metsänviljely, alikasvokset
 - Hallan vaikutus
 - Lannoituskohteiden paikantaminen
 - Kannattavuus
 - Ristikkäisvaikutukset (ilmasto – vesistö – puuntuotanto)
- Seuraavan puusukupolven kehittyminen? Muistettava, että olemassa olevat mallit koskevat ensimmäistä ojituksen jälkeistä puusukupolvea. Mitä tapahtuu seuraavan puusukupolven aikana?
- Tarvitaan Hannu Hökän laskelmien kaltaista tutkimustietoa (€ on hyvä konsultti)
- Yhteishankkeiden organisointi avainasemassa
- Eri metsänomistajien toimintatavoissa on eroja
- Toimijoiden osaaminen varmistettava
- Ajateltava myös muuta kuin puuntuotantoa – mitkä ovat ojitusmetsien monikäyttömahdollisuudet? Monimuotoisuus ojitusalueilla?
- Hiilensidonta aidosti €-määräiseksi vaihtoehdoksi yksityismetsissä?
- Ajourakone -> automaattinen ajourien suunnittelu. Mukaan myös riista-elinympäristö- jne tietoa
- Tutkimustiedon saaminen käytäntöön

c. Puunkorjuu

Ryhmä 1

- pitkäjänteisyys siihen, että yrittäjät uskaltavat investoida
- korjuutekniikan kehittämisestä puhutaan aika vähän
- hakkaaja ei aina ajattele kaivinkonetta
- Matti Sirenin esityksessä hyvin esillä ympärivuotinen puunkorjuu– metsänomistajien asenne – ammattikunnan asenne
- pitää luoda uskoa siihen, että millä tavalla asiat saadaan kunnolla hoidettua
- hakkuujärjestyksen hyvä suunnittelu uusilla työkaluilla paranee
- tiedonsiirron haasteet – tieto ei kulje työpöydältä hakkuukoneen näytölle
- palautetieto ei saisi hävitä matkalla – esimerkiksi Tornatorilla uratieto kertyy ja on tärkeä tulevaisuuden kannalta
- kohoava pohjavesi? – kesäkorjuuseen pitää mennä enemmän ja enemmän – onko se mahdollista jatkuvapeliteisen kasvatuksen lisääntyessä ylipäättään mahdollista

Ryhmä 2

- Nähtävä laajempaan kysymyksenä kuin kuviotasolla operointi (tieverkosto siltoineen, lähikuljetus). Asiaan liittyen useita hankkeita.
- Ajourakone -> automaattinen ajourien suunnittelu
- Kantavuusluokitus (edeltävä kuiva kausi). Ovatko kartat dynaamisia? Hankkeessa kokeillaan kantavuusluokitusta myös suometsissä. Suokohtaiset erot ovat huomattavia.
- Tuleva tiheäpulsasilaseraineisto antaa uutta tietoa myös ojien kunnosta
- Korjuun suunnittelua tukevien aineistojen hyödyntäminen on joissakin organisaatioissa puutteellista.
- Kolmevuotiset hakkuusopimukset
- Maaperän tiivistyminen: kunnostusojitustarpeen lisääntyminen
- Koneiden varustelutaso kehittynyt ja koneet kallistuneet
- Yrittäjien investointihalukkuus erikoiskalustoon edellyttää vakautta ja pitkäjänteisyyttä
- Hakkuujärjestyksen suunnittelu avainasemassa
- Tiedonsiirron haasteet – tieto oltava käytettävissä hakkuukoneessa ja palautetieto (esim. urasyvyys) toimistolla
- Kesähakkuihin siirrytään yhä enemmän – miten sopii yhteen jatkuvan kasvatuksen lisäämisen kanssa?

Ryhmä 1 + Ryhmä 2

- Tarvitaanko pidettyjen esitysten lisäksi muuta aineistoa tai laskelmia?
- ristiriitaiset tulokset ravinnepäästöistä
- alikasvosten hyödyntäminen
- kunnostusojituskohteiden valintaan tarkempi kriteeristö
- maaperän hiilen huomioon ottaminen eri suometsätyypeissä, kokonaistase

2. Alustavia metsäpolitiikan suosituksia soiden metsävarojen käytöstä

Ryhmä 1

- Pitää välttää ”poteroiden” kaivamista metsäkeskustelussa
- useiden vaihtoehtojen kirjo huomioitava suosituksissa
- avataan metsänomistajalle vaihtoehtojen kirjo
- tiukka sapluuna-ajattelu on ongelma
- ympäristövaikutusten riski turvemailla on suurempi kuin kivennäismailla
- varovaisuusperiaate – kun epävarmuustekijöitä on paljon – tarvitaan tervettä varovaisuutta
- liikemiesmäinen varovaisuus
- savolainen varovaisuus
- mitä tukimuotoja suositaan jatkossa
- miten kohdennetaan kunnostusojitusten tuki uudelleen
- uusien halla-ahojen ilmestymistä vältettävä
- metsänomistajien näkökulmasta pitää mahdollistaa sadonkorjuu
- kasvukunnosta on huolehdittava
- tällä hetkellä kunnostusojitukset melko pienellä volyymillä –
- korostuu monitieteellisten hankkeiden tarve – synteetit syntyvät tämän jälkeen
- vesitalouden hallinnan hyvä suunnittelu olennaista – varmuuden vuoksi tehostettua kuivatusta pitää välttää – tietty määrä kosteutta hyväksi
- vesiensuojelun osalta kokonaisvaltainen suunnittelu tarpeellista

Ryhmä 2

- Kannustimet – ilman niitä emme olisi tässä...
- Suometsien hoitaminen isompina kokonaisuuksina-> ”kokoonjuoksupalkkio”. Yksityinen yritys, ”kyläaktiivi”, luonnonhoitohankkeen osana... Tuo mukaan sosiaalisen näkökulman
- Tuhkalannoitus: hyvä esimerkki kiertotaloudesta. Tuhkalannoituksen tukeminen
- Jatkuvapeitteisen metsänhoidon tukeminen osana kokonaisvaltaista suunnittelua
- Kemeraan joustavuutta, tukia muullakin perusteella kuin suunnitellulla metrimäärällä
- useiden vaihtoehtojen kirjo huomioitava suosituksissa
- varovaisuusperiaate
- vesiensuojelun osalta kokonaisvaltainen suunnittelu

3. Tutkimussuosituksia – kriittisten elementtien lisätiedon tarve

Ryhmä 1

- ristiriitaista tutkimustulosta ravinnepestöistä – lisätiedon tarve
- alikasvosten hyödyntäminen
- kunnostusojitusten perusteiden tarkempi selvittäminen
- millä perusteella valitaan kohteet?
- tällä hetkellä vanhat tutkimukset taustalla metsänhoitosuosituksen perustana
- ojen kunnostamiseen tarvitaan uusia perusteita
- uudisojituksista kritiikkiä - naveromätästykseen tehdään uudisojitusta
- paikkatietoaineistosta saadaan selville mikä paras käytäntö täydennysojitukselle
- juurikäpäriski männyllä ja kuusella – tärkeä nostaa esille koska riski on ilmeinen ja voimakas – turveolosuhteet jossakin määrin rajoittavat
- ympärivuotinen korjuu – hakkuutähteiden merkitys – hakkuutapojen merkitys korjuun kannalta
- maaperän hiili eri turvemaakohteilla – erilaisten suotyyppien ominaisuudet

Ryhmä 2

- Uudistuminen ja uudistaminen
- Taimikonhoidon toteutus soilla
- Tuhokysymykset soilla (hirvieläimet, juurikäpärä, tukkimiehentäi)
- Suopuustojen laatu, esim turvemailta korjattujen tukkien laatu.
- ristiriitaista tutkimustulosta ravinnepestöistä – lisätiedon tarve
- alikasvosten hyödyntäminen
- kunnostusojitusten perusteiden tarkempi selvittäminen
- tällä hetkellä vanhat tutkimukset taustalla metsänhoitosuosituksen perustana
- uudisojituksista kritiikkiä - naveromätästykseen tehdään uudisojitusta
- juurikäpäriski männyllä ja kuusella – tärkeä nostaa esille koska riski on ilmeinen ja voimakas
- maaperän hiili eri turvemaakohteilla – erilaisten suotyyppien ominaisuudet

Suometsien kokonaisanalyysi

Tutkijapaneeli 2

Ojitettujen soiden kasvihuonekaasupäästöistä ja uudistamisesta

Raportti 27.11. 2019

Paavo Ojanen
Markku Saarinen
Henry Schneider
Risto Päivinen

Sisällys

- 1.** Johdanto
- 2.** Metsäojitettujen soiden kasvihuonekaasupäästöistä
- 3.** Metsän uudistamisen vaihtoehdot ojitetuilla turvemailla
- 4.** Tiivistelmä
- 5.** Liite
- 6.** Tutkijapaneelin 19.8.2019 politiikkasuositukset ja tutkimustarpeet

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 kasvihuonekaasupäästöistä

Paavo Ojanen,
Helsingin yliopisto, metsätieteiden osasto

Ojittamaton suo

Ojittamattomat suot kerryttävät turvetta, jonka kuivamassasta noin puolet on hiiltä (Turunen ym. 2002). Näin ne poistavat pysyvästi hiilidioksidia (CO_2) 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 (CH_4). 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).

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 (N_2O) (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 päätehakkuun jälkeen hiilidioksidina takaisin ilmakehään. Niinpä, jos turvetta hajoaa vähitellen paksu kerros, metsäojituksen vaikutus on vääjäämättä ilmastoa lämmittävä turpeesta syntyvien hiilidioksidi- ja typpioksiduulipäästöjen takia. Puuston hiilivarasto voi korvata vain ohuen turvekerroksen hiilivaraston: 10 cm turvekerroksessa on yhtä paljon hiiltä kuin 100 m^3/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.

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 mittaustietoa. 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.

Ojitettujen soiden merkitys ilmastolle Suomessa ja maailmalla

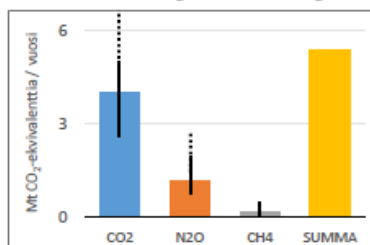
Maailmanlaajuisesti kasvihuonekaasupäästöt ojitettujen soiden turpeen hajoamisesta ovat erittäin suuret, 1–2 Gt CO₂-ekvivalenttia vuodessa, vaikka ojitettujen soiden pinta-ala on vain 30–50 miljoonaa hehtaaria (Joosten 2010, Ojanen ja Minkkinen käsikirjoitus a). Vertailun vuoksi kaikkien maankäytön, 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.

Metsäojitetun suon maaperän kasvihuonekaasupäästöt

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 ojittamattoman 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 syvälle (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.

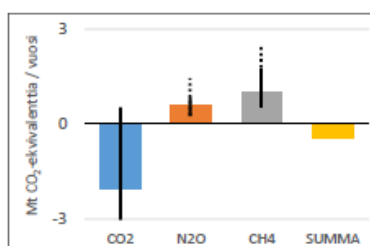
Lähteet 2
CO₂-ekvivalentit
100 vuoden ajalle

Suomi: Kasvihuonekaasupäästöt metsäojitettujen soiden maaperästä



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

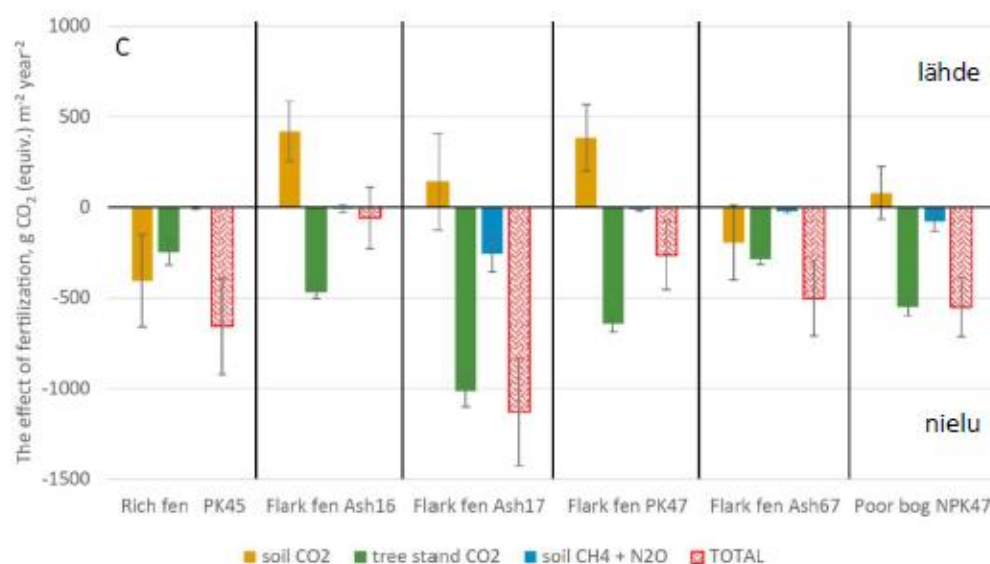
Metsätalouden toimenpiteiden vaikutus

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 johtunee 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.

Päästöjen vähentäminen ja tulevaisuuden riskit

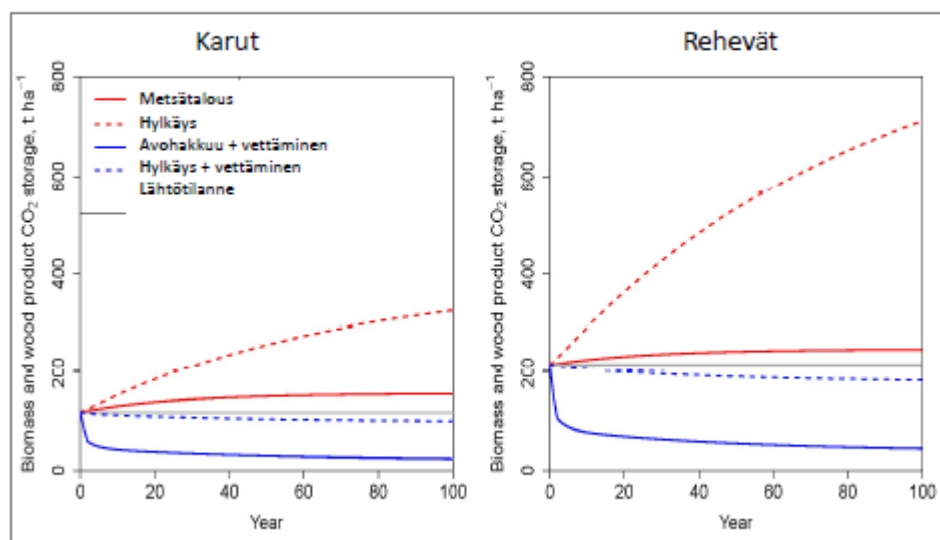
Jaksottaisessa metsänkasvatuksessa metsäojitetun suon maaperän kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää tekemällä kunnostusojituksia vain silloin, kun se on puuston kasvuille erityisen tärkeää. Lisäksi ojista ei pidä tehdä syvempiä kuin on välttämätöntä. Näin pystytään pitämään vedenpinta niin korkealla, kuin se on puuston kasvatuksen kannalta mahdollista. 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 maltillisena. 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 märässä 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 mantereisemmissa 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 ojitettujen soiden turpeen hävikistä aiheutuvat CO₂- ja N₂O-päästöt voivat kasvaa huomattavasti.

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. Tyypillisesti 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 ojitettujen soiden kasvihuonekaasujen päästöihin tai -sidontaan (Ojanen & Minkkinen, käsikirjoitus)

Pellonraivaus ja metsitys

Metsäoitettujen 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 hajoamisen 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 metsäoitettun 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 metsäoitettun 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 metsäoitettujen soiden tasoa. Metsitys niin, että samalla hallitusti nostetaan vedenpintaa, voisi tehokkaasti vähentää turpeen hajoamista ja sen CO₂-päästöä.

Metsäoitettujen soiden ilmastollisesti kestävä käyttö

Metsäoitettujen 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 metsäoitettu 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 & Minkkinen 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 kelvollisesti 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.

Lähteet

Aapala, K., Similä, M. & Penttinen, J. 2013. Ojitettujen soiden ennallistamisopas. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. 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., Minkkinen, 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.
- Klemedtsson, 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 & 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. & Välimäki, 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. & Välimäki, 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 Peatland 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. Arvioitava 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. Arvioitava 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 luonnonvarat 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 turvemilla

Markku Saarinen
Luonnonvarakeskus

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 muuttunut 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 puolukkaturvekankaiden 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 pohjoisempaan. 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

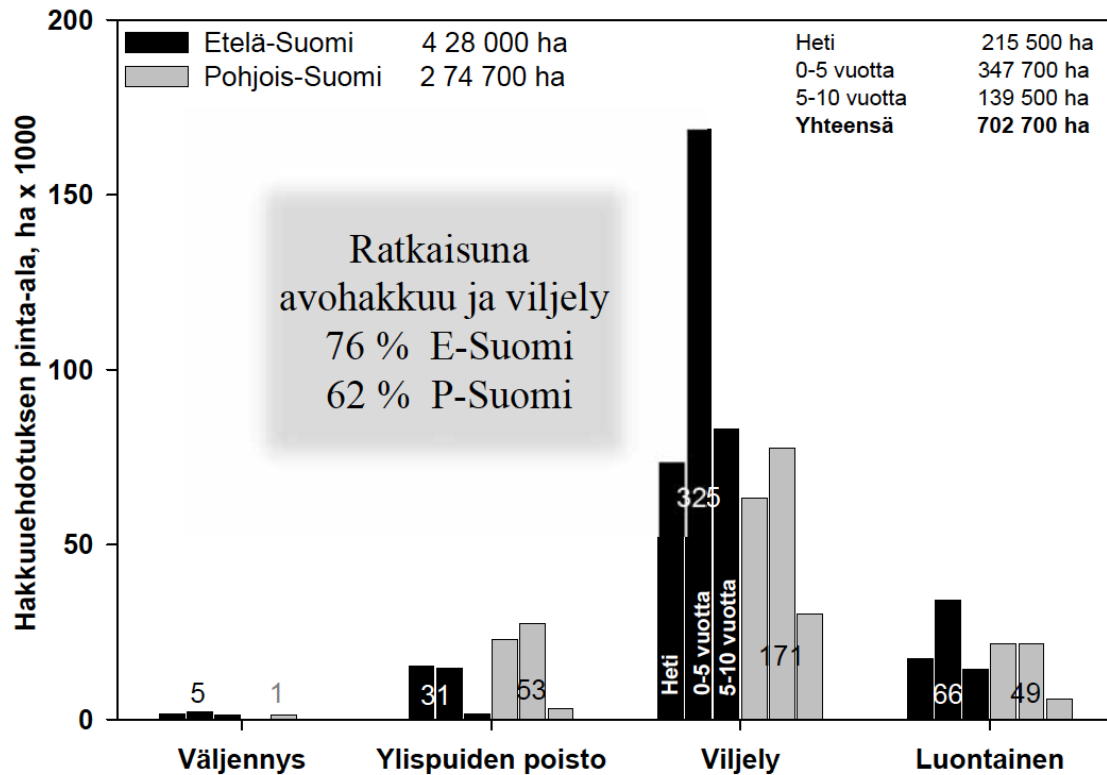
tutkimustietoa erityisesti luontaisen uudistamisen ja kylvön mahdollisuuksista niissä turvemaiden uudistamisalojen erityisoloissa, joita ei kangasmaiden uudistamisaloilla esiinny tai ne korostuvat ojitusalueella eri tavalla. Uudistamisalan lämpöolojen suurempi vaihtelu eli käytännössä hallanarkuus, turpeen 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 muutospainoiden 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 maanmuokausmenetelmien käyttötarpeeseen. Tämän kaltaisen tulevaisuusnäkömyksen mukaan varsinkin mätästyksen osuus tulisi olennaisesti vähenemään ja samalla kevyiden pintamuokausvaihtoehtojen 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)



Taimettumiseen vaikuttavat tekijät turvemilla

Kasvillisuuden vaikutus taimettumiseen

Luonnontilaisella suolla siemenen itämisen ja sirkkataimen alkukehityksen kannalta on olennaista rahkasammalgerroksen ylläpitämä kosteus, mikä säilyy kuivimmissakin sääolosuhteissa sammalten vettä varastoivan solukon ja suon pintaa lähellä olevan turpeen vedenpinnan ansiosta (Loose 1961, Jeglum 1979, Groot ja Adams 1994). Sammalgerroksen 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 rämekarhunsammal- ja suonihuopasammalpinnot sekä ruohoturvekankaiden varstasammalpinnot voivat olla hyviä taimettumisalustoja. Sen sijaan muut karhunsammalpinnot sekä turvekankaille ominaiset seinä- ja kerrossammalkasvustot taimettuvat erittäin huonosti. Seinäsammalten osalta taimettumisherkkyys tosin vaihtelee, sillä sammalten taimettumista heikentävät ominaisuudet liittyvät todennäköisesti enemmän niiden kasvutapaan ja -voimakkuuteen kuin sammallajiin 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: kasvialustan 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, pintakasvillisuusmuutokset 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 ojitusaluiden 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 kivennäismaasekoitteisia 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 Hännell 1993, Moilanen ym. 1995).

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 syntynyttä uutta kasvutilaa (Vasander 1990). Sen biomassa on lisäksi aiempaa suosammallajistoa selvästi vähäisempi (Vasander 1987). Ojitusalueen biomassatuotoksen painopiste siirtyy sammal- ja varpu- ja aluskasvillisuudesta 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 turvekankaaksi 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 lehtipuuviltaisten 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).

Turpeen vedenpinnan syvyyden vaikutus laikutusjäljen taimettumiseen

Turpeen vedenpinnan syvyys vaikuttaa ojitusalueilla suoraan puiden juuriston kasvutilaan ja sen ilmavuuteen (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 kunnostustoimenpiteiden viivästäminen, oijen 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 (Satoo ja Goo 1954, Kamra 1968, 1969, Larson ja Schubert 1969, Kaunisto 1971, Mannerkoski 1971, 1976, 1985). Itämisen mahdollistava kasvualustan vesipotentiaali vaihtelee laajoissa rajoissa, mutta vesipotentiaalın 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 vakiosyvytydessä, 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 raakahumuskerrostuman paksuudesta. Kapillaarikontaktin taimettumista edistävä vaikutus heikkenee kun raakahumuskerrostuman 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.

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 kasvillisuuspinnaan tai toisinaan jopa hakkuutähteiden päälle. Kapillaariyhteys turpeen vedenpintaan katkeaa tai yhteys on erittäin heikko. Toisaalta vedenpinta ei myöskään pääse nousemaan mättääseen heikentämään huokostilan ilmapuutetta. Turpeeseen sitoutumaton liika vesi on päässyt valumaan pois ja mätästurpeen sitoma vesimäärä vastaa teoreettista kenttäkapasiteettia (Veihmeyer 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 vahvuksena 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 kasvijäännekoostumus, 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 syntyminen 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).

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 nopean 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 (Katrusenko 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 liukaisen typen vapautumisesta alikasvoksen käyttöön (Saarinen & Sarjala 1999). Turpeen liukaisen 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 riippunevat 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 todennäköisesti järkevin ajoittaa ainakin 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 rakkasammalpinnoilla mahdollista myös ilman muokkausta	Mätästys ja männyn istutus tai kylvö - jos runsaasti koivua (pääosa ptkg II -kohteista), suositaan mätästystä ja istutusta - oksikkuus ja huono laatu suurena riskinä istutettaessa mäntyä 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 Kuusialikasvosteen hyödyntäminen - hyväkuntoiset täystiheät alikasvokset lähinnä ptkg II -kohteilla (selkeästi alempana jaksona) - ptkg I:lla useimmiten hyvin erirakenteisia (→ erirakenteisen metsän kasvatus ?) Riittääkö kalium turpeessa II-tyyppin kohteilla ? - Tuhkalannoitus	Viljely - Mätästys ja kuusen istutus Luontainen uudistaminen - pienialaisissa korpikaistaleissa avohakkuu, hieskoivun luontainen uudistuminen ja kuusi luontaisesti alikasvokseksi. Vanerikoivun kasvatusmahdollisuus ylimpänä jaksona Etelä-Suomessa - kuusikko luontaisesti suoraan kuusikoksi edellyttää yhden väljennyksen ennen suojuspuuasentoa - Pienaukkohakkuut Kuusialikasvosteen hyödyntäminen - mtkg II ja rhtkg II -kohteilla usein hyviä luontaisia kuusialikasvoksia - Kuusen istutuksesta hyviä kokemuksia hieskoivun alle ilman muokkausta ja taimikonhoitoa Riittääkö kalium turpeessa II-tyyppin kohteilla ? - Tuhkalannoitus

Uudistumista edistävät toimenpiteet

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 kehitysvaiheiden 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 pintamuokausjäljet 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 laikutuksen paremmuusjärjestys määräytyy niiden kosteusvaihteluiden mukaisesti (Saarinen 2013, Saarinen ym. 2013). Mättäissä 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 optimisyyden 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 maaton 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, syntyisi 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 muokausjälki jää koholle eikä synny painautumia (Helenius & Saarinen 2013). Jyrsinnässä on kuitenkin laikutuksesta poiketen syytä muokata riittävän syvältä, jotta jyrsintäjälki 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 karhunsammalen, 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 turvekangaspinoilla. 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 puolukkaturvekankailla. Ongelma kärjistyy, jos koivun osuus on suuri hakkuuta edeltäneessä puustossa (nevojen ja nevarämeiden ojitusalueet). Kyseisessä tapauksessa uudistusalalle kehittyä 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. Kylvä 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. Kylvä 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.

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 avalojen muokkaamattomilla pinnoilla kaksinkertainen verrattuna koivuverhopuuston 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 kuusenistutusalaloista 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 turvemaidenkin paljon hyviä kokemuksia, kaipaa mätästykseen ja istutukseen perustuvan kalliin viljelyketjun kannattavuuden arviointi edelleen luotettavia ja valtakunnallisesti yleistettävissä olevia havaintoaineistoja.

Kuusen kylvön ongelmina 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 rangenvaihdokset. 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 ojitusalueiden 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.

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 sienitautiherkkytensä 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.

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. Mustikkaturvekankaan 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 pituisia. Erityisen viljava ja hyvälaatuinen hieskoivikko voidaan tällöin harventaa toisen kerran ja kasvattaa koivutukkia kuusten päällä (Niemistö & Poutiainen 2004).

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 siitähän 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).

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 verrattuna. 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 raakahumuserrostuma sekä valtaosa kuolleesta ja mustuneesta seinäsammalkasvustosta jäljelle. Auringossa nopeasti kuivuva tumma karike- ja sammalpinta lieneekin suurin syy heikkoon taimettumistulokseen edellä kuvatulla hyvin ”pinnallisesti” palaneella kulotuskokeella.

Jatkuvapeitteinen metsätalous turvemailla

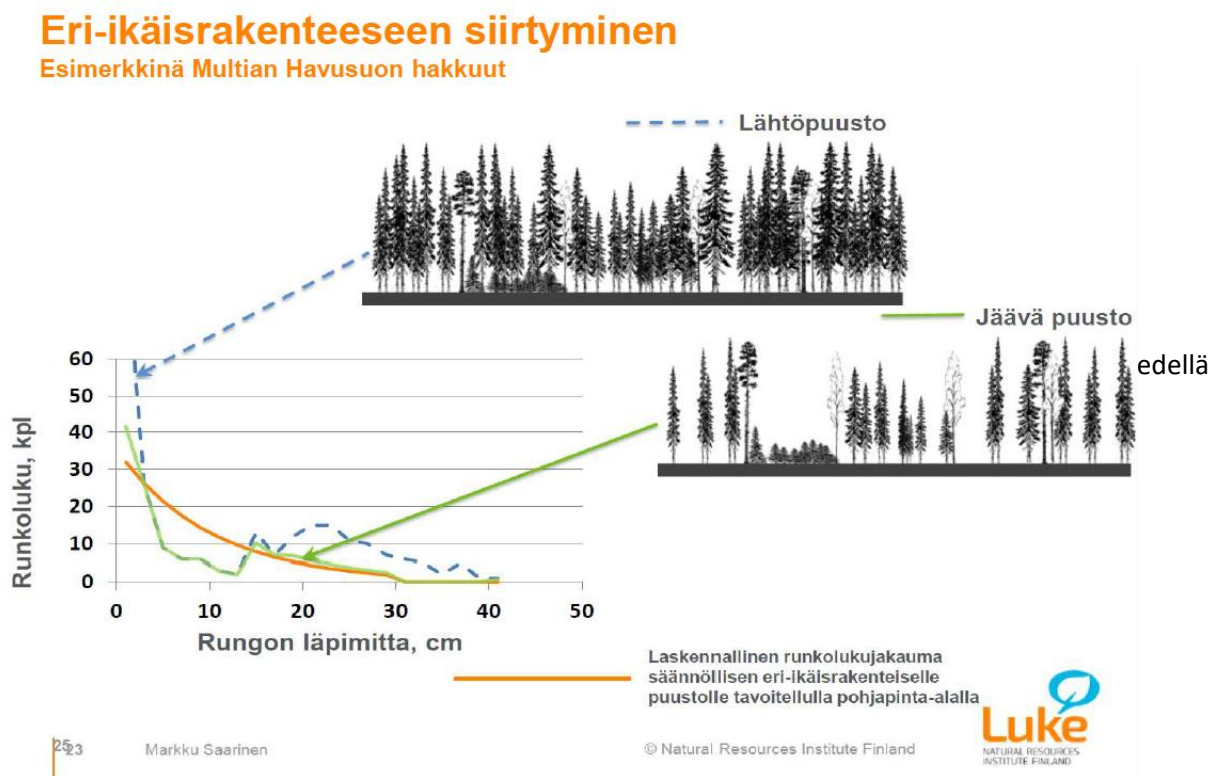
Turvemaiden maankäytöstä aiheutuu suurempi vesistökuormitus, kuin kivennäismaiden maankäytöstä (Finér ym. 2010). Ravinteiden ja kiintoaineen huuhtoutumat lisääntyvät, kun turpeen vedenpinta nousee korkealle (Kaila ym. 2014, Nieminen ym. 2015). Toisaalta maaperän hiilidioksidipäästöt lisääntyvät sitä 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 jatkuvapeitteiseen 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 ojitusalueetsissä? 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 tasarakenteisen 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 kasvatusta määrittelemään hieman eri tavalla kuin kangasmailla (Valkonen 2017). Ojitetuilla turvemailla jatkuvaan peitteellisyteen pitäisi käsitteellisesti ottaa mukaan kaikki sellaiset ratkaisut, jotka minimoivat kunnostusojitustarvetta,

Kuva 2. Eri-ikäisyysrakenteeseen siirtyminen.



kuvattuja ympäristöhaittoja ja säästävät hakkuissa riittävän suuren osan puustosta edistään 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 ojitusalueetsikön 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”.

Kirjallisuusviitteet

- 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 egenskaper 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 plantning 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, Koskiaho 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 skärnträd (Forest renewal on productive peatlands: Planting of Norway spruce on clearcuts and in shelterwoods). 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 suometsät 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 0-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 turvemailla. (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 turvemailla. 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 suometset – 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. Communicationes 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 suon 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 suometsetieteen laitoksen julkaisuja. 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 erällä 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 palettuminen 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: Typpilannoitelajien 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. *Lesovedenie* 4: 11-18.
- Skoklefald, S. 1976. Release of natural Norway spruce regeneration (in Norwegian). *Medd Nor Skogforsöksves* 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.
- Saarinén, E. K. E. 1933. Soiden pintaturpeen korkeuskasvusta. Referat: Über das Höhenwachstum des Oberflächentorfes auf den Mooren. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 19: 1–27.
- Saarinén, M. 1993. Miten käsitellä uudistamiskypsiä ojitusalue metsiä. Julkaisussa. Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). *Metsäntutkimuspäivä Porissa 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 470:6-12.
- Saarinén, 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.
- Saarinén, 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-scrub and *Vaccinium vitis-idaea* type peatland forests]. *Suo - Mires and Peat* 53(2): 41-60.
- Saarinén, 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.
- Saarinén, 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.
- Saarinén, 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 alueilla*. *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 seeding, 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 aikaansaatua 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.

Metsäojitetujen soiden ilmastollisesti kestäväään 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 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.

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

Tämän vaihtoehdon tutkimusnäyttö on kuitenkin vähäistä.

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

MAANKÄYTTÖ JA METSÄNHOITO	Puuston hiili	Maaperän hiili	Metaani ja typpioksiduuli
1. Suojelu (ojittamattoman suon suojelu)	+	+	-
2. Metsänkasvatusstrategiat			
2.1 Tasaikäsrakenteinen (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, lämpötilavaihtelut 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. Tutkijajaneelin (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-elosyyskuussa) > 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 jatkuvalle kasvatukselle
- Aikajänne? Miten metsänomistajalle perusteellaan peitteinen metsätalous?
- Haasteena, miten ohjeet saadaan käytäntöön
- Puukohtaisen tiedon saaminen jatkossa toimenpiteiden ohjaamisessa?
- Valuma-alue tarkastelu

POLITIIKKASUOSITUKSIA

- hirvi- ja peurakantojen säätely. Ongelma leviää kivennäismailta turvemaille.
- turvelpeltojen raivauskielto (EU:sta alkaen)
- kosteikkojen perustaminen (kemerarahojen kohdentaminen). Liittyy myös ilmastonmuutokseen 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
- Sekapuustoisuuden lisääminen
- **Tuhoihin varautuminen**

TUTKIMUSTARPEITA

- kannattavuustutkimus
- lisätietoa lannoituksesta – relevanteilla kohteilla
- juurikäypä
- miten monta kertaa voidaan toistaa tuhkalannoitus
- vesiensuojelurakenteiden ilmastovaikutukset
- Uudistuminen ja korjuu jatkuvapeitteisessä kasvatuksessa
- Suopeltojen käsittelyvaihtoehtojen ilmastovaikutukset

- Tuhkalannoitus ja hiilitase
- Ojittamattomien soiden hiilitase muuttuvassa ilmastossa
- Jatkuva peitteisen kasvatuksen ilmasto- ja vesistövaikutukset
- Vesistö-, hiili- ja monimuotoisuusvaikutusten yhteistarkastelu sekä työkalujen tuottaminen
- Spatiaalinen ja temporaalinen vaihtelu

Liite 2 Tutkijapaneelin ohjelma 17.4.2019

8:30	Kahvi	
9:00	Metsäpolitiikkafoorumin ja Suometsien kokonaisanalyysin esittely. Paneelin käytännön järjestelyt.	Henry Schneider, Tapio
9:15	Suometsien puuvarat: inventoinnit ja skenaariot	Risto Päivinen, Tapio
9:40	Suometsänhoidon panosten vaikutus puuntuotantoon	Hannu Hökkä, LUKE
10:00	Suometsien puunkorjuun erityiskysymykset	Matti Sirén, LUKE
10:20	Ryhmätyö , aiheet mm: kattavatko esitykset olennaiset tiedot suometsien puuntuotannosta? Minkälaisia selvityksiä tarvitsemme suometsätalouden ilmasto-, vesi- ja ympäristövaikutusten arvioimiseksi? Relevantit muut kysymykset?	
12:00	Loppukeskustelu ja johtopäätökset	Risto Päivinen, Tapio
12:30	Tilaisuuden päätös ja lounas	