

TAPIO



Maaperän huomioiminen metsänhoidossa

28.9.2023



Tapio Oy

Tapio Palvelut Oy (jäljempänä Tapio) vastaa palvelun toteuttajana ja raportin laatijana siitä, että raportti on laadittu ammattitaitoisesti, huolellisesti ja alalla vallitsevaa hyvää ammattikäytäntöä noudattaen. Raportti vastaa tilannetta sen antamishetkellä, eikä Tapio siten ole vastuussa myöhemmin esim. olosuhteiden muuttumisesta johtuneista seikoista. Toimeksiannon suorittamista varten Tapio on saanut toimeksiantajalta tai kolmasilta aineistoa ja laskentamalleja, joiden oikeellisuuteen ja todenmukaisuuteen Tapio on luottanut ilman eri tutkimusta tai todentamista, ellei kyse ole aineistosta, jonka oikeellisuuden tai todenmukaisuuden selvittäminen on nimenomaisesti kuulunut toimeksiantoon.

Tapio ei vastaa missään tapauksessa raportin välillisistä eikä epäsuorista vahingoista. Tapion vastuu rajoittuu kaikissa tapauksissa sille toimeksiannosta maksettuun määrään, ellei Tapion osoiteta menetelleen tahallisesti tai törkeän tuottamuksellisesti. Kolmannella taholla on oikeus luottaa lausuntoon vain siinä tarkoituksessa, mihin lausunto on nimenomaisesti pyydetty. Tapion vastuu kolmatta tahoa kohtaan ei voi olla suurempi, kuin mitä se on lausunnon pyytäneellä taholla kohtaan.

TAPIO 

Tiina Törmänen, 2023, Maaperän huomioiminen metsänhoidossa. Tapion raportteja nro 60.

© Tapio Oy

Kansikuva
Tiina Törmänen

ISBN 978-952-7435-23-6

ISSN 2342-804X

Työn tilaaja: Maa- ja metsätalousministeriö

Sisällysluettelo

1	SELVITYKSEN TAVOITE	3
1.1	TAVOITE JA TAUSTAT	3
1.2	KÄYTETTÄVÄT TIEDONLÄHTEET	3
1.2.1	Maaperään liittyvä lainsäädäntö ja maaperästrategia	3
1.2.2	Metsänhoidon suositukset	4
1.2.3	Sertifiointijärjestelmät	4
1.2.4	Metsähallituksen ohjeistukset ja ympäristöohjelma	5
1.2.5	Muut näkökulmat	5
2	MAAPERÄN HYVÄÄN TILAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT METSÄMAALLA	6
2.1	MAAPERÄN ROOLI	6
2.2	SUOMALAISEN METSÄMAAN ERITYISPIIRTEET	8
2.3	SUOMALAINEN METSÄTALOUS	10
2.4	ILMASTONMUUTOS VOI LISÄTÄ MAAPERÄN KUIVUMISTA	10
2.5	MAAPERÄN HYVÄN TILAN MÄÄRITELMÄ	11
2.6	MAAPERÄDIREKTIIVIN EHDOTETUT INDIKAATTORIT	14
3	MAAPERÄN KESTÄVÄN KÄYTÖN PERIAATTEET METSÄTALOUDESSA	17
3.1	METSÄMAAN KESTÄVÄ KÄYTTÖ	17
3.2	METSÄMAA HUOMIOIDAAN METSÄNHOIDOSSA	18
3.3	KIVENNÄISMAIDEN OMINAISUUDET OHJAAVAT TOIMENPITEITÄ	21
3.4	TURVEMAILLA HUOMIO KIINNITTYY VESITALOUTEEN	28
4	YHTEENVETO	33

1 Selvityksen tavoite

1.1 Tavoite ja taustat

Tämän selvityksen ”Maaperän huomioiminen metsänhoidossa” tavoitteena on maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannosta tuottaa tietoa politiikkavalmistelun ja EU-tason valmistelun tueksi.

Tämä selvitys rajautuu metsämaahan ja sen välittömässä vuorovaikutuksessa olevaan ympäristöön. Selvityksen tavoitteena on kuvata:

- Maaperän hyvään tilaan vaikuttavat tekijät metsämaalla
- Maaperän kestävä käytön periaatteet metsätaloudessa. Best practices maaperän huomioimisesta metsänhoidossa:
 - Maaperään liittyvä lainsäädäntö, joka vaikuttaa metsätalouteen
 - Metsänhoidon suositukset
 - Sertifiointijärjestelmät PEFC ja FSC
 - MH –ohjeistukset, ympäristöohjelma
 - Mahdolliset muut näkökulmat

1.2 Käytettävät tiedonlähteet

Selvityksessä kootaan julkisesti saatavilla olevaa metsämaatietoa, lainsäädäntöä, sertifiointikriteeristöjä, metsänhoidon suosituksia ja muita ohjeistuksia sekä olemassa olevaa tieteellistä tutkimustietoa.

1.2.1 Maaperään liittyvä lainsäädäntö ja maaperästrategia

Metsälain tarkoituksena on edistää metsien taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävä hoitoa ja käyttöä ja turvata puuston kasvun mahdollisuudet. Metsälaki asettaa metsien hoidolle ja käytölle vähimmäisvaatimukset, joiden pohjalta metsänomistaja tekee omien tavoitteidensa mukaiset yksityiskohtaiset metsänkäsittelypäätökset. Metsälain säätämät vähimmäisvaatimukset kohdistuvat muun muassa erityisen tärkeiden elinympäristöjen käsittelyyn, puun korjuuseen, metsän uudistamiseen ja metsäluonnon monimuotoisuuden turvaamiseen, jolloin tämän voi katsoa sisältävän myös maaperän.

Kestävä metsien hoitoa ja käyttöä sekä metsämaan terveyden ylläpitoa tulee tukea ajantasaisella lainsäädännöllä. Ympäristönsuojelulaki sisältää muun muassa maaperän pilaamiskiellon sekä jätehuoltoa koskevia määräyksiä. Torjunta-aineiden ja lannoitteiden käsittelystä ja varastoinnista säädetään kemikaaleja ja kuluttajaturvallisuutta koskevissa laeissa ja asetuksissa. Lainsäädäntö velvoittaa myös puhdistamaan pilaantuneen maaperän. Happamilla sulfaattimailla tapahtuvaa maankuivatusta säädellään ilmoitusmenettelyn avulla¹.

¹ <https://www.ymparisto.fi/fi/ympariston-tila/terve-ymparisto/maaperan-tila>. Viitattu 7.6.2023

EU:n komissio julkaisi vuonna 2021 EU:n maaperästrategian, joka asettaa viitekehysten, jonka avulla voidaan säännöllisesti arvioida EU:n maaperän tilaa ja toteuttaa toimia maaperän pilaantumisen ja huonontumisen torjumiseksi. Maaperästrategia sisältää useita keinoja, joilla edistetään maaperän terveyttä, turvataan sen monimuotoisuus ja vahvistetaan maaperän roolia ilmastonmuutoksen hillinnässä².

EU:n maaperästrategian tavoitteena on varmistaa, että vuoteen 2050 mennessä

- Kaikki EU:n maaperän ekosysteemit ovat terveitä ja kestävämpiä ja voivat siksi jatkaa keskeisten palveluidensa tarjoamista
- Maaperän nettöhäviämistä ei tapahdu (there is no net land take) ja maaperän saastuminen vähenee tasolle, joka ei enää ole haitallinen ihmisten terveydelle tai ekosysteemeille
- maaperän suojeleminen, kestävä hoito ja huonontuneen maaperän ennallistaminen on yleinen standardi

Osana strategian toimeenpanoa komissio on valmistellut lainsäädäntöehdotusta maaperän terveyslaiksi. Ehdotus kuuluu vihreän kehityksen (Green Deal) ohjelmaan ja se on julkaistu heinäkuussa 2023³. Ehdotus sisältää listauksen indikaattoreista⁴, joiden avulla pyritään arvioimaan maaperän hyvää tilaa.

1.2.2 Metsänhoidon suositukset

Metsänhoidon suosituksilla on tärkeä rooli monipuolisten, hyväksi todettujen toimenpiteiden tarjoajana metsäalalla. Tapion koordinoiman metsänhoidon suositusten prosessissa kehitetään ja viedään käyttöön metsänhoidon parhaita toimintamalleja. Metsänhoidon suositukset kokoavat metsänomistajille perusteltuja vaihtoehtoja metsien käsittelyyn ja tukea tavoitteiden yhteensovittamiseen. Suositukset ovat osa Kansallinen metsästrategia 2035:n toteutusta.

Metsänhoidon suositukset päivitettiin ilmastokestävyyden osalta vuosina 2020-2022 Ilmastokestävä metsätalous -hankkeessa. Päivitystyö huomioi ilmastokestävyyden osalta ilmastonmuutokseen sopeutumisen ja uutena sisältönä suosituksiin lisättiin ilmastonmuutoksen hillinnän osio. Ilmastonmuutoksen hillinnän osalta huomioitiin useiden metsänhoidon toimenpiteiden vaikutus puuston ja maaperän hiilivarastointiin ja -sidontaan (CO₂) sekä muiden (CH₄, N₂O) kasvihuonekaasujen muodostumiseen. Vaikutuksia huomioitiin lyhyellä (alle 25 vuotta) ja pitkällä (yli 50 vuotta) aikavälillä. Maaperän kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen, hiilivarastojen ja -nielujen ylläpitäminen ja vahvistaminen on todettu tärkeäksi tavoitteeksi myös maaperästrategiassa.

1.2.3 Sertifiointijärjestelmät

Metsäsertifiointilla voidaan osoittaa, että metsiä käytetään vastuullisesti ja kestävästi. Suomessa on käytössä kaksi suurta sertifiointijärjestelmää PEFC ja FSC. Suomen metsistä noin 90 prosenttia on PEFC-sertifioituja ja 10 prosenttia FSC-sertifioituja⁵. Metsäsertifiointin kriteerit on uudistettu sekä PEFC- että FSC järjestelmissä.

Suomen PEFC-standardien päivitetty sisältö on otettu käyttöön 16.2.2023. PEFC Council (the Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes) on kansainvälinen metsäsertifiointijärjestelmä,

² <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:52021DC0699>.

³ <https://environment.ec.europa.eu/system/files/2023-07/Proposal%20for%20a%20DIRECTIVE%20OF%20THE%20EUROPEAN%20PARLIAMENT%20AND%20OF%20THE%20COUNCIL%20on%20Soil%20Monitoring%20and%20Resilience%20COM%202023%20416%20final.pdf>

⁴ <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-11566-2023-ADD-1/en/pdf>

⁵ <https://www.metsakeskus.fi/fi/metsan-kaytto-ja-omistus/oikeudet-ja-velvollisuudet/metsasertifiointi>. Viitattu 12.6.2023

joka edistää ekologisesti, sosiaalisesti, taloudellisesti ja kulttuurillisesti kestävää metsätaloutta metsäsertifiointin, alkueräketju sertifiointin ja metsäperäisten tuotteiden merkinnän keinoin⁶.

Uusi FSC-standardi on voimassa 1.8.2023 alkaen. FSC on kansainvälinen organisaatio ja FSC Suomi eli Vastuullisen metsänhoidon yhdistys ry on riippumaton, voittoa tavoittelematon järjestö. Se toimii yhteistyössä kansainvälisen FSC:n kanssa, sen periaatteiden ja sääntöjen mukaisesti. Vastuullisen metsänhoidon yhdistys vastaa mm. Suomen FSC-sertifiointin kriteerien laadinnasta ja päivityksestä. Standardi määrittelee vähimmäisvaatimukset sille, miten FSC-sertifioituja metsiä tulevaisuudessa hoidetaan Suomessa. Se luo perustan ympäristön kannalta vastuulliselle, sosiaalisesti hyödylliselle ja taloudellisesti kannattavalle metsien hoidolle⁷.

1.2.4 Metsähallituksen ohjeistukset ja ympäristöohjelma

Metsähallituksen hoidossa on maa-alueita 9 168 000 hehtaaria ja vesialueita 3 414 000 hehtaaria, yhteensä 12 582 000 hehtaaria⁸. Valtion omistusosuus metsätalousmaasta Suomessa on noin 34 %⁹

Metsähallitus Metsätalous Oy:n ympäristöopas on Metsähallituksen julkaisema metsänhoidon käsikirja valtion monikäyttömetsien hoitoon ja käyttöön. Oppaan ohjeistus perustuu lainsäädännön, metsäsertifiointin ja Metsähallituksen itse asettamiin vaatimuksiin ja suosituksiin toimenpiteistä, joilla edistetään metsien monimuotoisuutta ja ekosysteemipalveluita valtion monikäyttömetsissä. Ympäristöoppaaseen on sisällytetty Suomen PEFC-standardien uudet vaatimukset. Yhdessä Metsähallitus Metsätalous Oy:n metsänhoito-ohjeen kanssa ympäristöopas muodostaa ympäristöohjeistuksen. Opas on jaettu kahteen osaan: I Perusteet ja II Toimintaohjeet.

1.2.5 Muut näkökulmat

MTK-SLC maaperäohjelma avaa maaperän ominaisuuksien riippuvuussuhteet ja maan hoidon mahdollisuudet biotalouden perustana. Ohjelma koostuu 62 toimenpiteestä, jotka maa- ja metsätaloustoimijat näkevät oleellisiksi askeliksi maaperän tuottavuuden ja puhtauden turvaamiseksi. Lähtökohtana ovat YK:n kestävä kehityksen tavoitteet sekä ymmärryksen lisääminen maaperän toiminnoista, taustalla MTK:n ilmasto-ohjelma, MTK:n luonnon monimuotoisuusohjelma, MTK-SLC vesiohjelma ja MTK-SLC maatalouden ilmastotiekartta. MTK:n ja SLC:n maaperäohjelman metsätalouden maaperäkysymyksissä on sanottu, että kasvun edellytykset turvataan kasvupaikalle sopivilla metsänkasvatusmenetelmillä, uudistamisen turvaavalla kevyellä maanmuokkauksella ja tarpeen mukaisella lannoituksella. Maaperän kasvutekijöitä parantavaa lehtipuustoa suositaan sekapuustona.

Metsäyhtiöt ja Metsähallitus seuraavat ja arvioivat sisäisesti metsien hoidon ja muiden metsätaloustoimien laatua omilla alueillaan. Seuranta tehdään sisäisten ja ulkopuolisten laadunarviointien perusteella. Inventointi- ja seurantatietoa käytetään jatkuvasti metsätaloussuunnitelmien ja metsätietojärjestelmien päivittämiseen ja kehittämiseen. Laadunarviointiin voi kuulua mm. korjuujäljen seuranta ja maastovaurioiden arviointi sekä maanmuokkauksen laadun arviointi. Suomen metsäkeskus arvioi jatkuvasti hakkuita ja muiden metsätaloustoimien toteutusta ja laatua. Arvioitavia seikkoja ovat mm. maaperälle aiheutuneet vahingot.

⁶ https://pefc.fi/wp-content/uploads/2022/09/PEFC-FI-1002_2022-SUO-20220914.pdf.

⁷ <https://fi.fsc.org/fi-fi/newsfeed/paivitetty-metsanhoidon-fsc-standardi-on-julkaistu>. Viitattu 12.6.2023

⁸ <https://www.metsa.fi/maat-ja-vedet/pinta-alat/>. Viitattu 31.5.2023

⁹ <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/tietoa-metsien-omistuksesta/metsatalousmaan-omistus-omistajaryhmittain>. Viitattu 31.5.2023

2 Maaperän hyvään tilaan vaikuttavat tekijät metsämaalla

2.1 Maaperän rooli

Maaperällä tarkoitetaan kiinteän kallioperää peittävää irtainta maapeitettä kaikkine aineksineen. Joillain alueilla kallion pinnalla on rapautumisvyöhyke, jolloin maaperän ja kallioperän välinen kontakti voi olla asteittainen.

Maaperä on keskeinen luonnonvaramme, joka tarjoaa kasvualueen puustolle. Terve maaperä tarjoaa lukuisia ekosysteemipalveluita, joista olemme täysin riippuvaisia. 95 % ruoantuotannosta perustuu maahan: ilman maaperästä ravinteensa ja kasvualueensa saavia kasveja meillä ei olisi happea eikä ruokaa. Maaperä on merten jälkeen maapallon toiseksi suurin hiilivarasto – se varastoi hiiltä tuplasti enemmän kuin ilmakehä ja kasvillisuus yhteensä. Maaperä on myös keskeinen osa veden kiertoa: se suodattaa ja pidättää vettä ja osallistuu näin sekä veden puhdistamiseen että tulvien hillitsemiseen (Kuva 1).

Maaperän eliöstön monimuotoisuudella on tärkeä rooli ekosysteemin toimintojen ja ekosysteemipalveluiden sekä sopeutumiskyvyn ylläpitäjänä¹⁰. Maaperän eliöstö hajottaa eloperäistä ainesta ja kierrättää useita ravinteita - erityisesti typpeä (N), fosforia (P) ja rikkiä (S). Hyvinvoivassa maaperässä on rikas eliöstö, joka on välttämätön elämän ylläpitämiseksi maapallolla. Esimerkiksi ilman maaperän hajottajia kuollut eloperäinen aine kasaantuisi maan pinnalle eivätkä sen sisältämät ravinteet ja alkuaineet päätyisi niitä tarvitsevien kasvien käyttöön.



Kuva 1: Maaperä tuottaa useita ekosysteemipalveluita, joista mm. hiilensidonta ja varastointi liittyy oleellisesti metsänhoitoon.¹¹

¹⁰ Nielsen, U. Wall, D. & Six, J. 2015. Soil Biodiversity and the Environment. Annu. Rev. Environ. Resour. 40:63–90

¹¹ Suomen Maaperätieteiden seura, FAO:n maaperän vuoden tiedotusmateriaalia, <http://www.fao.org/3/d-ax374o.pdf>. viitattu 21.3.2023

Metsämaa on keskeisessä roolissa vaikuttaen metsäekosysteemin toimintaan ja ympäristömuutoksiin. Metsämaan ominaisuudet vaikuttavat metsän toimintoihin usealla tavalla. Siksi maaperätiedon hallinta on oleellista metsänhoidon toimenpiteissä ja niiden suunnittelussa. Tärkeitä huomioitavia asioita ovat mm. vedenläpäisevyys, vedenpidätys, ilmavuus, routivuus ja kantavuus.

Maaperän monimuotoisuudesta puhuttaessa tulee huomioida, että luonnon monimuotoisuus koostuu sekä biodiversiteetistä (elollinen), että geodiversiteetistä (eloton). Geodiversiteetillä tarkoitetaan geologista luonnon monimuotoisuutta sekä kallioperän, maaperän, maanpinnan muotojen ja niihin liittyvien prosessien sisäistä tai ulkoista vaihtelua, joka vaikuttaa luontoon ja maisemaan myös laajemmalla alueella. Monimuotoisuuden ylläpitäminen metsämaassa parantaa mm. ravinteiden kiertoa^{12 13 14} ja maaperän rakennetta^{15 16}. Tällä hetkellä emme tiedä kaikkia metsänhoidon toimenpiteiden vaikutuksia metsämaan elottomaan ja elolliseen monimuotoisuuteen. Kuitenkin eri organisaatioiden ohjeistukset sanovat, että metsänhoidon toimenpiteissä tulee huomioida metsäluonnon monimuotoisuus ja turvata uhanalaisten lajien elinolosuhteet. Metsämaan osalta tämä on hyvin haastava vaatimus niin pitkään, kun meillä ei ole saatavilla riittävää tietoa metsämaan monimuotoisuudesta ja sen kehittymisestä.

Metsämaan hiilen määrän muutokset ja siihen liittyvät toiminnot ovat olleet keskusteluissa voimakkaimmin esillä. Huomiota tulisi myös kiinnittää metsämaan typen määrään ja typenkierron prosesseihin, koska typpi on ravinne, joka rajoittaa eniten suomalaisten metsien kasvua. Tämä johtuu siitä, että suurin osa maaperän typestä on sitoutunut monimutkaisiin valkuaisaineisiin ja vain pieni osa maaperän typestä on kasveille saatavilla olevissa epäorgaanisissa muodoissa tai pienimolekyylisenä orgaanisena typpinä maaliuoksessa.

Metsämailla hiilen ja typen kierto liittyvät vahvasti toisiinsa. Borealisissa metsissä biologinen typensidonta lisää tyyppiä metsäekosysteemiin mm. maassa, sammalissa, hakkuutähteessä ja lahopuussa elävien bakteerien kautta. Lisäksi tyyppiä on mahdollista lisätä metsään salamoinnin, laskeuman ja kaupallisen lannoituksen kautta. Vuotuinen typpilaskeuma on Etelä-Suomessa noin 4 kg/ha ja Pohjois-Suomessa noin 1 kg/ha tai vähemmän. Tyypillinen metsälannoituksen typen annos on 150 kg ha⁻¹.

Biologisen typensidonnan lisäksi tärkeitä typen kierron prosesseja ovat typen mineralisaatio, jossa orgaaninen typpi muutetaan mineraalimuotoon. Toinen tärkeä typen kierron prosessi on ei-toivottu nitrifikaatio, jossa ammoniakki muuttuu mikrobiprosessien kautta erittäin liikkuvaan nitraattimuotoon ja prosessi aiheuttaa myös maaperän happamoitumista. Normaalioloissa nitrifikaation aktiivisuus on alhainen, joten nitraattia esiintyy pieninä pitoisuuksina borealisissa metsämaissa. Nitraatti on helposti huuhtoutuvaa metsästä ympäröiviin vesistöihin. Nitrifikaatiossa, kuten myös denitrifikaatiossa, voi muodostua kaasumaista typpidioksidia, mikä mahdollistaa kaasumaisen typen häviöt maanpäällisistä järjestelmistä ilmakehään. Suljettu, luonnollinen typen kierto voidaan kääntää avoimeksi prosessiksi ihmisen toiminnan, kuten hakkuiden seurauksena, mikä lisää typen hävikkiä metsästä.

¹² Swift MJ, Heal OW, Anderson JM. 1979. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Berkeley, CA: Univ. Calif. Press

¹³ Bardgett RD, Usher MB, Hopkins DW. 2005. Biological Diversity and Function in Soil. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press

¹⁴ Nielsen UN, Ayres E, Wall DH, Bardgett RD. 2011. Soil biodiversity and carbon cycling: a synthesis of studies examining diversity-function relationships. *Eur. J. Soil Sci.* 62:105–16

¹⁵ Barrios E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecol. Econ.* 64:269–85

¹⁶ Mikola J, Bardgett RD, Hedlund K. 2002. Biodiversity, ecosystem functioning and soil decomposer food webs. In *Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives*, ed. M Loreau, S Naeem, P Inchausti, pp. 169–80. Oxford, UK: Oxford Univ. Press

Tämän hetken tietotaso ei anna selkeää vastausta maaperän terveyteen ja elinvoimaisuuteen liittyvien toimintojen ja kynnysarvojen joustosta. Maaperän prosessit ovat yleisesti hitaita etenkin kivennäismaiden mineraalimaakerroksissa. Siksi metsämaan terveyden turvaamiseksi toimenpiteissä ja niiden suunnittelussa tulee toimia pitkäjänteisesti.

2.2 Suomalaisen metsämaan erityispiirteet

EU:ssa ja Suomessa pidetään tärkeänä kehittää maaperän seuranta. Suomessa tieto maaperän tilasta, suojelusta ja kestävästä käytöstä on toistaiseksi hajanaista ja perustuu pääosin eri tarpeita palveleviin seurantaohjelmiin. Kattavaa tiedonkeruuta vaikeuttaa osaltaan Suomelle ominainen maaperäolojen ja maankäytön mosaiikkimainen vaihtelu pienelläkin alueella.

Podsol-, Histosol-, Arenosol- ja Leptosol-maannokset ovat yleisimpiä maannostyyppisiä Suomen metsämailla. Niiden osuus oli 95,5%. Yksittäisistä maannostyypeistä erottuu selvästi Haplic Podsol (ns. tavallinen kivennäismaiden podsol-maannos). Sen osuus on 40%. Histosolien (turvemaa) osuus on vain 25%, vaikka soiden osuus metsätalouden maasta on 34%. Syynä tähän on se, että Histosol-maannoksella turpeen paksuuden on oltava vähintään 40 cm. Leptosol-maannos tarkoittaa ohutpeitteistä maannosta/kalliomaannosta ja Arenosol karkearakeista maannosta, joka ei ole kehittynyt (vielä) podsoliksi. Hienoraakeisten maiden maannokset, Cambisolit (ruskomaannos), Gleysolit (glei-maannos eli pohjavesivaikutteinen maannos) ja Regosolit (kehittymätön/nuori maannos) ovat Suomessa harvinaisia (4,5%)¹⁷.

Suomessa yleisin maalaji on moreeni (Kuva 2). Moreenin vallitseva päälajite (esim. hiekka, hieta) määrää sille soveltuvan puulajien metsän kasvatukseen. Suomessa kangasmetsien maaperässä on hiiltä noin 960 milj. tonnia, joka on noin 3550 milj. CO₂ ekv tonnia. Suomen keskimääräinen vuotuinen hiilensidonta kangasmailla on vaihdellut välillä 0,45–0,51 CO₂ ekv tonnia ha⁻¹ vuosina 1990 ja 2017. Vuonna 2018 kangasmaiden ja lahoppuun hiilinielu oli -9 milj. t CO₂ ekv.¹⁸ Suomalaisissa metsämaissa hiiltä esiintyy eniten viljavimmilla kasvupaikoilla ja toisaalta enemmän eteläisessä Suomessa verrattuna maan pohjoisosiin.

¹⁷ Tamminen, P. 2009. Suomen metsämaiden maannokset. Metsätieteen aikakauskirja 1/2009.

¹⁸ Törmänen T. (toim.) 2020 Ilmastokestävä metsänhoito – taustaraportti metsänhoidon suositusten kehittämiseen. Tapion raportteja nro 44.



Kuva 2. Suomen yleisin maalaji on moreeni, joka sopii hyvin metsän kasvatukseen. Kuva: Tiina Törmänen.

Suot ja turvemaat ovat koko Suomen tärkein hiilivarasto sisältäen noin 2/3 osaa Suomen hiilivarastoista. Suomen metsistä neljännes on suometsiä. Suometsien turpeeseen on sitoutunut hiiltä yhteensä noin 5600 milj. tonnia, joka vastaa noin 20 200 milj. CO₂ ekv. tonnia¹⁹. Suometsien maaperä on turvetta, joka hajoaa hitaasti ja tuottaa kasvihuonekaasuja – hapellisissa olosuhteissa hiilidioksidia ja hapettomissa olosuhteissa metaania. Näiden turvemailla kasvavien metsien maaperän päästöt vastaavat suuruudeltaan noin neljännestä Suomen metsien puuston hiilinielusta²⁰.

Suomessa on runsaasti niin sanottuja happamia sulfaattimaita – eniten Euroopan maista. Ne ovat entistä merenpohjaa ja sisältävät muun muassa rikin ja raudan yhdisteitä. Happamien sulfaattimaiden hapettomista kerroksista voi vapautua rikkihappoa, alumiinia ja raskasmetalleja, jos pohjaveden pinta laskee. Näillä alueilla maankuivatus on happamoittanut vesistöjä ja lisännyt raskasmetallikuormitusta sekä hävittänyt tai suuresti heikentänyt monien jokien kalakantoja. Happamat sulfaattimaita ovat erityinen riski, joka täytyy huomioida metsänhoidossa.

¹⁹ Törmänen T. (toim.) 2020 Ilmastokestävä metsänhoito – taustaraportti metsänhoidon suositusten kehittämiseen. Tapion raportteja nro 44.

²⁰ https://pefc.fi/wp-content/uploads/2022/09/PEFC-FI-1002_2022-SUO-20220914.pdf

2.3 Suomalainen metsätalous

Keski-Euroopassa maatalous on keskiössä, kun taas Suomessa erityisesti metsätaloudella on suuri rooli koko yhteiskunnassa. Suomi on suhteellisesti Euroopan metsäisin maa. Suomen maapinta-alasta 86 % (26 milj. ha) on metsätalousmaata, joka jaetaan puuntuotoskykynsä perusteella metsämaahan (20,3 milj. ha), kitumaahan (2,5 milj. ha) ja joutomaahan (3,2 milj. ha)²¹.

Suomessa metsätalous on taloudellista toimintaa, jolla mm. tuotetaan uusiutuvaa raaka-ainetta metsäteollisuuden ja energiateollisuuden käyttöön. Suomessa metsätalous perustuu pääasiassa yksityismetsätalouteen. Yksityiset metsänomistajat, tavalliset kansalaiset ja perheet omistavat Suomen metsämaasta noin 60 ja puuston kasvusta noin 70 prosenttia. Vähintään kaksi hehtaaria metsämaata omistavia perhemetsätiloja on noin 350 000. Omistajia näillä tiloilla on kaksinkertainen määrä, yli 600 000²².

Metsähallituksen hallinnoimat valtion metsät kattavat metsämaasta neljäsosan, mutta valtion osuus kaikista hakkuista on vain kymmenesosa. Metsäyhtiöt omistavat metsämaasta vajaan kymmenen prosenttia, ja niiden osuus hakkuista on likimain saman verran. Kunnat, seurakunnat, säätiöt ja yhteismetsät omistavat loput noin viisi prosenttia.²³

2.4 Ilmastonmuutos voi lisätä maaperän kuivumista

Suomessa koko maassa sadanta on haihduntaa suurempaa vuositasolla. Pitkittyneet kuivuusjaksot ovat olleet Suomessa aikaisemmin melko harvinaisia. Kuivuuden ennakoidaankin lisääntyvän Suomessa jonkin verran. Lämpötilan nousu kiihdyttää haihduntaa, eikä ennusteiden mukaan kasvava sademäärä riitä kokonaisuudessaan kompensoimaan tästä aiheutuvaa maaperän kuivumista. Maaperän kuivumisen ennakoidaan yleistyvän kaikkina vuodenaikoina, eniten keväällä, mutta Pohjois-Suomessa myös kesällä. Maaperän kasvukauden aikainen kuivuminen vaikuttaa metsäpalorisktiin, mutta tämän ei oleteta kasvavan maaperän kuivumisen takia vielä lähimpinä vuosikymmeninä^{24,25}.

Maaperän ylimmän 10 cm:n maakerroksen kosteussisällön on todettu pienenevän kesällä ja syksyllä vain vähän, joten maaperän kosteuden muutosten voidaan olettaa olevan maltillisia. Eniten maaperän ennustetaan kuivuvan huhti-toukokuussa, mikä johtuu pitkälti lumen sulamisen aikaistumisesta. Kevättalven kuukausina helmi-maaliskuussa maaperän kosteussisällön ennustetaan puolestaan hiukan kasvavan²⁶.

Keskimääräisen maaperän vuosittaisen lämpötilan ennustetaan kasvavan 2–5 °C kuin samoilta paikoilta mitattujen ilman vastaavien lämpötilojen. Eron on todettu olevan suurempi pohjoisessa. Tähän vaikuttaa lumipeiteaika, koska se eristää maaperää kylmältä. Turvemaidilla on yleisesti kivennäismaita alhaisemat maaperän lämpötilat. Etelä- ja länsisuuntaisilla rinnealueilla, joille tulee paljon lämpösäteilyä, voi

²¹ https://fi.fsc.org/sites/default/files/2023-05/Suomen%20FSC-standardi%20FSC-STD-FIN-02-2023%20FI_0.pdf.

²² Metsätalouden pohjavesivaikutukset : MEPO-hankkeen loppuraportti 2021

²³ Metsätalouden pohjavesivaikutukset : MEPO-hankkeen loppuraportti 2021

²⁴ Lehtonen, I., Venäläinen, A. ja Gregow, H. 2020. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2020:5. 41 s.

²⁵ Lehtonen, I., Venäläinen, A. ja Gregow, H. 2020. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2020:5. 41 s.

²⁶ Lehtonen, I., Venäläinen, A. ja Gregow, H. 2020. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2020:5. 41 s.

maaperän keskimääräiset lämpötilat nousta. Maaperän lämpötilojen nousemiseen vaikuttaa myös maa-laji. Karkeat maat johtavat hienolajitteisia tai orgaanisia maita paremmin lämpöä, jolloin niiden maa on myös lämpimämpää.²⁷

Ilman lämpötila ja lumipeite sekä muun muassa maaperän kosteus vaikuttavat oleellisesti maan rou-taantumiseen. Talvien lauhtuessa roudan syvyyden ennakoidaan pienenevän ja maan olevan roudassa keskimäärin aiempaa lyhyemmän ajan. Kivennäismailla routaisen maan ajan keston arvioidaan lyhene-vän noin kuukaudella siirryttäessä jaksosta 1981– 2010 jaksoon 2021–2050. Turvemaidella routa ei yleensä ulotu kovin syvälle ja vuosisadan lopulla ei arvioiden mukaan maan etelä- ja keskiosissa turvapohjaisilla mailla kantavaa routaa olisi useimpina talvina juuri lainkaan. Etenkin huonosti kantavilla kohteilla rou-dan väheneminen voi siten muodostua merkittäväksi ongelmaksi puunkorjuun näkökulmasta. Lisäksi talviaikaisten kelirikko-tilanteiden arvioidaan yleistyvän alemmalla tieverkolla. Roudan väheneminen ja myös maaperän kosteussisällön kasvaminen syystalvella voivat lisätä myös myrskytuhoja.^{28,29}

2.5 Maaperän hyvän tilan määritelmä

Maan kasvukunto kuvaa, kuinka hyvin maaperä toimii. Maaperän keskeisiä toimintoja ovat 1) perustuotanto 2) veden puhdistaminen ja vesivarojen sääntely 3) hiilen sidonta ja ilmaston sääntely, 4) monimuotoisuuden ylläpitäminen sekä 5) ravinteiden kierrätys ja varastointi. Maaperän ominaisuuksien ja toimintojen heikkeneminen tai maaperän tuhoutuminen, jolloin maaperän kyky tuottaa ekosysteemipalveluja kärsii.

Maaperää ja sen toimintoja heikentävät yleisesti:

- eroosio
- orgaanisen hiilen menetys
- ravinteiden välinen epätasapaino maaperässä
- maaperän elottoman ja elollisen monimuotoisuuden katoaminen
- kuivuus
- saastuminen
- maan tiivistyminen
- maaperän peittäminen läpäisemättömillä pinnoitteilla kuten asfaltilla
- suolaantuminen
- happamoituminen
- mikromuovit

²⁷ Törmänen T. (toim.) 2020 Ilmastokestävä metsänhoito – taustaraportti metsänhoidon suositusten kehittämiseen. Ta-pion raportteja nro 44.

²⁸ Lehtonen, I., Venäläinen, A. ja Gregow, H. 2020. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2020:5. 41 s.

²⁹ Törmänen T. (toim.) 2020 Ilmastokestävä metsänhoito – taustaraportti metsänhoidon suositusten kehittämiseen. Ta-pion raportteja nro 44.

- kemikaalit

Maaperä on terve silloin, kun se on hyvässä kemiallisessa, biologisessa ja fysikaalisessa kunnossa ja pystyy siten jatkuvasti tarjoamaan mahdollisimman monia seuraavista ekosysteemipalveluista³⁰:

- elintarvikkeiden ja biomassan tuottaminen
- veden imeytyminen, varastoiminen ja suodattaminen sekä ravinteiden ja aineiden muuntaminen ja siten pohjavesimuodostumien suojeleminen
- perustan luominen elämälle ja luonnon monimuotoisuudelle elinympäristöt, lajit ja geenit mukaan luettuina
- toimiminen hiilivarastona
- fyysisen alustan ja kulttuuripalvelujen tarjoaminen ihmisiä ja heidän toimintaansa varten
- toimiminen raaka-aineiden lähteenä
- toimiminen geologisen, geomorfologisen ja arkeologisen perinnön arkiston

Maaperän terveyttä voidaan määritellä ja mitata erilaisten indikaattoreiden avulla³¹, vaikkakin suoria ja täysin kattavia mittaustapoja voi olla hankala löytää. Maaperän terveys tulisi nähdä yleisenä periaatteena, joka edistää kestävyuden tavoitteita, eikä edusta vain mitattavaa ominaisuutta. Maaperän terveys voidaan määritellä maaperän kyvyksi suorittaa keskeiset toiminnot ja tarjota ekosysteemipalveluja³². Maaperän terveys liittyy maaperän kyvyksi toimia elintärkeänä elävä ekosysteeminä, joka ylläpitää kasveja, eläimiä ja ihmisiä. Maaperän terveyteen siis liitetään maaperän rooli erilaisten ekosysteemipalveluiden tarjoajana, joihin yhdistyy veden laatuun, ilmastomuutokseen ja ihmisen terveyteen liittyvät toiminnot.

Usein maaperän terveyttä on määritetty kemiallisten ominaisuuksien ja indikaattoreiden kautta, mutta nyt määrittelyn rinnalle on nousemassa myös biologiset tekijät, kuten maaperän biodiversiteetti³³. Tärkeimmät maaperän ominaisuudet biologisen monimuotoisuuden ylläpitämiseksi ovat 1) fysikaaliset (esim. maaperän rakenne, irtotiheys), 2) kemialliset (esim. kationinvaihtokapasiteetti, pH) ja 3) biologiset (esim. maaperän entsyymit, hengitys)³⁴. Lukuisten maaperän toimintojen, kuten alkuainekierron, vedenpidätyksen ja hiilen sitoutumisen on tapahduttava metsäekosysteemin kannalta niin, että ekologisen tasapainon ylläpito säilyy ja tapahtuu elpymistä.

Metsämaan kasvukunto on monien tekijöiden summa. Maaperän fysikaalisiin ominaisuuksiin vaikuttavat ennen kaikkea maan lajitekoostumus ja maan rakenne. Lajitekoostumus kuvaa maan kivennäisaineksen

³⁰ Maaperästrategia. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0699> viitattu 10.8.2023

³¹ Gatica-Saavedra, P. et al. 2022. Soil health indicators for monitoring forest ecological restoration: a critical review. *Restoration ecology*. doi: 10.1111/rec.13836.

³² Bonfante, A., Basile, A., & Bouma, J. (2020). Targeting the soil quality and soil health concepts when aiming for the United Nations sustainable development goals and the EU green Deal. *The Soil*, 6, 453–466.

³³ Lehmann, J., Bossio, D.A., Kögel-Knabner, I., Rillig, M.C. 2020. The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment* 1: 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>.

³⁴ Lal, R. 2016. Soil health and carbon management. *Food and Energy Security* 5:212–222. <https://doi.org/10.1002/fes3.96>

jakautumista hiukkaskokoluokkiin eli lajitteisiin. Maan rakenne muodostuu kiintoaineksen eli kivennäisaineksen ja eloperäisen aineksen järjestäytymisestä erilaisiksi rakenteiksi sekä niiden väleihin jäävästä huokostilasta.³⁵

Maaperässä tapahtuu kemiallisia reaktioita eri alkuaineiden välillä. Kemia onkin hyvin tärkeässä osassa maaperän ominaisuuksista puhuttaessa, sillä esimerkiksi metsämaassa olevat ravinteet ovat alkuaineita.³⁶ Maaperän ravinnevaraston koon lisäksi myös sen koostumuksella on merkitystä. Yhden ravinteen ylimäärä johtaa helposti muiden ravinteiden vajaukseen. Hyvässä metsämaassa ravinteiden välillä vallitsee tasapaino ja se vastaa kasvillisuuden ravinteiden tarvetta.

Maassa vaikuttavia biologisia tekijöitä ovat muun muassa kasvien juuret ja juurieritteet, maaperäeläimet, mikrobit ja orgaaninen aines. Maaperän orgaaninen aines onkin yksi metsätaloustuotannon tärkeimmistä kasvutekijöistä. Pääosin kasvit, mutta myös eläimet tuottavat maahan orgaanista ainesta, jota maaperäeläimet muokkaavat ja hajottavat.³⁷ Kasvit erittävät juuristonsa kautta maahan erilaisia yhdisteitä, kuten sokereita ja aminohappoja. Juurieritteiden kautta maahan siirtyy kasvien yhteyttämää, ilmakehästä peräisin olevaa hiiltä. Juurieritteet tarjoavat ravintoa maaperän hajottajamikrobeille ja edesauttavat näin metsämaan mikrobitoimintaa.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset maaperän juuriston toimintaan tunnetaan heikosti. Metsien maanalaisen karikkeen tuotos on kuitenkin maanpäällisen kariketuotannon ohelle merkittävä osa metsien hiilenkiertoa. Maanpäällisen ja maanalaisen kariketuotannon suhteiden muutos maaperän ympäristötekijöiden muuttuessa voi vaikuttaa maaperän hiilivarastoon ja sen pitkäaikaiseen pysyvyyteen. Useat ympäristötekijät (esim. maan kosteus, lämpötila, huokoisuus, ravinteisuus) vaikuttavat ensisijaisesti puiden juuriin ja niiden kautta vahvan vuorovaikutuksen kautta myös maanpäällisten osien toimintaan, joista maan kosteus ja lämpötila muuttuvat ilmastonmuutoksen myötä. Esimerkiksi maaperän lämpötilan kohoamisen on todettu lisäävän hienojuurten kariketuotosta, joka osaltaan voi lisätä maaperän hiilen määrää.

Juuret tarvitsevat toimiakseen happea, joten tulevaisuudessa joillain kasvupaikoilla rankkasateista ja kesätulvista aiheutuva lisääntyvä märkyys voi aiheuttaa maan happivajeen ja näin haitata juurten toimintaa. Esimerkkinä tällaisesta tilanteesta ovat hienojakoiset kasvupaikat, joilla maan ilmahuokokset täyttyvät vedellä ja maan happipitoisuus laskee. Näin ollen juurten energian saanti heikkenee ja niiden toimintaa vaikeutuu. Liikakosteudesta aiheutuvia ongelmia voi tulla myös turvemaidella, joilla pohjavesi nousee juurten kasvukerrokseen.³⁸

Ilmastonmuutos voi kasvattaa eloperäisen aineksen hajotusta eli mineralisaatiota, koska kasvava lämpötila ja kosteus stimuloivat mikrobitoimintaa. Toisaalta ilmastonmuutoksen aiheuttama kuivuus voi päinvastoin heikentää mikrobien toimintaa, ja vaikutuksen voisi olettaa olevan riippuvainen kuivuusjakson kestosta. Kun karike alkaa lopulta hajoamaan, siitä liukenee maaperään orgaanisia yhdisteitä hajotusprosessin meneillään olevan vaiheen mukaan. Osa hajotettavan kasvimateriaalin hiilestä siirtyy myös ilmakehään hiilidioksidipäästönä, eikä siis kerrytä metsäekosysteemin hiilivarastoa.

Maaperän kosteuden ja lämpötilan vaikutus mikrobitoimintaan on yhteydessä myös typen kierron prosesseihin. Maamikrobit pystyvät tuottamaan maaperän tpestä elintoiminnoissaan typpioksiduulia. Mikrobien typpioksiduulituotanto kiihtyy, kun maaperän typen saatavuus lisääntyy. Typen nopeampi mine-

³⁵ <https://courses.minnalearn.com/fi/courses/regenfarming/maapera/maaperan-ominaisuudet/> viitattu 11.4.2023

³⁶ <https://courses.minnalearn.com/fi/courses/regenfarming/maapera/maaperan-ominaisuudet/> viitattu 11.4.2023

³⁷ <https://courses.minnalearn.com/fi/courses/regenfarming/maapera/maaperan-ominaisuudet/> viitattu 11.4.2023

³⁸ Törmänen T. (toim.) 2020 Ilmastokestävä metsänhoito – taustaraportti metsänhoidon suositusten kehittämiseen. Tapijon raportteja nro 44.

ralisaatio ja vapautuminen on yhteydessä metsien kasvuun ja näin ollen myös metsäekosysteemin kykyyn sitoa hiiltä. Mikäli typen häviöt metsämaasta kasvavat, kasvavalle puustolle on käytössä vähemmän typpeä. Tällä on merkitystä, koska typpi on suomalaisten metsien kasvua rajoittava ravinne.³⁹ Maaperän makrofaunan runsaus ja biologinen monimuotoisuus, lajien piirteet ja vuorovaikutukset oletetaan olevan tärkeässä asemassa maaperän hiilenkiertoon, vaikkakin tutkimustieto maaperän faunan vaikutuksesta eri aikaväleillä hiilenkiertoon ja ilmastonmuutoksen vaikutukset makrofaunaan ovat huonosti tunnettu^{40 41 42 43}.

2.6 Maaperädirektiivin ehdotetut indikaattorit

Komission esitys maaperädirektiivistä sisältää ehdotuksen indikaattoreista⁴⁴, joiden avulla pyritään arvioimaan maaperän hyvää tilaa. Indikaattoreista kaikki eivät ole oleellisia suomalaisiin metsämaihin.

Maan suolaantuminen ei ole uhka suomalaisissa metsämaissa. Maan suolaantumista tapahtuu kuivilla alueilla, jolloin suolaa rikastuu maaperän pintaosiin. Maaperän suolaantuminen johtuu haihtumisen, suolan saostumisen ja liukenemisen, suolan kuljetuksen ja ioninvaihdon yhdistelmästä. Maaperän liiallinen suolapitoisuus johtaa maaperän hedelmällisyyden heikkenemiseen, veden saatavuuden heikkeneemiseen kasveille sekä merkittäviin muutoksiin maaperän hydraulisissa ominaisuuksissa⁴⁵.

Myöskään metsämaan pilaantuminen ei ole merkittävä uhka suomalaisissa metsämaissa, mutta on toki mahdollista mm. työkonoiden huoltopaikoilla ja polttoainevarastopaikoilla. Haitallisten aineiden haju-kuormituksen osalta metsäseurannoissa ei ole todettu haitallisen korkeita raskasmetallipitoisuuksia. Laskeumamittaukset osoittavat useimpien raskasmetallien pitoisuuksien vähentyneen tilastollisesti merkittävästi vuosien 1998–2018 aikana. Suomessa ei ole meneillään orgaanisia haitta-aineita koskevaa maaperäseurainta. Yksittäisiä tutkimustuloksia on olemassa liittyen mikromuoveihin, lääkeaineisiin, perfluoriyhdisteisiin, bromattuihin palonestoaineisiin ja PAH-yhdisteisiin⁴⁶. Haastavia kohteita metsätaloudessa ovat happamat sulfaattimaat, jotka hapettuessaan vapauttavat metalleja ja happamoittavat ympäristöä. Siksi niiden käyttö metsätaloudessa tulee suunnitella tarkkaan.

Eroosiolla tarkoitetaan yleisesti veden aiheuttamaa maanpinnan kulumista sekä maa-aineksen huuhtoutumista ja kulkeutumista. Vesieroosioidikaattori maatalousmailla on laskettu Luonnonvarakeskuksessa yleisesti käytetyllä RUSLE-laskentamallilla (Revised Universal Soil Loss Equation), joka antaa arvion eroosion indikaattorista tonneina/hehtaari/vuosi. Arviot perustuvat pitkän ajan keskimääräiseen sademäärään, joten vuotuista säävaihtelua ei ole otettu huomioon. Esimerkiksi Eurajoen valuma-alueella on laskettu RUSLE:n avulla keskimääräiseksi vuotuiseksi eroosionopeudeksi noin 5 tonnia/hehtaari/vuosi⁴⁷.

³⁹ Törmänen T. (toim.) 2020. Ilmastokestävä metsänhoito – taustaraportti metsänhoidon suositusten kehittämiseen. Tapion raportteja nro 44.

⁴⁰ Nielsen, U. Wall, D. & Six. J. 2015. Soil Biodiversity and the Environment. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 40:63–90

⁴¹ Bardgett RD, van der Putten WH. 2014. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature* 515:505–11

⁴² Bardgett RD, Wardle DA. 2010. Aboveground-Belowground Linkages: Biotic Interactions, Ecosystem Processes, and Global Change. Oxford, UK: Oxford Univ. Press

⁴³ van der Putten WH, Bardgett RD, Bever JD, Bezemer TM, Casper BB, et al. 2013. Plant-soil feedbacks: the past, the present and the future challenges. *J. Ecol.* 101:265–76

⁴⁴ <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-11566-2023-ADD-1/en/pdf>

⁴⁵ Vengosh, A. 2003. Salinization and Saline Environments *Environ. Geochem.: Treatise on Geochem.*

⁴⁶ Haavisto, T. (toim.). 2023. Suomen maaperän seuranta, tila ja käytön ohjaukset. MaaTieto-hankkeen raportti. Ympäristöministeriö

⁴⁷ Wordofa, G. 2011. Soil Erosion Modelling Using GIS and RUSLE on the Eurajoki WaterShed, Finland. Bachelor`s Thesis, 36 p. Tampere University of Applied Science.

Erosioindikaattorilla pyritään arvioimaan veden aiheuttaman eroosion riskiä ja seuraamaan ennaltaehkäisevien toimenpiteiden vaikutuksia⁴⁸.

Suomalaisissa metsämaissa tapahtuu eroosiota ja sen seurauksena vesistökuormitusta. Metsätalouden toimenpiteiden kuormitus on sitä suurempaa mitä voimallisemmin metsää ja maaperää käsitellään. Usein varsinkin kivennäismailla kiintoainepitoisuudet nousevat hakkuutoimenpiteiden seurauksena hetkellisesti ja pidemmällä aikavälillä vaikutus heikkenee. Voidaan myös sanoa, että mitä suurempi virtaama, sitä enemmän kiintoainetta erodoituu ja kulkeutuu vesistön mukana. Näin ollen kiintoaineen vuosittaiset ja vuodenaikaisvaihtelut ovat selkeästi yhteydessä valuma-alueen hydrologisiin olosuhteisiin. Eroosioherkkyyteen siis vaikuttaa oleellisesti veden määrä, alueen topografia sekä maalaji.

Metsistä vapautuu ravinteita ja kiintoainetta myös luontaisesti luonnonhuuhtoumana. Metsätalouden keskimääräinen kiintoainekuormituksen on arvioitu olevan noin 97 kg/ha/vuosi. Metsäisten valuma-alueiden vuotuinen taustakuorma on kiintoaineen osalta 5,1 kg/ha/vuosi⁴⁹. Suomalaisilla metsämailla pintavalunta ja maaperän eroosio ovat siis yleensä vähäisiä pintakasvillisuuden vuoksi, koska kasvillisuus sitoo tehokkaasti maa-ainesta ja vähentää veden liikkeitä ja sen voi olettaa pysyvän normaalioloissa alle kriteerissä annetun raja-arvon (alle 2 tonni/hehtaari/vuosi). Eroosioon johtavia häiriöitä ovat maanmuokkaus, hakkuut ja puunkorjuu, kunnostusojitus, teiden rakentaminen ja metsäpalot.

Maaperän eroosio yhdistettynä muihin metsämaan häiriöihin, kuten maaperän tiivistymiseen, voi heikentää metsämaan terveyttä ja metsien kasvua⁵⁰. Metsäkoneiden aiheuttama maan tiivistyminen on mahdollista jopa kivisillä mailla⁵¹ ja siten tiivistymiselle on olemassa riski myös suomalaisilla metsämailla. Eroosiosta voi tulla yhä tärkeämpi muutostekijä boreaalisissa metsissä ilmaston lämpenemisen myötä, mikäli metsäpalot lisääntyvät ja metsämaan orgaaninen kerros elävine juurineen pienenee. Tällöin erityisesti tuulen ja veden aiheuttama eroosioriski lisääntyy, kunnes kasvillisuus palautuu takaisin. Suomessa kiintoaineksen ja sen mukana ravinteiden huuhtoutuminen metsämaalta on pinta-alayksikköä kohden pienempää kuin maatalousmailta. On kuitenkin hyvä huomata, että metsämaiden osuus Suomen pinta-alasta on maatalousmaita suurempi. Yksi tehokkaimmista keinoista vähentää kiintoaine- ja ravinnekuormituksia metsätaloustoimenpidealueilta on jättää riittävän leveät suojavyöhykkeet toimenpidealueen ja vesistön väliin.

Maaperän orgaaninen hiili (SOC) on tärkeä maaperän fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten ominaisuuksien kannalta ja siten keskeinen maaperän laadun ja maaperän terveyden indikaattori. Metsämaan hiili on tärkeä elementti maaperässä, sillä se auttaa ylläpitämään maaperän rakennetta sekä varastoi- maan vettä ja ravinteita. Täten hiili on erittäin tärkeä myös maaperän eliöyhteisölle, joka koostuu muun muassa mikro-organismeista (sienet, bakteerit, aktinobakteerit, levät, alkueläimet ja sukkulamadot) ja elävästä kasvimateriaalista⁵². Hiiltä esiintyy maaperässä epäorgaanisessa (SIC) ja orgaanisessa (SOC) muodossa. Epäorgaaninen hiili koostuu pääosin karbonaattimineraaleista, jotka syntyvät joko rapautumisessa tai maaperän mineraalien reagoidessa ilmakehän hiilidioksidin (CO₂) kanssa. Orgaanista hiiltä esiintyy maaperässä orgaanisessa aineksessa (SOM), joka koostuu elävistä tai kuolleista eläimistä ja kasvimateriaaleista, mikro-organismeista ja niiden metabolisista tuotteista sekä mikrobien syntetisoimista

⁴⁸ <https://www.luke.fi/en/statistics/indicators/cap-indicators/soil-erosion-by-water> viitattu 10.8.2023

⁴⁹ Tattari, S., Puustinen, M., Koskiahho, J., Röman, E., & Riihimäki, J. 2015. Vesistöjen ravinnekuormituksen lähteet ja vähentämismahdollisuudet.

⁵⁰ Elliot, W. et al. The Effects of Forest Management on Erosion and Soil Productivity. USDA Forest Service RMRS. https://forest.moscowfl.wsu.edu/smp/docs/docs/Elliot_1-57444-100-0.html viitattu 10.8.2023

⁵¹ Hansson, L. 2019. Impacts of forestry operations on soil physical properties, water and temperature dynamics. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2019:18. Swedish University of Agricultural Sciences.

⁵² Hoorman, J. J., Islam, R. 2010. Understanding soil microbes and nutrient recycling. Factsheet. <https://ohio-line.osu.edu/factsheet/SAG-16>

aineista⁵³. Tärkeimpinä orgaanisen kokonaishiilen pitoisuusvaihteluita metsäisillä valuma-alueilla selittävinä tekijöinä niin vuosi- kuin vuodenaikaistasolla pidetään valuntaa, sademäärää, veden lämpötilaa ja turvemaan osuutta sekä valuma-alueen topografiaa ja maaperän ravinteikkuutta^{54 55}.

Suomalaisilla hiekkaisilla metsämailla on rajallisempi kyky stabiloida orgaanisia yhdisteitä mineraalipinnoilla verrattuna savisiin maatalousmaihin, mikä osaltaan vaikuttaa hiilen varastoinnin kapasiteettiin, suuruuteen ja nopeuteen⁵⁶. Maatalousmailla suuri osa orgaanisesta aineksesta on sitoutuneena maapartikkeleiden pinnoilla, kun taas metsämailla suurempi osa orgaanisesta aineksesta on sitoutumattomana maapartikkelien välissä ja siten helpommin hajotettavissa ja menetettävissä.

On todettu, että SOC määrä nousee maan savespitoisuuden noustessa⁵⁷. SOC:savi-suhde on otettu käyttöön SOC-tason mittarina osoittamaan maaperän rakenteellista tilaa ja siten myös eroosioherkkyyttä. Savipitoisuus on abiottinen tekijä, jonka on usein havaittu olevan yksi tehokkaimmista SOC-pitoisuuden selittävästä muuttujista alueellisessa mittakaavassa erityisesti maatalousmailla. Saviaines muodostaa staabiileja maa-aggregaatteja ja sitoo orgaanisia yhdisteitä itseensä saviaineksen suuren ominaispinta-alan ansiosta.

SOC:savi suhde voidaan jakaa luokkiin kuvaamaan maaperän huonontunutta tilaa (1:13), kohtalaista tilaa (1:10) ja erittäin hyvää tilaa (1:8). Näin maita luokittelemalla joissain tapauksissa huonontuneiden maiden osuus voi kuitenkin kasvaa liian suureksi saven määrän kasvaessa. Metsämaat ovat usein saviköyhiä ja hiekkaisia. SOC: savi suhdetta käyttäen hiekkaiset maat saatetaan luokitella hyväkuntoisiksi eikä niiden parantaminen olisi silloin tarpeellista. Toisaalta mikäli näitä maita on Suomessa tarkoitus käyttää metsänkasvatukseen, voi niiden toiminnot ja rakenne olla siihen tarkoitukseen hyvällä tasolla ja turvata metsämailla ominaisten ekosysteemipalveluiden jatkuvuuden. On myös hyvä huomioida, että metsämaat eivät ole samanlaisen jatkuvan häiriön alla kuten maatalousmaat ovat. SOC:savi suhde soveltuu paremmin käytettäväksi maatalousmaiden tilan indikaattorina.

SOC:savi suhteen tilalle on myös ehdotettu SOC:SOC_{exp} (exp = expected, odotettu) indikaattoria, joka olisi helppokäyttöinen arviointimenetelmä ja mahdollistaisi kynnyksarvojen asettamisen ja luokittelun useisiin luokkiin (huonontunut, kohtalainen, hyvä, erittäin hyvä)⁵⁸.

⁵³ Lal, R. 2007. Carbon management in agricultural soils. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12:303–322. <https://doi.org/10.1007/s11027-006-9036-7>.

⁵⁴ Kortelainen, P.; T. Mattsson, L. Finér, M. Ahtiainen, S. Saukkonen & T. Sallantausta. 2006. Controls on the export of C, N, P and Fe from undisturbed boreal catchments, Finland. *Aquatic Sciences* 68, 453–468.

⁵⁵ Sarkkola, S.; M. Nieminen, H. Koivusalo, A. Laurén, P. Kortelainen, T. Mattsson, M. Palviainen, S. Piirainen, M. Starr & L. Finér 2012. Trends in concentrations and export of nitrogen in boreal forest streams. *Boreal Environment Research* 17, 85–101.

⁵⁶ Deng, Y.S.; Cai, C.F.; Xia, D.; Ding, S.W.; Chen, J.Z. Fractal features of soil particle size distribution under different land-use patterns in the alluvial fans of collapsing gullies in the hilly granitic region of southern China. *PLoS ONE* 2017, 12, e0173555.

⁵⁷ Deng, Y.S.; Cai, C.F.; Xia, D.; Ding, S.W.; Chen, J.Z. Fractal features of soil particle size distribution under different land-use patterns in the alluvial fans of collapsing gullies in the hilly granitic region of southern China. *PLoS ONE* 2017, 12, e0173555.

⁵⁸ Poeplau, C & Don, A. 2023. A simple soil organic carbon level metric beyond the organic carbon-to-clay ratio. *Soil Use and Management*, vol 39:3, 1057-1067.

Orgaanisen hiilen häviämistä tulisi ehkäistä kaikissa metsänhoidon toimenpiteissä. Erityisesti turvemaidella orgaanisen aineen häviäminen on merkittävää. Esimerkiksi metsätalouden osuus metsistä ja soilta tulevasta orgaanisen hiilen kuormituksesta on 78 000 tonnia/vuosi⁵⁹. Merkittävä osa orgaanisesta hiilestä on sitoutunut maaperään, joka erodoituessaan lähtee kiintoainepartikkeleina liikkeelle. Näin ollen kuten kiintoaineen kohdalla, myös orgaanisen kokonaishiilen kuormitus yleensä kasvaa merkittävästi pian hakuiden jälkeen.

3 Maaperän kestävän käytön periaatteet metsätaloudessa

Tämä kappale käsittelee metsämaan kestävää käyttöä ja eri organisaatioiden metsien hoitoon ja käyttöön liittyviä suosituksia ja ohjeistuksia, joissa on huomioitu vaikutuksia metsämaahan ja sen välittömään ympäristöön.

3.1 Metsämaan kestävä käyttö

Kestävyyden periaate tarkoittaa sitä, että turvataan tuleville sukupolville yhtä hyvät tai paremmat toimintamahdollisuudet kuin nykyisillä sukupolvilla on⁶⁰. Kestävällä kehityksellä viitataan usein YK:n Agenda 2030:ssa esitettyihin kestävän kehityksen tavoitteisiin. YK:n kestävän kehityksen tavoiteohjelma Agenda 2030 tähtää äärimmäisen köyhyyden poistamiseen sekä kestävään kehitykseen, jossa otetaan ympäristö, talous ja ihminen tasavertaisesti huomioon. Tavoitteita on yhteensä 17 kpl, joista esimerkiksi tavoite 15 huomioi maaperän: Suojella maaekosysteemejä, palauttaa niitä ennalleen ja edistää niiden kestäväää käyttöä; edistää metsien kestäväää käyttöä; taistella aavikoitumista vastaan; pysäyttää maaperän köyhtyminen ja luonnon monimuotoisuuden häviäminen⁶¹.

Kestävässä metsätaloudessa metsiä hoidetaan ja käytetään ekologisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti kestävästi. Metsien kestävä hoito ja käyttö tarkoittavat metsien ja metsämaiden hoitoa ja käyttöä siten, että säilytetään niiden monimuotoisuus, tuottavuus, uusiutumiskyky, elinvoimaisuus ja mahdollisuus toteuttaa nyt ja tulevaisuudessa merkityksellisiä ekologisia, taloudellisia ja sosiaalisia toimintoja paikallisella, kansallisilla ja maailmanlaajuisilla tasoilla sekä siten, ettei aiheuteta vahinkoa muille ekosysteemeille.”⁶² Kun kaikki kestävään metsätalouteen kuuluvat osa-alueet otetaan huomioon, metsien hoidon ja käytön voidaan ajatella olevan vastuullista ja kestävyttä huomioivaa.

Metsämaan tila heijastaa erilaisia luonnollisia ja ihmisperäisiä vaikutuksia. Siksi metsämaiden hoito ja suojele ovat metsäekosysteemien kestävän käytön peruselementtejä kestävä ja ympäristön kannalta vastuullisen metsänhoidon ja puunkäytön ohella. Kun metsätalouden toimissa huomioidaan kestävyys ja vaikutukset maaperään, voidaan sillä lisätä metsätalouden hyväksyttävyyttä ja toimien taloudellista kannattavuutta.

Suomessa metsämaan kestävän käytön periaatteita ei ole määritetty tarkasti. Toimenpiteiden kestävyttä ja vaikutuksia voi olla hankala määrittää, mikäli vaikutuksista ei ole olemassa riittävää tutkimus- ja käytännöntietoa. Tämä on usein tilanne metsämaan osalta, koska meillä ei ole tiedossa kaikkia metsän-

⁵⁹ Finér, L. Lepistö, A. Karlsson, K. Räike, A. Tattari, S. Huttunen, M. Härkönen, L. Joensuu, S. Kortelainen, P. Mattsson, T. Piirainen, S. Sarkkola, S. Sallantausta, T. Ukonmaanaho, L. 2020. Metsistä ja soilta tuleva vesistökuormitus 2020 – Metsä-Vesi-hankkeen loppuraportti. Valtioneuvoston kanslia. Helsinki https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162009/VNTEAS_2020_6.pdf?sequence=4&isAllowed=y

⁶⁰ <https://ym.fi/mita-on-kestava-kehitys>. Viitattu 21.5.2023.

⁶¹ <https://www.ykliitto.fi/kestava-kehitys>. Viitattu 25.5.2023.

⁶² Euroopan toinen metsäministerikonferenssi, Helsingissä 1993.

hoidon toimenpiteiden vaikutuksia esimerkiksi metsämaan biologiseen monimuotoisuuteen tai alempien maakerrosten prosesseihin. Usein tutkimustulokset keskittyvät ylimpään orgaaniseen kerrokseen sekä välittömästi sen alapuolella olevaan ylimpään mineraalimaan osaan.

Yleisesti metsämaan kestävän käytön periaatteissa tulisi varmistaa, että metsänhoidon ja käytön toimet eivät vaaranna maaperän toimintoja ja ominaisuuksia missään metsänhoidon toimenpideketjun vaiheissa. Toimenpide voi olla kestävä yleisellä tasolla metsämaan toimintojen näkökulmasta, mutta väärin tehtynä yksittäisen toteutuksen kestävyys tasossa voi olla vaihtelua kohteen tai toteutuksen laadun vuoksi. Siten on erityisen tärkeää kiinnittää huomioita työn laatuun ja selkeisiin ohjeistuksiin, toimijoiden asenteisiin ja koulutukseen sekä riittävään dokumentointiin ja toimivaan seurantaan.

Toimenpiteiden suunnitteluvaiheessa tulisi pyrkiä arvioimaan toimenpiteen välttämättömyys, oikea valittava toimenpide sekä kyetä tekemään hyötyjen ja haittojen neutraali analysointi. Riskinarvioinnin tulisi olla oleellinen osa suunnittelua. Metsämaan kestävä käyttö tulisi huomioida myös itse käytännön toteutuksen vaiheissa ja mahdollisesti seurata toimien vaikutuksia lyhyellä sekä pitkällä aikavälillä. Tämä mahdollistaa toiminnan, jossa kasvatetaan saavutettujen hyötyjen osuutta verrattuna mahdollisiin haittoihin esimerkiksi ympäristölle. Päätöksiä tehdessä olisi hyvä kuitenkin muistaa tarkastella kaikkia kestävyysosan alueita samanaikaisesti. Metsänomistaja voi tehdä näiden välillä painotuksia oman harkintansa ja tavoitteidensa mukaisesti.

Meneillään oleva tutkimus, kuten Hiilestä kiinni⁶³ ja Horizon 2020⁶⁴ toimenpidekokonaisuuksien hankkeet huomioivat metsämaan terveyttä ja kestävästä käytöstä mm. seuraavilta osin:

- Korjuukäytäntöjen vaikutukset metsämaan ominaisuuksiin
- Ilmansaasteiden vaikutukset metsämaan kestävyteen
- Ilmastonmuutoksen vaikutukset metsämaan kestävyteen
- Metsämaan kestävyttä koskevien maaperän laatuindikaattoreiden tunnistaminen
- Puiden hienojuurien tutkiminen ympäristönmuutoksen, maaperän ravinnetilan ja metsien terveyden indikaattoreina
- Tuhkalannoitus metsissä
- Metsämaan kartoitus ja seuranta

3.2 Metsämaa huomioidaan metsänhoidossa

Suomessa huomioidaan metsänhoidon toimenpiteiden vaikutuksia metsämaahan, mutta viime aikoina metsämaan terveyden ja elinvoiman ylläpito ja kasvattaminen on saanut metsäkeskusteluissa entistä enemmän huomiota. Tälle huomiolle on tarvetta, koska metsämaa on ensisijaisesti tarkasteltava tekijä, kun halutaan turvata metsän terveys ja kasvu. Maaperän haitalliset muutokset ilmenevät usein hitaasti. Muutokset maaperässä kaventavat maaekosysteemin monimuotoisuutta ja heikentävät sen kykyä pitää yllä ekosysteemipalveluja⁶⁵. Metsätaloudessa metsämaan kasvukuntoa voidaan parantaa muun muassa pyrkimällä lisäämään sekapuustoisuutta, lannoittamalla maata harkitusti ja tasapainoisesti puuston tarpeiden mukaisesti, ehkäisemällä tiivistymien syntyä ja sekä valitsemalla tarkoituksenmukaisia maanmuokkaustapoja.

⁶³ <https://mmm.fi/maankayttosektorin-ilmastosuunnitelma/hankkeet>. Viitattu 25.8.2023.

⁶⁴ https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-2020_en. Viitattu 25.8.2023.

⁶⁵ Nielsen, U. Wall, D. & Six, J. 2015. Soil Biodiversity and the Environment. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 40:63–90.

Meillä on edelleen metsämaahan liittyviä osa-alueita, joista tutkimus ja käytännön tiedot ovat puutteelliset. Toisaalta uutta tutkimustietoa tulee koko ajan lisää ja tämä tieto tulee saada jalkautettua tehokkaasti käytäntöön mm. metsänhoidon suositusten avulla. Yhtenä haasteena metsälalla maaperän osalta on tiedon monimutkaisuus metsäekosysteemin toiminnan ja maaperän vaihtelevuuden takia sekä tämän tiedon saattaminen ymmärrettävään muotoon. Totutun toimintamallin ja näkemysten muuttaminen vaatii aikaa ja tarvitsemme oikeanlaista viestintää eri kohderyhmille, kuten päättäjille, metsämattilaisille ja metsänomistajille. Viestinnän, koulutuksen ja toimialan ulkopuolelle ulottuvan avoimen keskustelun lisäksi metsälalla tulee kehittää kuviokohtaista avointa maaperätietoa ja sen keruuta kustannustehokkaasti. Entistä tarkempi maaperätieto auttaa valitsemaan kohteille parhaiten soveltuvat metsänhoidon menetelmät ja siten hallitsemaan tulevia ilmaston aiheuttamia metsänhoidollisia riskejä. Erityisen tärkeää on turvata jo olemassa olevien, merkittävimpien pitkäaikaisseurantojen jatkuvuus.

Metsien hoito ja käyttö vaikuttaa metsien ja metsämaan kykyyn toimia ekosysteemipalveluiden tuottajana. Tärkeitä metsien tuottamia ekosysteemipalveluita ovat mm. toimiminen hiilivarastona ja -nieluna. Ekosysteemien palveluiden turvaaminen huomioidaan metsänhoidon suosituksissa ja FSC:ssä (periaate 6: Ympäristöarvot ja vaikutukset ja periaate 9: Korkeat suojeluarvot. Tämä tarkoittaa FSC:n periaatteen 6 osalta, että metsässä tehdään toimia joilla pyritään välttämään hiilen vapautumista maaperästä ilmakehään, mutta FSC:n mukaisesti organisaation/toimijan tulee tunnistaa ja arvioida itse toimien vaikuttavuutta. Tämä voi olla metsämaavaikutusten arvioinnissa erittäin haastava tehtävä. Periaate 9 huomioi alttiin maaperän ja rinteiden eroosion hillinnän. Lisäksi FSC:n periaatteen 7 mukaisesti organisaatioilla tulisi olla metsäsuunnitelma, joka sisältää metsikkökohtaiset puusto- ja maaperätiedot sekä tietoa tiettyistä toteutuneista metsänhoidon toimenpiteistä. Toimenpiteet, kuten lannoitus, kunnostusojitus ja näitä vastaavat toimet ovat sellaisia, joilla on vaikutuksia metsämaahan, vaikka FSC teksti ei asiaa mainitsekaan. Metsien käsittelypäätöksiä tehtäessä tuleekin ottaa huomioon mahdollisuudet hiilivarastojen ylläpitoon ja kasvattamiseen. Metsänhoidolla voidaan tähdätä siihen, että metsäekosysteemin kyky sitoa ja varastoida hiiltä vahvistuu jatkuvasti. Hiilen ja hiilidioksidin lisäksi tulee kiinnittää huomiota myös voimakkaiden kasvihuonekaasujen, kuten metaanin ja typpioksiduulin, muodostumiseen metsäekosysteemissä.⁶⁶

Suomalaisten metsien kiertoaika on pitkä ja metsäkuviolla ei tehdä hoitotoimia vuosittain. Niinpä myöskään metsämaahan ei kohdistu vuosittaisin häiriötä aiheuttavia toimenpiteitä. Maaperän hiilivarastoista ja metsänhoitotoimenpiteiden vaikutuksista maaperään ja sen hiilen määrän muutoksiin tiedetään suhteellisen vähän. Tiedon puute korostuu erityisesti pitkän aikavälin muutoksien seurannassa. Kivennäismailla tutkimus perustuu usein päällimmäiseen orgaaniseen kerrokseen, jossa muutokset hiilen määrässä tapahtuvat syvempiä mineraalimaan kerroksia nopeammin. Mikäli kivennäismaalla orgaanisen hiilen määrää on tutkittu, voi se olla rajattuna vain ylimpään osuuteen, jolloin osa maahiilestä rajautuu pois tarkasteluista. Tämä rajaaminen voi olla merkityksellinen, koska suomalaisissa metsämaissa hiiltä esiintyy runsaasti myös syvemmissä maakerroksissa. Tämä johtuu metsämaiden luonnollisesta ilmiöstä, podsolisaatiosta, jossa hiiliyhdisteet huuhtoutuvat syvemmälle ja lopulta kerrostuvat ns. punertavan ruskeaan rikastumis- eli B-horisonttiin (Kuva 3). Luonnonvarakeskuksen keräämän Biosoil-aineiston perusteella metsämaahan (orgaaninen kerros + kivennäismaakerros 0-40 cm) on sitoutunut hiiltä keskimäärin 5,65 kg C m⁻², josta noin kolmasosa on orgaanisessa kerroksessa (2,10 kg C m⁻²) ja loput kivennäismaassa (3,56 kg C m⁻²) (Kramarenko, 2012).

⁶⁶ Törmänen T. (toim.) 2020 Ilmastokestävä metsänhoito – taustaraportti metsänhoidon suositusten kehittämiseen. Tapion raportteja nro 44.



Kuva 3. Suomalaiselle tyypillisessä podsol-maannoksessa hiiltä on varastoituneena runsaasti pintakerrokseen, mutta myös syvemmälle punertavan ruskeaan rikastumishorisonttiin. Kuva: Tiina Törmänen.

Maaperään hiiltä kertyy kasvillisuuden kasvun ja kariketuotannon kautta sekä puuston ja metsäkasvillisuuden, hakkuutähteiden ja mikrobin hajotessa. Puuston kasvuun liittyy oleellisesti maan lämpötila ja vesipitoisuus. Liika kuivuus tai märkyys heikentää puiden kasvua. Kasvupaikan maan rakenne, maalaajuhteet ja hienoainespitoisuus vaikuttaa maan vedenpidätysominaisuuksiin. Tämä tulee ottaa huomioon varsinkin pintajuurisen kuusen istutuskohteiden kohdalla, koska kuusi on mäntyä herkempi kuivuudelle. Kuivuuden heikentämät puut ovat myös heikompia bioottisia tuhoja vastaan. Koivulla on havupuita parempi mahdollisuus selvitä kuivuudesta, koska se voi varistaa lehtensä ja sillä tavoin selvitä stressitilanteesta. Havupuille neulasten variseminen kuivuuden seurauksena voi olla kohtalokasta. Suomen oloissa sadanta ylittää puiden ja metsämaan kautta tapahtuvan haihdunnan, mutta ilmastonmuutoksen tuoma mahdollinen vaikutus sademäärin ja haihduntaan voi muuttaa tilannetta pintajuuristen kuusien kannalta heikompaan suuntaan.⁶⁷

Yleisesti lyhytaikaiset kevättulvat eivät ole suuri uhka puiden kasvulle. Poikkeuksena on hienojakoiset kivennäismaat, joilla maankosteus voi säilyä korkealla pitemmän aikaa ja haitata juurten toimintaa ja puiden kasvua. Sulamis-jäätymissyklit lisäävät jääkerroksen muodostumista maan pinnalle ja voivat haitata erityisesti pienten taimien selviytymistä. Roudan esiintyminen vaikuttaa siten puuston kasvuun. Lisäksi roudan väheneminen vaikeuttaa puunkorjuuta ja korjuun tapahtuessa väärään aikaan voi aiheuttaa metsämaan rakenteelle vaurioita.

⁶⁷ Törmänen T. (toim.) 2020 Ilmastokestävä metsänhoito – taustaraportti metsänhoidon suositusten kehittämiseen. Tapion raportteja nro 44.

Edellä mainittujen toimintojen ja vaikutusten lisäksi metsämaahan liittyy pilaantumisen riski, vaikkakin tällaiset riskit ovat yleensä melko pienialaisia. Metsämaan haitta-aineiden aiheuttamaa pilaantumista käsitellään suosituksissa, Metsähallituksen ympäristöoppaassa ja sertifikaateissa. FSC:ssä tavanomaisesta poikkeavalla haittavaikutuksella tarkoitetaan ympäristöhaittaa, jonka luonne, voimakkuus tai seuraus on tavanomaisista metsätaloustoimista poikkeava, esim. työkoneen öljyvuoto. Suosituksissa todetaan, että metsätaloudessa käytettävien kemikaalien, kuten poltto- ja kasvinsuojeluaineiden, päätyminen vesiin tulee estää. Esimerkiksi yksi litra öljyä voi saastuttaa laajan maa-alueen ja pohjaveteen päästessään pilata noin tuhat litraa ja antaa maun noin miljoonalle litralle pohjavettä. Tästä syystä vähäisenkin öljymäärän pääsy maaperään tulee estää⁶⁸. Metsähallituksen ympäristöopas toteaa, että pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi tulee yleensä ajankohtaiseksi, kun alueella ympäristöä mahdollisesti pilannut toiminta päättyy, alueen maankäyttö muuttuu tai kun pilaantuneeksi epäilty alue on yritys- tai kiinteistökauppojen kohteena. Selvityksiä tehdään myös silloin, kun ympäristössä havaitaan kohtauksia haitta-ainepitoisuuksia tai haitallisia vaikutuksia.

Kaiken kaikkiaan metsäalalla tarvitaan maaperätietoa mm. hiilivarastojen muutosten ja hiilensidontapotentiaalin laskentaan, kasvihuonekaasulaskentaan, metsäpalosimulointiin, eroosioherkkyyden laskentaan, maanmuokkaustavan ja puulajin valintaan uudistamisessa/kasvupaikkaluokittelussa ja staattisten korjuukelpoisuuskarttojen sekä dynaamisten kantavuusennusteiden toteuttamiseen. Käytännön suunnittelutyön onnistumista, kuten metsäkuljetuksen reitin tai varastopaikan sijainnin suunnittelussa, mahdollistaa tietojärjestelmien käyttö. Korjuukelpoisuuskarttojen hyvä saatavuus ja helppo hyödyntäminen järjestelmissä eri työvaiheissa mahdollistavat aineistojen käytön monipuolistumisen. Tämä auttaa korjuun oikea-aikaisuuteen ja laadukkaaseen toteuttamiseen, jolloin myös maaperävauriot pienentyvät.

3.3 Kivennäismaiden ominaisuudet ohjaavat toimenpiteitä

Elävä ja toimiva maaperä on uusiutumaton tai hitaasti uusiutuva luonnonvara. Metsien hoidossa ja käytössä tehdään toimia, joilla on monen suuntaisia vaikutuksia metsämaahan. Esimerkiksi puunkorjuussa käytettävät metsäkoneet voivat tiivistää kivennäismaata, jolloin sen rakenne häiriintyy. Kivennäismaan tiivistyessä maan rakenne huononee ja puiden kasvu voi heikentyä mm. juuriston toiminnan muuttuessa. Maan rakenteen palautuminen on hidasta, jopa mahdotonta mikäli maan rakennetta ajavat toiminnot ja prosessit heikentyvät tai lakkaavat toimimasta. Maan tiivistymisen voimakkuuteen vaikuttaa fysikaaliset tekijät kuten maan tiheys, paksuus, vesipitoisuus, rakenne ja maalajikoostumus.

Maa-ainesta voidaan menettää pysyvästi esimerkiksi eroosion takia ja kivennäismaa-ainesta on mahdollista saada takaisin puuston kasvualustaksi jääkauden prosessien kautta, aivan kuten meidän nykyinen metsämaamme on aikoinaan syntynyt. Siksi myös eroosioherkkyys etenkin hienojakoisilla mailla tulee huomioida. Eroosio on huomioitu metsänhoidon suosituksissa maanmuokkaus- ja vesiensuojeluosiossa. Suosituksissa olisi hyvä olla enemmän selkeitä havainnekuvia ja maastovideoita esimerkiksi dronekuvausta hyödyntäen erilaisista eroosiota aiheuttavista työvaiheista huomioituna kasvupaikkojen vaihtelevuus.

Kivennäismaiden tunnistettuja uhkia Suomessa ovat edellä mainittujen lisäksi myös humuksen väheneminen. Haitallisten aineiden aiheuttama maaperän pilaantuminen metsämaassa on usein mittakaavaltaan pienialainen riski. Metsämaa voi siirtyä toiseen maankäyttöluokkaan, jolloin se on luonnollisesti toiminnoiltaan muuttunut ympäristö eikä toimi enää puiden kasvualustana. Esimerkiksi metsämaan muuttaminen maatalousmaaksi johtaa yleensä merkittäviin orgaanisen aineksen hävikkiin, etenkin jos maan lämpötila kasvaa latvuston poiston myötä ja maan kosteudessa tapahtuu muutoksia. Orgaanisen aineen häviäminen on puolestaan yhteydessä maaperän terveyteen.

⁶⁸ <https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/vesiensuojelu-metsankasittelyssa>. Viitattu 12.6.2023.

Metsämaa voi häiriintyä hakkuu- ja uudistusvaiheessa yleisesti käytettävistä metsänhoidon toimenpiteistä. Metsän päätehakkuu on toimenpide, joka vaikuttaa paljon metsäekosysteemin toimintaan ja maaperän prosesseihin. Metsämaan ravinnekierto on normaalitilassa suljettu, jolloin siinä ei tapahdu suuria ravinnehäviöitä. Avohakkuu aiheuttaa häiriön normaalitilaan ja sen vaikutuksesta metsämaan ravinteidenkierto voi muuttua avoimeksi kierrokseksi. Tällöin riski ravinnehäviöihin metsämaasta ilmakehään ja vesistöihin kasvaa eli ravinteita menetetään pois puuston käytöstä. Ilmakehään voi vapautua typpioksiduulia (N₂O), joka on merkittävä kasvihuonekaasu (ilmastoa lämmittävä tekijä) ja vesistöihin voi huuhtoutuvaa nitraattia (NO₃), joka puolestaan lisää vesistöjen rehevöitymisen riskiä. Kasvillisuuden kehittyessä kasvit alkavat sitoa ravinteita, joten kivennäismailla avohakkuun vaikutukset jäävät lyhytaikaisiksi.

Maanmuokkaus

Metsänhoidossa vaikutusten huomioiminen metsämaahan vaatii suunnitelmallisuutta ja ympäristövaikutukset huomioonottavia muokkausmenetelmiä. Maanmuokkauksessa metsämaata peittävä humuskerros rikotaan kevyesti, jolloin saadaan esille kivennäismaata ja parannetaan maaperän lämpö- ja ravinneolosuhteita ja ilmavuutta. Maanmuokkauksen tarkoituksena on parantaa siementen itämistä sekä taimien elossa säilymistä ja kasvua ensimmäisten vuosien aikana. Toisaalta maanmuokkauksen myötä ravinnevalumiin riski kasvaa, lisäksi se voi vahingoittaa maalahopuita, varpukasvillisuutta ja muuta eliöstöä. Muokkauksen oikealla toteutustavalla ja ajoituksella sekä vesistöjen muokkaamattomilla suojakaisilla voidaan pienentää haitallisia ympäristövaikutuksia.

Metsien hiilitaseita tarkasteltaessa on huomioitava, että puuston lisäksi hiiltä sitoutuu myös maahan. Maanmuokkauksesta aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen määrät riippuvat pitkälti siitä, onko kyseessä eloperäinen vai kivennäismaa. Kivennäismailla koneellisella maanmuokkaamisella voi olla lisäinen vaikutus metsän hiilivarastoihin, kun muokkausmenetelmät valitaan paikkakohtaisesti ja maanpinnan rikkomista minimoimalla.

Suosituksissa löytyy selkeät kirjalliset ohjeet maanmuokkauksen onnistuneeseen toteutukseen niin, että maaperätekiöt otetaan huomioon. Lisäksi löytyy tietoa maanmuokkauksen vaikutuksista. Suosituksissa on oma osio happamien sulfaattimaiden huomioimisesta maanmuokkausta toteutettaessa ja siihen liittyvistä vesiensuojelutoimenpiteistä. Suosituksesta löytyy havainnekuvia maanmuokkauksen toteuttamisesta, mutta sisältöä voitaisiin parantaa kattavammalla kuvamateriaalilla tai kohdevideoilla, joissa muokkausta tehdään erilaisilla kasvupaikoilla. Hyötyjä ja haittoja tulisi havainnollistaa kuvamateriaalilla. Kuvissa olisi hyvä olla vertailua onnistuneista ja epäonnistuneista toteutuksista.

Sertifikaateissa maaperävaikutuksia ei ole mukana niin kattavasti kuin suosituksissa. FSC kieltää uudistusalojen säästöpuuryhmien maanpinnan rikkomisen ja lahopuiden vaurioittamisen. FSC:ssä maanmuokkaus vaatii suojavyöhykkeiden käytön. PEFC:n mukaisesti suojavyöhykkeitä ei saa muokata. MTK:n ja SLC:n maaperäohjelma huomioi maanmuokkauksen maaperävaikutukset ja kannustaa toimenpiteen suunnitteluun ja laadukkaaseen toteutukseen, jolla vähennetään ympäristöhaittoja, kuten varpukasvillisuuden vahingoittamista.

Lannoitus

Metsänlannoituksen tavoite on lisätä puille tarpeellisten ravinteiden tarjontaa maaperässä siten, että siitä on mitattavaa hyötyä puuston menestymiseen. Usein on käytetty termejä kasvatuslannoitus ja terveyslannoitus. Terveyslannoituksista käytetään määritelmää ”maan ravinne-epätasapainon korjaamiseksi tehtävät lannoitukset”. Kasvatuslannoituksilla puolestaan tavoitellaan kasvupaikan kasvun tason

nostoa normaaliin tasoon verrattuna.⁶⁹ Terveys- ja kasvatuslannoitusten yhteenlaskettu määrä on viimeisinä vuosina ollut kasvussa. Esimerkiksi vuonna 2019 lannoitettiin yhteensä noin 60 000 hehtaaria. Puuston kasvu paranee lisäämällä typpeä kerta-annoksena 100–200 kg hehtaaria kohden⁷⁰.

Typpi on ravinne, joka rajoittaa eniten kangasmetsiemme kasvua ja sen takia typpilannoitus usein parantaa puuston kasvua. Kivennäismailla lannoitukset lisäävät puuston biomassan lisäksi myös maan hiilen aineen määrää orgaanisessa kerroksessa. Typpilannoitteen laatu vaikuttaa sen kulkeutumiseen maassa ja ympäristössä. Varsinkin lannoitteen liukoisuudella on merkitystä vaikuttaen lannoituksen kestoon ja ympäristövaikutuksiin. Typen aiheuttama rehevöityminen on edelleen haastavaa, sillä typen laskeuma on edelleen korkea, mikä voi johtaa typen rehevöitymisen kriittisen kuormituksen ylittymiseen. Typen ylitarjonta voi aiheuttaa kielteisiä vaikutuksia metsämaan monimuotoisuuteen ja puiden ravintoon ja johtaa nitraattien huuhtoutumiseen pohjaveteen. Typpilannoitus voi muuttaa metsämaan typenkiertoa ja typen muotoa jollain kasvupaikoilla. Tämä voi lisätä riskiä voimakkaan kasvihuonekaasun typpioksiduulin muodostumiselle kivennäismailla.

Ravinteiden huuhtoutumisriskiä pystytään vähentämään välttämällä talvilannoitusta liukoisilla lannoitteilla, mutta huuhtoutumistutkimusta tarvitaan edelleen. Leppien symbioottinen typensidonta voi muodostaa vaihtoehdon typpilannoitukselle sopivissa olosuhteissa. Hakkuutähteiden korjaamatta jättäminen osaltaan ylläpitää kasvupaikan ravinnemääriä⁷¹.

Lannoituskohteet tulee valita ja toteutus tehdä huolellisesti, lisäksi tulisi suosia hidasliukoisia typpilannoitteita. Metsänhoidon suositusten työssä lannoituksen vaikutukset ja toteutus on huomioitu kirjallisessa muodossa hyvin. Lisäksi on huomioitu, että lannoituksen hyväksyttävyyys vaikuttaa lannoitusalojen lisäämiseen Suomessa. Isona epätietoisuutta aiheuttavana ja hyväksyttävyyttä alentavana tekijänä on lannoituksen vaikutukset metsien maanpäälliseen ja maanalaiseen monimuotoisuuteen, kuten maaperän bakteerien ja sienten biomassaan ja mikrobilajiston suhteisiin. Useimmat lannoitustutkimukset on tehty jaksollisesti kasvatetuissa havupuumetsissä, joten lehti- ja sekametsien lannoituksesta tarvitaan lisää tietoa, samoin jatkuvapeitteisen metsän lannoituksesta.⁷²

FSC:ssa lannoitusta käytetään noudattaen hyvän metsänhoidon suosituksia. Terveyslannoituksia tehdään kohteille, joilla puusto kärsii osoitetusti ravinne-epätasapainosta. Lannoituskohteet määritellään siten, että kohteissa on saavutettavissa merkittävä taloudellinen hyöty ilman ympäristöriskiä. MTK:n ja SLC:n maaperäohjelma pyrkii lannoituskohteen huolelliseen valintaan ja tarpeeseen kehittää hidasliukoisia lannoitteita.

Sekapuustoisuus

Sekametsät mahdollistavat monitavoitteisen metsien käytön ja hoidon niin ilmastokestävyyden, monikäytön kuin monimuotoisuudenkin kannalta. Sekametsien parempi elinvoimaisuus ja tuhonkestävyys edesauttavat puuntuotoksen säilymistä muuttuvissa olosuhteissa ja näin pystytään vahvistamaan metsien hiilinieluja ja -varastoja⁷³. Metsänhoidon suosituksista löytyy taulukot puulajien soveltuvuudesta eri kasvupaikoille ja eri metsämaille maalajeittain (Kuva 4). Muuttuvan ilmaston takia uudistamiseen valitta-

⁶⁹ Lehto, T. & Ilvesniemi, H. (toim.) 2023. Metsänlannoitus nyt ja tulevaisuudessa :Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 56/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 146 s.

⁷⁰ <https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/lannoitus/toteutus#section-514>. Viitattu 12.6.2023.

⁷¹ Lehto, T. & Ilvesniemi, H. (toim.) 2023. Metsänlannoitus nyt ja tulevaisuudessa :Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 56/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 146 s.

⁷² Lehto, T. & Ilvesniemi, H. (toim.) 2023. Metsänlannoitus nyt ja tulevaisuudessa :Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 56/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 146 s.

⁷³ <https://www.luke.fi/fi/projektit/sekava/sekametsat> Viitattu 4.6.2023.

Metsäbiomassojen korjuu

Metsäbiomassaa voidaan korjata eri intensiteetillä; vain rungot, rungot + oksat, rungot + oksat + neulaset sekä rungot, oksat, neulaset ja kannot. Korjuun intensiteetti vaikuttaa metsän hiili- ja typpidynamiikkaan ja ravinteiden saatavuuteen. Korjuun jälkeen metsään jätettävä hakkuutähde ei jakaudu tasaisesti metsänpohjalle. Etenkin päätehakuun jälkeen metsään jäävät hakkuutähdekasat kiihdyttävät tiettyjä metsämaan mikrobitoimintoja ja typen kierron prosesseja. Tämän seurauksena puiden tarvitsemaa typpeä voi poistua metsämaasta muualle ympäristöön ja sillä voi olla haitallisia vesistö- ja ilmastovaikutuksia. Siten hakkuutähteen tasaisemmalla jakaantumisella metsämaassa tai hakkuutähteen korjuulla voi olla positiivisia vesistövaikutuksia, koska näillä toimilla voidaan vähentää ravinteiden huuhtoutumista uudistusalalta verrattuna siihen, että hakkuutähdekasat jätettäisiin uudistusalalle. Hakkuutähteen tasaisella levittämällä tai hakkuutähteen korjuulla voi olla myös positiivisia vaikutuksia typpioksiduulipäästöihin päätehakuun jälkeen, mutta tästä on olemassa hyvin vähän tutkimustietoa⁷⁶.

Hakkuutähteen korjuussa metsästä poistetaan sekä orgaanista ainesta, että metsän kasvulle tärkeitä ravinteita. Metsämaan ravinnekoostumus vaihtelee ja monilla kohteilla voi olla rajallinen luonnollinen kalsium-, magnesium- ja kaliumvarasto. Korjuu vähentää etenkin kuusikoissa ravinteiden määrää erityisesti, jos hakkuutähde korjataan talteen tuoreena; tämä voi vähentää tulevan puusukupolven kasvua ja aiheuttaa kohteilla, joilla on ravinne-epätasapainon riski, kasvuhäiriöitä. Siksi puunkorjuun intensiteetti, erityisesti maanpäällisen kokonaisbiomassan osalta, on sovitettava huolellisesti paikan olosuhteisiin.

Tutkimustietoa tarvitaan lisää nykyaikaisen korjuun pitkäaikaisista maa- ja ympäristövaikutuksista erilaisilla kasvupaikoilla. Vaikutukset kasvihuonekaasupäästöjen ja maaperälajiston kehittymiseen ovat puutteellisia. Tutkimustulokset korjuun vaikutuksista puuston kasvuun eivät ole myöskään yhteneväisiä. Tiedon puutteen ja sen ristiriitaisuuden vuoksi bioenergian korjuun kestävydestä ei olla yksimielisiä.

Energiapuuta voidaan korjata karsittuina rankoina talousmetsistä, koska tällöin puiden oksat ja latvukset jäävät metsään, eikä metsän ravinnetilanne merkittävästi heikkene. Metsänhoidon suosituksissa hakkuutähteen korjuukohteiksi soveltuvat kuivahkot kankaat ja niitä viljavammat kivennäismaat sekä vastaavat turvemaa. Kuivilta kankailta, karukkokankailta sekä vastaavilta soilta ei suositella korjattavaksi hakkuutähteitä. Samoin ei suositella kallioisilta, lohkareisilta, runsaskivisiltä tai jyrkiltä rinteiltä korjattavaksi hakkuutähteitä. Kantojen korjuu sisältyy edelleen suositusten menetelmiin. Kantojen korjuukohteiksi soveltuvat kuivahkot kankaat ja niitä viljavammat kivennäismaat sekä varauksin vastaavien turvemaiden muuttumat. Kantojen korjuukohteiksi ei suositella puolukka-, mustikka- ja ruohoturvekankaita, kivennäismaista kuivia kankaita, karukkokankaita eikä vastaavia turvemaita, kallioisia, lohkareisia, runsaskivisiä maita eikä jyrkkiä rinteitä. Suosituksia päivitetään parhaillaan energiapuun korjuun osalta ja tässä työssä huomioidaan myös maaperävaikutukset. Esimerkiksi kantojen korjuun osalta mainitaan korjuun haitalliset vaikutukset maaperän toimintaa, jolloin maaperän lajiston monimuotoisuus vähenee pitkällä aikavälillä. Päivitystyössä on huomioitu myös sertifikaattijärjestelmien päivitykset energiapuun korjuun osalta.

Metsähallituksen ympäristöohjeen mukaan havupuiden hakkuutähteet pyritään korjaamaan lehdoista pois, jolloin estetään hakkuutähteen aiheuttaman ruskomaannoksen happamoitumista. Tähteet voidaan myös polttaa kohteella, mikä vähentää havupuiden maaperään happamoitavaa vaikutusta. Sertifikaattijärjestelmien mukaan uudistushakkuualoilla energiapuun korjuussa tulee jättää korjaamatta latvusmasaa noin 30 % mahdollisimman tasaisesti, jolloin turvataan metsämaan ravinnetilannetta.

⁷⁶ Törmänen, T. 2022. Bioenergy from forests: Impact of logging residues on the carbon and nitrogen cycles. [Doctoral Thesis, University of Helsinki]. Helsingin yliopisto. <http://hdl.handle.net/10138/351064>.

Pidennetty kiertoaika

Kiertoaika tarkoittaa metsikön yhden puusukupolven kasvatusajan pituutta, eli aikajaksoa metsikön uudistamishetkestä päätehakkuuseen. Jos metsiä kasvatetaan pitempään, niiden hiilensidonta lisääntyy, koska biomassaa kertyy enemmän ja näin ollen myös metsän hiilen kokonaismäärä on suurempi⁷⁷.

Tapion koordinoimassa Pidennetyin kiertoajan mahdollisuudet ja menetelmät metsien hiilensidonnessa (PIKMA) -hankkeessa selvitetään, minkälaisia vaikutuksia on, jos metsänomistajat ottavat kiertoajan pidentämisen laajemmin käyttöön. Tavoitteena on lisätä ilmastohyötyjä konkretisoimalla kiertoajan pidentämisen kannattavuutta eri näkökulmista ja edistää menettelyn käyttöä sille soveltuvilla kohteilla riskit huomioiden. Hankkeessa määritellään ja tarkennetaan kiertoajan pidentämiseen liittyvät päätöskriteerit ja luodaan mittareita, joiden avulla tunnistetaan sopivimmat kohdetyypit ja arvioidaan kiertoajan pidentämisen vaikutuksia käytännössä. PIKMA -hanke on osa maa- ja metsätalousministeriön maankäyttösektorin Hiilestä kiinni -ilmastotoimenpidekokonaisuutta.

Suositukseen on lisätty tiivis osio kiertoajan pidentämisestä vuonna 2022, mutta suosituksissa olevaa tietoa tullaan päivittämään PIKMA-hankkeen edetessä. PIKMA-hankkeen kirjallisuuskatsaus ei kuitenkaan sisällä syventävää tietoa metsämaavaikutuksista. Suosituksissa todetaan, että kiertoaikaa pidennettäessä maaperän hiilivaraston on todettu kasvavan kuusikoissa, kun kiertoaikoja on pidennetty n. 80–90 vuoteen saakka eli noin 20 vuotta. Männiköissä maaperän hiilivarasto voi vähentyä. Kiertoaikojen pidentämisestä tulisi olla enemmän tutkimustietoa metsämaan osalta. Nämä vaikutukset olisivat jossain määrin rinnastettavissa myös metsien suojelun vaikutuksiin varsinkin lyhyellä aikavälillä. Muut lähteet eivät huomioi pidennettyä kiertoaikaa ja sen maaperävaikutuksia.

Metsien suojelu ja luonnonhoito

Metsän suojelulla tarkoitetaan metsätilan, rajatun alueen, yksittäisen metsikön tai tietyn maastonkohdan jättämisestä metsätaloustalouden ulkopuolelle pysyvästi tai määräajaksi. Suojelu voi perustua metsänomistajan omaan päätökseen tai lainsäädäntöön. Suojelun päätavoitteena on edistää metsälajiston ja metsän muun elollisen ja elottoman monimuotoisuuden säilymistä. Suositukseen on lisätty artikkeli metsän suojelusta vuonna 2022. Suosituksissa todetaan, että suojelutoimilla on positiivinen vaikutus maaperän hiilitaseeseen erityisesti lyhyellä aikavälillä, koska maaperään ei vaikuteta metsätaloustoimilla. Suojelumetsissä lahoppuun määrä kasvaa, mikä lisää myös maaperään tulevaa hiilen määrää.

Metsänhoidon suosituksissa talousmetsien luonnonhoidosta on laadittu uusi artikkeli vuonna 2022. Artikkelin huomioi maaperävaikutukset erittäin kevyesti ja aihepiiri vaatii lisäselvitystä. Suosituksissa rakennepiirteiden osalta tulisi nostaa selkeämmin esille kuolleen puun säästämisen ja lehtipuusekoituksen ylläpitäminen, jotka vaikuttavat erityisesti ravinteiden kierron kautta maaperään. Metsänhoidon suositusten meneillään olevassa päivityksessä suojelu ja talousmetsien luonnonhoito ovat huomioitavia teemoja. Suosituksissa todetaan, että talousmetsien luonnonhoidon menetelmät yleisesti lisäävät metsämaan hiilivarastoa. Kuolleen puun lahoamisen myötä sen sisältämästä hiilestä osa vapautuu ajan myötä ilmakehään ja osa kartuttaa maaperän hiilivarastoa.

Myöskään Metsähallituksen ympäristöopas tai sertifikaattijärjestelmät eivät huomioi luonnonhoidon menetelmien maaperävaikutuksia syvällisesti tai vaikutukset tulee huomioitua maanpäällisen monimuotoisuuden huomioimisen kautta. Esimerkiksi FSC:ssä (6.5.3) todetaan, että organisaatio rajaa pysyvästi erityiskohteita, joilla on erityistä merkitystä metsäekosysteemin monimuotoisuuden tai metsien rakenteen monipuolistamisen kannalta. Näihin sisältyvät metsätalouslehdot, jolloin tätä kautta myös lehtojen ruskomaannos tulee huomioitua. Huomioitavina kohteina on mainittu myös kalkkimaiden ja ultraemäk-

⁷⁷ https://tapio.fi/wp-content/uploads/2023/02/PIKMA_kirjallisuuskatsaus_final-1.pdf. Viitattu 6.6.2023.

sisten maiden metsämaan elinympäristöt, joiden maanpäällisen monimuotoisuuden lisäksi myös maaperän monimuotoisuuden voidaan olettaa poikkeavan graniittisen metsämaan monimuotoisuudesta. Tästä tarvitaan kuitenkin enemmän tietoa. PEFC sertifikaatissa metsien monimuotoisuudelle tärkeiden rakennepiirteiden säilymistä turvataan muutoksilla ns. säästöpuukriteerissä. Säästettävien runkojen vähimmäismäärä kaksinkertaistuu 10 kappaleesta 20 kappaleeseen hehtaarilla ja elävien säästöpuiden vähimmäisläpimitta nousee 10 sentistä 15 senttiin. Tällä voidaan olettaa olevan jonkinasteisia positiivisia vaikutuksia maaperän monimuotoisuuteenkin, jos kasvavalla lahoppuun määrällä ja laadulla saadaan luotua elinympäristöjä sienilajeille.

Luonnonhoidon osalta paahdeympäristöjen hoito, jossa kuoritaan kunttaa ja paljastetaan kivennäismaata sekä kulutetaan hakkuutähteet ja kunta, vaikuttaa myös maaperään. Metsähallituksen ympäristöoppaassa paahdeympäristöjen hoidossa listataan seuraavia käytäntöjä, joilla on vaikutuksia myös metsämaahan:

- Varjostavan puuston vähentäminen
- Hakkuutähteiden korjaaminen. Muun rehevöittävän orgaanisen aineksen poistaminen
- Kivennäismaan paljastaminen maanpintaa laikuttamalla
- Kulotus/poltto (saa olla voimakas, kivennäismaan paljastava)

Kulotus

Metsäpalot ovat tärkeitä ekosysteemin muokkaajia, vaikuttaen metsän biologisiin, kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin, mutta nämä vaikutukset ovat riippuvaisia palon intensiteetistä, kestosta ja voimakkuudesta. Metsäpalon aiheuttamat muutokset maaperän rakenteessa voivat johtaa hiilen ja ravinteiden huuhtoutumiseen pois maaperästä, mikä saattaa vaikuttaa vesistöjen laatuun⁷⁸. Metsäpalot voivat kuitenkin vaikuttaa maaperän eliöyhteisön rakenteeseen ja toimintaan. Suorat vaikutukset maaperän biologisiin muutoksiin aiheutuvat yleensä maaperän orgaanisen kerroksen palamisesta, kun taas epäsuorat vaikutukset perustuvat muutoksiin maaperän fysikaaliskemiallisissa ominaisuuksissa ja kasvillisuudessa⁷⁹. Maaperän fysikaaliset ominaisuudet eli lämpötila- ja kosteusolosuhteet voivat muuttua metsäpalon seurauksena, kun taas kemiallisia muutoksia ovat ravinteiden saatavuus ja liikkuminen maaperässä. Esimerkiksi metsäpalot usein nostavat maaperän pH-arvoa, kun orgaaninen kerros palaa ja ravinteikasta tuhkaa muodostuu palon jälkeen.

Suosituksissa todetaan, että kulotus ja sen yhteydessä tehty kevyt maanpinnan muokkaus on yhdistelmä maaperän hoitoa, maanpinnan käsittelyä ja luonnonhoitoa. Kulotusalat muokataan äestämällä tai laikuttamalla sekä uudistetaan yleensä kylväen männylle. Kulotuksessa vapautuu ravinteita puiden käyttöön ja maaperän happamuus vähenee. Metsähallituksen monikäyttömetsien tulenkäyttömuodot ovat säästöpuuryhmien poltto ja erillisrahoitetut luonnonhoidolliset kulotukset⁸⁰. Kulotuksen maaperävaikutuksia ei ole avattu kattavasti. FSC (kohta 6.8) kehottaa hoitamaan maisemamosaiikkia mm. niin, että kulotusalueelta ei korjata kantoja. Tällä pyritään lisäämään palon voittamaa puu-ainesta, mutta ei oteta kantaa kantojen korjuun metsämaata ja sen rakennetta rikkovaan vaikutukseen. PEFC pyrkii lisäämään monimuotoisuudelle tärkeää palanutta ja palon vaurioittamaa puuta aktiivisesti kulottamalla. Kulotuskriteeri

⁷⁸ Delwiche, J. 2010. After the fire, follow the nitrogen. Fire Science Brief, Issue 92. <http://digitalcommons.unl.edu/jfspbriefs/80>.

⁷⁹ Köster, K., Aaltonen, H., Berninger, F., Heinonsalo, J., Köster, E., Ribeiro-Kumara, C., Sun, H., Tedersoo, L., Zhou, X., Pimpanen, J. 2021. Impacts of wildfire on soil microbiome in boreal environments. Current Opinion in Environmental Science & Health 22, 100258. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100258>.

⁸⁰ https://julkaisut.metsa.fi/assets/pdf/mt/MH_ymparistoopas.pdf. Viitattu 6.6.2023.

sisältää kaikki yli kahden hehtaarin metsäpalot, joille on jätettävä hiiltynyttä ja palanutta puuta. Näin pienemmätkin metsäpalot tulevat dokumentoiduiksi ja niiden käsittelyssä varmistetaan lajistolle tärkeän palaneen ja kuolevan puuaineksen säilymistä⁸¹. Lajistolla ei kuitenkaan viitata erikseen maaperälajiston elinolosuhteiden huomioimiseen. Kokonaisuudessaan voidaan todeta, että kaikkien organisaatioiden ohjeistuksissa kulutus vaatii tarkempaa maaperäkuvausta.

3.4 Turvemaiden huomio kiinnittyy vesitalouteen

Suomi on sitoutunut vähentämään maa- ja metsätalouden kasvihuonekaasupäästöjä sekä lisäämään maaperän hiilivarastoja. Kehityssuunnan muuttaminen tarkoittaa erityisesti turvemaiden orgaanisen aineksen hajoamisen hidastamista säätelemällä vesitaloutta. Maaperän hiilivarasto on suurempi kuin puustoon sitoutunut hiilen määrä ja erityisen korostunut ero on soilla, joissa metsäojitetutkin alueet ovat turpeen hiilen määrä suhteen moninkertaisia puuston hiilivarastoon verrattuna - jopa ohutturpeisilla kasvupaikoilla. Turvemaiden hiilen hävikkiä turpeesta on mahdollista pienentää välttämällä liian tehokasta kuivatusta ja suosimalla peitteellisen metsänkasvatuksen menetelmiä. Erityisesti ravinteikkaiden ojitusaluekasvupaikkojen turpeen hiilivaraston hävikin pienentämiseen olisi kiinnitettävä huomiota.

Suosituksia on uudistettu kattavasti turvemaiden osalta. Vesiensuojelun suositukset on uudistettu seuraavasti:

- Metsätilan hoito - Vesien ja vesielinympäristöjen turvaaminen (uusi artikkeli)
- Metsänhoidon toimenpiteet - kategoriasta Vesiensuojelu löytyy artikkelit:
- Vesiensuojelu metsänkäsittelyssä (päivitetty laajasti)
- Vesiensuojelurakenteet ja -ratkaisut (uusi artikkeli, johon koottu aiheen suosituksia, ajantasaisuus tarkistettu, osin päivitetty)
- Suojavyöhykkeet ja rantametsät (uusi artikkeli, johon koottu aiheen suosituksia, pääosin uutta sisältöä, aiempien suositusten ajantasaisuus tarkistettu)
- Vedenpalautus suolle (uusi artikkeli)
- Rakennetun kosteikon perustaminen (päivitetty)

Turvemaiden ojitus

Metsäojitukset ovat olleet merkittävin yksittäinen syy suoekosysteemien heikentymiseen. Uudisojitus lopetettiin valtion mailla vuonna 1994, mutta kunnostusojitukset, tienrakennus ja kivennäismaiden vesitalouden järjestelyt voivat edelleen vaikuttaa ojittamattomien soiden vesitalouteen.

Luonnontilaiset turvemaat toimivat kokonaisuudessaan hiilinieluna, mutta niiden kuivatus saattaa muuttaa ne hiilen lähteiksi. Tähän vaikuttaa alueen maankäyttö, maan ravinteisuudesta ja vallitseva ilmasto. Kun turvemaata kuivatetaan, sen seurauksena pohjavedenpinnan laskee ja turve altistaa hapelle. Tämä kiihdyttää eloperäisen aineksen maatumista ja hiilidioksidin vapautumista. Samanaikaisesti vapautuu

⁸¹ <https://pefc.fi/pefc-standardin-keskeiset-muutokset/>. Viitattu 7.8.2023.

myös typpioksiduulia. Turvemaidella hiilidioksidin lisäksi myös metaanin ja typpioksiduulin kaasupäästöt voivat kasvaa suuriksi. Ojitus voi myös lisätä turvemaan tiivistymistä ja lisätä eroosiota.

Turvemaiden ojitus toisaalta parantaa puuston kasvuedellytyksiä ja näin ollen lisää hiilen sidontaa ilmakehästä. Metsäojitetuilla soilla puuston kasvu voi ensimmäisen kiertoajan ajan kompensoida turpeen hiilen hävikin. Karuilla soilla maltillisella kuivatuksella sekä hyvin ohutturpeisilla soilla (turvekerroksen paksuus n. 10 cm) metsäojitus voi myös pitemmällä tähtäimellä olla hiilineutraalia. Vesitaloudellisten toimenpiteiden lisäksi hiilensidontaa on edistettävä viljelyteknisin keinoin ja metsänhoitomenetelmiä edelleen kehittämällä.⁸²

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, minkä takia välitön suon ennallistaminenkaan ei ole perusteltu tai nopea ratkaisu ilmastonmuutoksen torjumiseksi. Lopulta tarkoituksena on löytää menetelmä, jolla pystytään optimoimaan vesipinnan korkeus niin, että kaikkien mainittujen kaasujen päästöt ovat mahdollisimman tasapainossa ilmastovaikutusten kannalta.

Suosituksissa on tehty merkittäviä päivityksiä koskien turvemaiden metsänkäsittelyä ja turvemaiden ojitusta ja siihen liittyvää vesiensuojelua. Kun hankkeet tuottavat uutta tietoa ojitusten vaikutuksista ja käytännön toteutuksesta, tulee tiedot lisätä sopivilta osin suosituksiin.

Myös Metsähallituksen ympäristöoppaassa on otettu huomioon ojitus ja vesiensuojelu. Metsätalousalueiden ojat, jotka kuivattavat reunoilta suojelualueiden tai muuten luonnontilaisia soita, jätetään kunnostamatta. Niitä voidaan myös tukkia esimerkiksi kunnostusojituksen yhteydessä. Aina kunnostusojituksen yhteydessä tulee tarkastella mahdollisuus ohjata luonnontilaiselle tai kuivahtaneelle suolle sille luontaisesti kuuluvat vedet. Luonnontilaisia soita reunustavat kangasmaiden vesitalouden parantamiseksi kaivettavat ojat jätetään perkaamatta tai tukitaan, jos ne eivät enää ole kangasmaan vesitalouden hoidon vuoksi välttämättömiä.

FSC:ssa edellytetään, että organisaatio ei tee turvemaidella uudisojitusta olemassa olevan ojaverkon rajaaman alueen ulkopuolella eikä muita vesitalouden järjestelytoimenpiteitä, ellei metsälaki sitä metsän uudistamisen yhteydessä edellytä. Ojitettua aluetta ei saa laajentaa. Lisäksi kunnostusojituksessa ojia ei kaiveta alkuperäistä ojan pohjaa syvemmälle, poikkeuksena turvemaat, joilla aiemman ojituksen seurauksena turpeen pinta on painunut niin paljon, että suoveden pinta on jälleen lähellä maanpinnan tasoa, eikä riittävä kuivatus ole järjestettävissä pelkästään ojitusalueen purkupistettä syventämällä. Kuitenkin yksittäinen oja voidaan kaivaa ojittamattomalle alueelle, mikäli se on välttämättömä olemassa olevan ojitusalueen vesien johtamiseksi veden luontaiseen laskusuuntaan. Toteutuksen yhteydessä tulee huomioida eroosioriski ja huomioida vesiensuojelulliset näkökulmat. MTK:n ja SLC:n maaperäohjelma kannustaa jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen lisäämiseen turvemaidella sekä jättämään heikoktuottoiset ojitetut suot ennallistumaan.

Tutkimuksen vahvistamat uudet metsänhoidolliset keinot korostavat suometsien vesitalouden säätelyä ja vaikutuksia kasvihuonekaasujen kehittymiseen. Vesitalouden säätelyllä pyritään vaikuttamaan kasvihuonekaasupäästöjen tasapainottamiseen ilmastonäkökulma huomioiden. Toimenpiteillä on vaikutusta myös vesien suojeluun, koska niillä pyritään vähentämään suometsien toimenpiteiden negatiivisia vaikutuksia kiintoaines- ja ravinnehuuhtoumiin.

⁸² Törmänen T. (toim.) 2020 Ilmastokestävä metsänhoito – taustaraportti metsänhoidon suositusten kehittämiseen. Tapion raportteja nro 44.

Ojitusten vaikutusten pitkäaikaista seurantatietoa ei ole vielä tarpeeksi johtopäätösten tekoon. Turvemaiden ojituksissa hiiltä on joka tapauksessa menetetty paljon: humusta on huuhtoutunut vesistöihin ja sitä on hajonnut, kun maan pintakerrokset ovat kuivuneet ja muuttuneet hapettomista hapellisiksi. Organisaatioiden ohjeistuksissa tulisi ottaa rohkeammin kantaa ojituksen tarpeellisuuteen ja havainnollistaa ojituksen mahdollisesti syntyvien vesiensuojeluriskien haittavaikutuksia selkein viestinnällisin keinoin, kuten kuvien ja videoiden avulla. Suometsien osalta korostuu tarve löytää soiden ojitusten rinnalle korvaavia vaihtoehtoja. Potentiaalisina korvaavina menetelminä nähdään aikaisempaa voimakkaammin jatkuvan kasvatuksen sekä luontaisen uudistamisen lisääminen suometsissä. Suometsien jatkuvana kasvatukseseen siirryttäessä tulee huomioida hyödyt ja riskit ja tarkastella mm. kohteen ilmastollisia oloja, tuhoriskien mahdollisuuksia, kasvupaikan ominaisuuksia ja olemassa oleva puustoa.

Turvemaiden tuhkalannoitus

Yleisimmin puuston kasvua rajoittaa ojitetuissa suometsissä fosforin ja/tai kaliumin niukkuus, joten tuhkalannoituksella lisätään puuston kasvua ravinnetalouden parantuessa. Tyypillisellä tuhkalannoitusmäärällä 3–5 t/ha fosforin puutoksen on todettu lieventyvän 3–4 vuoden kuluttua tuhkan levityksestä ja vaikutuksen kestävä jopa 30–50 vuotta⁸³.

Turvemaiden vesitaloutta voidaan pyrkiä säätelemään tuhkalannoituksen avulla, jolloin lisätään olemassa olevan puuston haihdutuskapasiteettia. Lisäämällä puuston kasvua ja latvuston kautta tapahtuvaa haihduntaa tuhkalannoitus voi alentaa vedenpinnan tasoa, millä voi olla metaanipäästöä pienentävä, tai metaanin nielua suurentava vaikutus. Itse tuhkalannoituksen ei ole todettu lisäävän metaanipäästöjä. Toisaalta vedenpinnan tason aleneminen voi lisätä hiilidioksidi- ja typpipäästöjä.⁸⁴ Turvemaidella käytetään typpetömiä lannoitteita, eikä lannoituksen ole havaittu aiheuttavan typpioksiduulipäästöjä. Sen sijaan laboratorikokeissa on saatu viitteitä siitä, että rakeistetun tuhkan sisältämän suolat voivat vähentää typpioksiduulin muodostusta estämällä nitrifikaatioprosesseja. Turvemaidella tuhkalannoitus ei yleensä lisää hiilen varastoitumista maaperään. Biomassan tuotos ja karikesato kasvavat kuten kivennäismaillakin, mutta turvemaiden hiilivarastoa säätelee ensisijaisesti turpeen hajoaminen. Lannoitus voi kiihdyttää turpeen hajoamista kahdesta syystä: voimistunut puusto haihduttaa aiempaa enemmän vettä, mikä kuivattaa turvekerroksen aiempaa syvemmälle. Lannoituksen aiheuttama kivennäisravinteiden saatavuuden parantuminen ja pH:n nousu voivat myös suoraan kiihdyttää turpeen hajoamista.

Turvemaidella nykyisin yleisimmin käytettävä raetuhka on varsin turvallinen tuote vesistöjen kannalta. Tuhkan sisältämä fosfori on hidasliukoista ja rakeistus hidastaa myös muiden ravinteiden liukenemistä⁸⁵. Suometsien lannoituksessa huomiota tulisi kiinnittää lannoituksen hidasliukoisuuteen sekä tuhkan rakeistamisen vaikutuksiin.⁸⁶

Suosituksissa on kattavasti tietoa tuhkalannoituksen vaikutuksista ja sen toteutuksesta. Sertifikaattijärjestelmät vaativat vesiensuojelun huomioimista ja suojakaistojen käyttöä lannoituksen yhteydessä. MTK:n ja SLC:n maaperäohjelmassa todetaan, ettei tuhkalannoituksella ole todettu olevan mainittavia haitallisia ympäristövaikutuksia. Silti esimerkiksi lannoituksen vaikutukset maaperän monimuotoisuu-

⁸³ Lehto, T. & Ilvesniemi, H. (toim.) 2023. Metsänlannoitus nyt ja tulevaisuudessa :Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 56/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 146 s.

⁸⁴ Lehto, T. & Ilvesniemi, H. (toim.) 2023. Metsänlannoitus nyt ja tulevaisuudessa :Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 56/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 146 s.

⁸⁵ Lehto, T. & Ilvesniemi, H. (toim.) 2023. Metsänlannoitus nyt ja tulevaisuudessa :Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 56/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 146 s.

⁸⁶ Törmänen T. (toim.) 2020 Ilmastokestävä metsänhoito – taustaraportti metsänhoidon suositusten kehittämiseen. Tapion raportteja nro 44.

teen ja mikrobitoimintaan tulisi selvittää nykyistä kattavammin ja huomioitava myös pitkäaikaiset muutokset maaperän toiminnoissa. Voidaan myös todeta, että tuhkalannoituksen vaikutuksista maaperän hiilensidontaan ei vielä ole tarkkaa tietoa.

Maanmuokkaus

Eloperäisellä maalla metsikön maanmuokkaus ja kunnostusojitukset hajottavat pintakerroksien maainesta, ja hiilidioksidipäästöjä vapautuu ilmakehään. Kunnostusojituksilla metsämailla pyritään pitämään vedenpinnan taso riittävän alhaisena, jotta puut saavat riittävästi happea kasvaakseen. Hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi ojitetuissa suometsissä tulisi suosia jatkuvapeitteistä kasvatusta ja tuhkalannoitusta. Lisäksi heikkotuottoiset ojitetut suot tulisi jättää ennallistumaan.

Jos saman valuma-alueen sisällä tehdään muokkaustoimenpiteitä isolla osalla pinta-alasta, voi (hetkellinen) kuormitus kasvaa merkittäväksi. Huolellisella suunnittelulla voidaan kuitenkin ratkaisevasti vähentää kunnostusojituksista sekä maanmuokkauksista aiheutuvia vesistöhaittoja. Suunnittelun yhteydessä on tärkeää tunnistaa maastonkohdat, jotka ovat vesiensuojelun kannalta kriittisiä (erosioherkkiä)⁸⁷.

Suosituksien huomioivat turvemaiden maanmuokkauksen toteutuksen, vesiensuojelun ja eroosioriskin kattavasti uusien päivitysten myötä. Myös Metsähallituksen ympäristöopas käsittelee aihetta ja nostaa sertifikaattijärjestelmien ohella esille vesiensuojelun ja suojakaistojen tärkeyden.

Ennallistaminen

Soiden ennallistaminen nähdään yhtenä vaihtoehtoisena menetelmänä ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta ja sitä tulisi tarkastella myös jatkossa suosituksia uudistettaessa, kun aiheesta tulee uutta tietoa. Suosituksissa on päivitettyä tietoa soiden ennallistamisesta ja vaikutuksista turpeen hajoamiseen eri aikajäniteillä. Suosituksissa todetaan, että ennallistamisen kokonaisvaikutus on useimmissa tapauksissa lyhyellä aikajäniteellä ilmastoa lämmittävä, kun otetaan huomioon sekä maaperän kasvihuonekaasupäästöt että puuston hiilinielu. Pitkällä aikajäniteellä vaikutus kehittyy ilmastoa viilentäväksi erityisesti sellaisilla rehevillä soilla, joilla on paksu turvekerros.

Metsähallituksella on olemassa kattava ennallistamisopas, jota päivitetään vuoden 2023 aikana vastamaan ennallistamisen tämän päivän tietotasoa⁸⁸. Myös Metsähallituksen ympäristöopas huomioi ennallistamisen vaikutuksia. Ennallistetun alueen vesitalouden ja kasvillisuuden palautuessa suohon sitoutuu vedestä ravinteita ja kiintoainesta. Lisäksi ennallistettu alue voi tasata tulvahuippuja. Työkohteen ja sen valuma-alueen pinta-alasta ja eroosioalttiudesta riippuen ennallistaminen voi kuitenkin lisätä merkittävästi fosforin ja orgaanisen aineksen huuhtoutumista heti ennallistamisen jälkeisinä vuosina. Huuhtoutuminen tasaantuu ja voi laskea ojitusta matalammalle tasolle jo 5 vuotta ennallistamisen jälkeen⁸⁹. Sertifikaattijärjestelmät eivät huomioi ennallistamisen maaperävaikutuksia. PEFC sertifikaatissa todetaan, että puuntuotannollisesti vähätuottoiset ojitetut suot on jätettävä ennallistumaan⁹⁰.

Vesien palautus

Vedenpalautus suolle on toimenpide, jossa suohon rajautuvalta metsätalousalueelta ohjataan vettä suolle johdeojien avulla. Metsätalouden ojitukset ovat tavoitellun kuivatuksen lisäksi aiheuttaneet usein myös niihin rajautuvien ojitettavien suoalueiden osittaista kuivumista. Näiden kuivuneiden soiden tilaa voidaan parantaa ohjaamalla niille vettä.

⁸⁷ https://julkaisut.metsa.fi/assets/pdf/mt/MH_ymparistoopas.pdf. Viitattu 6.6.2023.

⁸⁸ Suullinen tiedonanto, Metsähallitus, joulukuu 2022.

⁸⁹ https://julkaisut.metsa.fi/assets/pdf/mt/MH_ymparistoopas.pdf. Viitattu 6.6.2023.

⁹⁰ <https://pefc.fi/pefc-standardin-keskeiset-muutokset/> viitattu 7.8.2023

Suosituksissa vesienpalautus on huomioitu hyvin ottaen huomioon tämän hetken tietotason aiheeseen liittyen ja vesienpalautuksen artikkeli huomioi vaikutuksia hillintään ja turpeen hajotukseen. Suosituk- sissa todetaan, että pitkällä aikavälillä veden palauttamisesta seuraava vedenpinnan nousu hillitsee il- mastonmuutosta, koska se vähentää turpeen hajoamista, turvaa turpeen hiilivaraston säilymistä ja mah- dollistaa turpeen muodostumista. Suo, jolle vettä palautetaan, voi rajautua heikkotuottoiseen metsäoji- tusalueeseen, jolloin metsänomistaja voi toimenpiteen yhteydessä päättää ennallistaa kyseisen metsän tai jättää sen ennallistumaan. Tämä lisää ilmastohyötyjä pitkällä aikavälillä, sillä metsäojitet- tujen soiden turpeen hiilivarasto on keskimäärin noin kymmenkertainen niiden puuston hiilivarastoon verrattuna. Metsähallituksen ennallistamisopasta uudistetaan vuoden 2023 aikana ja todennäköisesti siihen tullaan lisäämään päivitettyä tietoa vesienpalauttamisesta⁹¹. Sertifiointijärjestelmät eivät huomioi vesienpalau- tusta.

Suojavyöhykkeet

Vesistöjen ja pienvesien suojavyöhykkeet sitovat metsätaloustoimista ja metsän luonnollisista proses- seista johtuvaa ravinteiden ja kiintoaineiden huuhtoutumista.

Paikkatietojen kosteusindeksiteema ja pintavesien virtausmallikartta auttavat hahmottamaan suoja- vyöhykkeen riittävää leveyttä niin vesiensuojelun kuin monimuotoisuudenkin kannalta. Vaikka puusto- inen suojavyöhyke olisi kapeampi kuin 10 metriä, jätetään vesistön reunasta vähintään 10–30 metrin le- vyinen suojavyöhyke muokkaamatta.⁹²

Metsänhoidon suosituksissa on päivitetty suojavyöhykkeiden leveysvaatimukset, joilla turvataan mm. vesistöjen tilan heikentymistä. Myös Metsähallituksen ympäristöopas ja sertifikaatit huomioivat suoja- vyöhykkeiden leveydet ja niillä tehtävät toimenpiteet. Metsähallituksen ympäristöoppaan mukaan suo- javyöhykkeellä ei tehdä maanmuokkausta, lannoitusta, kantojen korjuuta, pensaskerroksen kasvillisuu- den raivausta tai kemiallista torjuntaa kasvinsuojelua-ineilla. Kantokäsittely on sallittu. Veteen päin voi- makkaasti kaltevilla uudistusaloilla ja hienojakoisilla maalajeilla (hieno hieta, hiesu, savi ja vastaavat mo- reenit) tarvitaan tasaisia ja karkeajakoisia maita leveämpi suojavyöhyke erityisesti pintavesien purkautu- miskohdissa. Ojien, tekolampien, kanavien sekä muiden vastaavien keinotekoisten vesialueiden varteen ei yleensä jätetä puustoista suojavyöhykettä.⁹³

PEFC sertifikaatin muutosten myötä avosoiden ja ennallistumaan jätettävien soiden reunaan jätetään vähintään 10 metriä leveä suojavyöhyke, jolla ovat sallittuja vain puustopeitteisyyden säilyttävät poimin- tahakkuut. Vesistöjen ja lähteiden varteen jätetään kiintoaine- ja ravinnekuormitusta sitova sekä varjo- tusta ja monimuotoisuutta turvaava suojavyöhyke, joka on leveydeltään keskimäärin vähintään 10 met- riä, mutta kaikkialla vähintään 5 metriä. Suojavyöhykkeellä saa tehdä vain poimintahakkuita, joissa säily- tetään erikokoista puustoa lehtipuustoa suosien. Aiemmin suojavyöhykkeen leveys avosoilla sekä vesis- töjen ja lähteiden varsilla oli 5-10 metriä, ja sillä edellytettiin peitteisyyttä vain pensaskerrosta ja pieni- kokoista puustoa koskien.⁹⁴

Suojavyöhykkeillä ei kuitenkaan täysin estetä metsänhoitotoimenpiteen vaikutuspiirissä olevan metsä- maan heikentymistä esimerkiksi eroosion kautta. Tutkimustulokset eivät anna tällä hetkellä yksiselit- teistä vastausta suojavyöhykkeen vähimmäisleveyteen koskien kaikkia metsätalouden piirissä olevia suojavyöhykkeitä hyödyntäviä tilanteita. Yleisesti voidaan todeta, että suojavyöhykkeiden leveyksiä olisi mahdollista kasvattaa ekologisesta näkökulmasta. Käsittelemätön suojavyöhyke kuitenkin vähentää

⁹¹ suullinen tiedonanto, Metsähallitus, joulukuu 2022.

⁹² https://julkaisut.metsa.fi/assets/pdf/mt/MH_ymparistoopas.pdf. Viitattu 7.8.2023.

⁹³ https://julkaisut.metsa.fi/assets/pdf/mt/MH_ymparistoopas.pdf. Viitattu 7.8.2023.

⁹⁴ <https://pefc.fi/pefc-standardin-keskeiset-muutokset/>. Viitattu 7.8.2023.

puuntuotantoon käytettävissä olevaa pinta-alaa ja korjattavan puuston määrää. Tämä vähentää puunmyyntituloja.

4 Yhteenveto

Tämän hetken tietotaso ei anna selkeää vastausta maaperän terveyteen ja elinvoimaisuuteen liittyvien toimintojen ja kynnsarvojen joustosta. Uutta tarkempaa maaperäaineistoa tarvitaan koko Suomen alueelta niin, että myös syvemmät maakerrokset ovat mukana aineistoissa. Maaperäaineiston maastokehuun rinnalla tulisi kehittää kaukokartoitusmenetelmiä, koska maastotyö on aikaa vievää. Menetelmäkehitystä on toteutettu esimerkiksi maa- ja metsätalousministeriön rahoittaman Hillestä kiinni –kokonaisuuden Maaperäpilotti-hankkeessa hyödyntäen kaukokartoitusta ja geofysiikan aineistojen mallinusta⁹⁵.

Maaperän muutoksien tutkiminen vaatii pitkäjänteisyyttä ja suunnitelmallisuutta, jotta tuloksia voidaan tulkita ja soveltaa käytännön metsänhoitoon. Uusien kokeiden suunnittelussa tulisi hyödyntää käytännön osaamista ja kuunnella käytännön toimijoiden tiedontarpeita. Samalla tulisi varmistaa, että koekäsitteilyt vastaavat meneillään olevia tai tulevaisuudessa tehtäviä metsänhoidon menetelmiä. Esimerkiksi osa lannoitustutkimuksista ja tieto lannoituksen ympäristöriskeistä ympäristölle perustuu suurelta osin kokeisiin, joissa lannoitteiden kokonaismäärät ovat olleet käytännön lannoitusmääriä suurempia. Tieto on siksi osin puutteellisempaa tavanomaisten typpimäärien suhteen. Pitkän ajan vaikutusten seuranta mahdollistaa yhä luotettavampia johtopäätökset muuttuvassa ilmastossa.

Suomessa metsänhoidon toimenpiteiden vaikutuksia maaperään on huomioitu metsälaisissa, metsänhoidon suosituksissa, metsäsertifikaattijärjestelmissä ja organisaatioiden ohjeistuksissa ennen kaikkea puuntuotannon ja puuston kasvun turvaamisen näkökulmasta. Tällöin on huomioitu mm. lannoituksen, maanmuokkauksen, ainespuun ja energiapuun korjuun ja turvemetsien ojitusten vaikutuksia metsämaan ravinnetilaa ja ravinnehuhtoumiin, tiivistymiseen, maastovaurioihin ja eroosioon. Yleisesti voidaan todeta, että vesiensuojelu korostuu suometsänhoidon vaatimuksissa, kun aiempaa leveämmillä, puustoisilla vesistöjen ja lähteiden suojakaistoilla pyritään vähentämään kiintoaine- ja ravinnekuormitusta.

Metsämaan tilan muutoksiin ja seurantaan tulee kiinnittää nykyistä enemmän huomiota. Siksi metsänhoidon toimenpiteiden vaikutukset maaperän monimuotoisuuteen eli biodiversiteettiin ja geodiversiteettiin tulisi huomioida entistä tarkemmin. Tarvitsemme esimerkiksi kivennäismaille sopivien hidasliukoisten typpilannoitteiden tutkimusta, joka ottaa huomioon vaikutukset maaperän biodiversiteettiin, aluskasvillisuuteen ja puuston sopeutumiskykyyn. Tässä tulisi myös huomioida metsän muut käsittelyt kuten typpilannoituksen vaikutukset typpipäästöihin metsissä, joissa on toteutettu pätehakkuu. Turvemaidella tarvitsemme tietoa etenkin jatkuvapeitteisen metsän lannoittamisesta. Metsien käytössä ja hoidossa tulisi miettiä rohkeasti myös vaihtoehtoisia tapoja tehdä hoitotoimenpiteitä ja turvata samalla puuston kasvua. Pohdinnoissa tulisi huomioida vaihtoehtoiset tavat lisätä ravinteiden määriä, kuten tarkastella bakteerien tuottamaa biologista typensidontaa, jota tapahtuu metsämaassa, lahoppuussa, hakkuutähteessä ja lepän juurinystryöissä.

Metsänhoidon suosituksissa maaperä huomioidaan enimmäkseen turvemaiden ojitusten ja metsänkasvun sekä uudistamistoimien kautta. Lisäksi maaperää huomioidaan luontokohteiden käsittelyohjeissa. Suosituksista löytyy esimerkiksi ohjeet maalajien tunnistamiseen, arvio metsätalouden toimenpiteiden riskeistä vesistökuormitukseen (kiintoaine + ravinnehuhtouma) ja kuinka valitaan oikea puulaji kasvupaikalle, jossa on tietty maalaji. Suosituksissa on kuitenkin kuvallista materiaalia niukalta ja havainnollis-tavat videot sekä grafiikat puuttuvat maaperätiedon osalta. Metsänhoidon toimenpiteiden vaikutuksia

⁹⁵ <https://mmm.fi/-/maaperapilotti>. Viitattu 25.8.2023.

maaperään on kuvattu jossain määrin hiilen osalta, koska suositusten päivittäisessä tarkastelussa on tarkasteltu ilmastomuutoksen hillintää (koko metsän hiilinielua ja -varastoa sekä metsänhoidon toimenpiteiden vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin).

Metsänhoidon suosituksiin tulisi kuvata metsänhoidon toimenpiteiden vaikutukset metsämaahan omassa tiiviissä artikkelissaan. Tämä artikkeli kuvaisi ns. metsämaan hoitoa ja sisältäisi perustietoa ja valokuvia maaperän hoidosta ja toimista kasvukunnon parantamiseen. Suosituksissa tulisi olla havainnollistava video/graafi suomalaisen metsämaan rakenteesta ja havainnollistava kuvavertailu erilaisista maannostyypeistä sekä niihin yksinkertaista selitystä erilaisista maannoksista. Lisäksi suosituksissa tulisi olla opastusta siihen, kuinka metsämaata tulee havainnoida tehtäessä metsänhoidollisia päätöksiä, kun metsämaa halutaan huomioida päätöksenteossa. Esimerkkinä metsämaan hiilivarasto ja opastus missä kaikkialla hiiltä on metsämaassa, millaisessa muodossa se siellä on ja kuinka metsänhoito vaikuttaa maaperän hiilivarastoon. Perustiedon lisäksi suosituksissa tulisi olla tiivis aineisto tarkentamaan, miten maaperä vaikuttaa eri puulajien ravinteiden saantiin ja vesitalouteen ja miten metsänomistaja voi niihin vaikuttaa omilla päätöksillään. Lisäksi maanmuokkausosioon tulisi täsmentää kuvamateriaalein ja videoin esimerkkejä kuinka syvältä maata kannattaa muokata erilaisilla kasvupaikoilla. Lannoitusosioon olisi hyödyllistä saada tarkennusta lannoitevasteesta erilaisilla kasvupaikoilla. Lisäksi suosituksissa tulisi olla selkeästi tietoa metsämaan biodiversiteetin ja geodiversiteetin turvaamisesta ja toisaalta näiden kahden välisestä yhteydestä ja tärkeydestä sellaisella tasolla, että metsänomistaja voi ottaa ne huomioon päätöksiä tehdessään.

Metsähallituksen ympäristöopas huomioi metsänhoidon toimenpiteiden vaikutukset ja riskit metsämaahan melko hyvin. Kokonaisuudessaan sisältö on samantapaista metsänhoidon suositusten kanssa, mutta ympäristöopas ei huomioi suositusten uusimpia päivityksiä eikä kuvaukset ole yhtä laajoja kuin suosituksissa.

PEFC- ja FSC sertifikaattijärjestelmissä huomioidaan puuntuotanto, monimuotoisuuden turvaaminen, vesiensuojelu ja ilmastovaikutukset suometsien hoitoa koskevassa maanmuokkaus-, ojitus-, ja hakkuumenetelmien ohjeistuksessa. Metsämaa-asioita ei huomioida omana osuutenaan, mutta joidenkin kriteereiden, kuten sekapuustoisuuden suosimisen ja suojakaistojen käytön (vaikutukset ensisijaisesti vesiensuojeluun) kautta saadaan oletettuja positiivisia vaikutuksia myös metsämaahan. PEFC järjestelmässä on määritetty raja-arvot ajourapainauksille.

5 Liitteet

Liite 1.

Toimenpide	Vaikutus metsämaahan, lyhyt aikajänne	Vaikutus metsämaahan, pitkä aikajänne	Huomioita vaikutuksen kestosta	Kehitystarpeet Suomessa
Maanmuokkaus/metsän uudistaminen	<p>Muokkaus aiheuttaa suuremmat hiilidioksidipäästöt äestyspalteessa ja mättäässä kuin muokkaamattomassa maassa 1–2 vuotta maanmuokkauksen jälkeen. Joillakin kohteilla tilanne voi olla päinvastainen, koska muokkauksen on todettu myös vähentävän päästöjä lievästi kahtena ensimmäisenä vuotena muokkauksen jälkeen. Paljastuneesta kivennäismaasta hiilidioksidipäästöt ovat olleet alhaisia. Muokkausjäljen sisällä olevan karikkeen hajoaminen nopeutuu, mutta muokkauksella ei ole havaittu olevan suurta vaikutusta humuskerroksen hiileen. Humuskerroksen 'vanhaa' hiiltä voidaan mineralisoida ensimmäisinä vuosina jopa nopeammin muokkaamattoman maan humuskerroksessa kuin laikkumättään kaksinkertaisessa humuskerroksessa. Kokonaisuudessaan vaikutus on usein lievä ja sitä säätelevät maan kosteusolot ja tuoreen, helposti hajotettavan kasviaineksen määrä. Muokkuskoneen rikkoma karike ja hakkuutähde hajoaa nopeammin. Muokkaus ei yleisesti lisää metaanipäästöjä, mutta se saattaa muuttaa edellytyksiä metaanin tuottoon ja kulutukseen turvamailla, jossa vaikutus riippuu erityisesti pohjaveden pinnan korkeudesta ja kasvupaikasta. Typpikaasupäästöt pieniä. Maanmuokkaus voi heikentää maaperän rakennetta etenkin kivennäismailla ja lisätä eroosioriskiä kivennäis- ja turvemailla.</p>	<p>Pidemmällä aikajaksolla mahdolliset alkuaikojen hiilihäviöt häviävät. Koneellinen maanmuokkaus ei vähennä koko metsäekosysteemin hiilivarastoa, vaan se voi jopa lisätä sitä, kun huomioidaan myös puuston lisääntynyt kasvu pidemmällä aikavälillä. 25 vuoden kuluttua äestyksestä, mätästyksestä ja syväaurauksesta kolmessa havupuumetsikössä muokkaus ei ole vaikuttanut maan hiilivarastoon maaprofiiliin ylimmässä 30 cm:ssä. Maanmuokkaus voi heikentää maaperän rakennetta ja lisätä eroosioriskiä. Liian voimakkaasti tehdyn muokkauksen jäljet näkyvät maastossa pitkään ja metsämaan rakenteen palautuminen vie oletettavasti pitkään.</p>	<p>Kivennäismailla vaikutus on lyhyt, usein alle 10 vuotta.</p>	<p>Laadukkaan työn varmistaminen, oikean menetelmän valinta kasvupaikan ja maaperän ominaisuuksien mukaan. Eroosioherkkien kohteiden tunnistaminen. Vahvempi kannustaminen turvamaiden jatkuvaan kasvatukseen, jolloin maanmuokkaustarve vähenisi ja samalla tulisi postiviisia vaikutuksia kasvuhuonekaasu- ja kiintoainespäästöihin. Koska jatkuva kasvatusta lisää ajokertoja, niin erityistä huomiota tulisi kiinnittää maastovaurioiden syntymiseen ja uskallukseen jättää korjuu kesken, mikäli korjuuolot sen vaativat. Tieto maanmuokkauksen vaikutuksista metsämaan rakenteeseen on puutteellista.</p>

Lannoitus kivennäismaa	<p>Puuston kasvun ja hiilinielun lisääntyessä myös maaperän hiilinielu lisääntyy kariketuotannon kautta. Voi vähentää hiilen mineralisaatiota. Typpilannoitus lisää hiilen sitoutumista metsämaahan, kasvattaa biomassan tuotota ja karikesatoa, joten orgaanista ainetta tulee maahan enemmän. Typpilannoituksen on havaittu hidastavan hiilen mineralisaatiota (vaikutus pitkäkestoinen). Ligniiniipitoisen havupuukarikkeen hajoamisen on havaittu hidastuvan, kun sen typpipitoisuus nousee. Ei merkittävää vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin. Toistuvakaan typpi/tuhkalannoitus kangasmetsässä ei yleisesti kasvata N2O-päästöjä, mutta asiasta on tutkimuksen puute. Typpilannoituksessa lisätystä tpestä muuttuu typpioksiduuliksi metsämailla useimmiten vain 0,5–1 %. Metaanin osalta ei vahvaa tutkimusta. Voimakaskaan typen lisäys ja metsämaan käsittely eivät välttämättä vaikuta pitkäaikaisesti metaanin hapetukseen alueilla, joissa typpilaskeuma on alhainen. Kivennäismailla lannoituksen vaikutus on noin 10 vuotta.</p>	<p>Puuston kasvun ja hiilinielun lisääntyessä myös maaperän hiilinielu lisääntyy kariketuotannon kautta. Voi vähentää hiilen mineralisaatiota. Typpilannoitus lisää hiilen sitoutumista metsämaahan, kasvattaa biomassan tuotota ja karikesatoa, joten orgaanista ainetta tulee maahan enemmän. Typpilannoituksen on havaittu hidastavan hiilen mineralisaatiota (vaikutus pitkäkestoinen). Ligniiniipitoisen havupuukarikkeen hajoamisen on havaittu hidastuvan, kun sen typpipitoisuus nousee. Ei merkittävää vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin. Toistuvakaan typpi/tuhkalannoitus kangasmetsässä ei yleisesti kasvata N2O-päästöjä, mutta asiasta on tutkimuksen puute. Typpilannoituksessa lisätystä tpestä muuttuu typpioksiduuliksi metsämailla useimmiten vain 0,5–1 %. Metaanin osalta ei vahvaa tutkimusta. Voimakaskaan typen lisäys ja metsämaan käsittely eivät välttämättä vaikuta pitkäaikaisesti metaanin hapetukseen alueilla, joissa typpilaskeuma on alhainen. Kivennäismailla lannoituksen vaikutus on noin 10 vuotta.</p>	<p>Pitkäaikaisvaikutuksista erityisesti metsämaan biodiversiteettiin tarvitaan lisää tietoa.</p>	<p>Ympäristöriskien tarkempi kartoittaminen suhteessa lannoituksesta saatuun kasvun lisäämiseen, vaihtoehtoisten lannoitusmenetelmien hyväksyminen ja suosiminen, vaikutukset maaperän biodiversiteettiin ja kasvihuonekaasupäästöihin</p>
Lannoitus turvemaa	<p>Turvemaiilla puuston kasvunlisäyksestä johtuva hiilinielu on etenkin lyhyellä aikajänteellä suurempi kuin turpeen hajoamisen kiihtymisestä aiheutuva maaperän hiilivaraston pieneneminen (lannoitus puutuhkalla tai PK-lannoitteella)</p>	<p>Pitkällä aikajänteellä maaperän hiilivaraston pieneneminen voi olla suurta, koska se jää ojitetulla suolla pysyväksi. Jos turvetta hajoaa paksu kerros, hiiltä vapautuu moninkertaisesti enemmän kuin puustossa voi olla varastoituneena.</p>	<p>Yleisesti lannoituksen ole havaittu aiheuttavan typpioksiduulipäästöjä. Myöskään metaanipäästöt eivät lisäänty. Sen sijaan turpeen hajoamisesta aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen on havaittu yleensä lisääntyvän.</p>	<p>Ympäristöriskien tarkempi kartoittaminen suhteessa lannoituksesta saatuun kasvun lisäämiseen, vaihtoehtoisten lannoitusmenetelmien hyväksyminen ja suosiminen, vaikutukset maaperän biodiversiteettiin ja kasvihuonekaasupäästöihin</p>
Sekametsän kasvatus	<p>Puulajien välillä on eroja esimerkiksi vuotuisen karikkeen ja sen hajoamisnopeuden määrässä. Tämä voi myös vaikuttaa maaperän mikrobiston toimintaan. Lehtipuut voivat vaikuttaa maaperän hiilivarastojen pysyvyyteen. Lehtipuut tunnetusti parantavat metsämaan ominaisuuksia ja nostavat mm. maan pH:ta.</p>	<p>Puulajien välillä on eroja esimerkiksi vuotuisen karikkeen ja sen hajoamisnopeuden määrässä. Tämä voi myös vaikuttaa maaperän mikrobiston toimintaan. Lehtipuut voivat vaikuttaa maaperän hiilivarastojen pysyvyyteen. Lehtipuut tunnetusti parantavat metsämaan ominaisuuksia ja nostavat mm. maan pH:ta.</p>	<p>Ei tiedetä tarkkoja maaperävaikutuksia ja vaikutuksen tarkkaa kestoa</p>	<p>Sekapuustoisuuden vaikutukset metsämaan hiilenkiertoon ja biodiversiteettiin. Tulisi lisätä tietoa jatkuvapeliteisen sekapuustoisuuden ylläpitämisestä etenkin turvemaiilla ja sen vaikutuksista metsämaahan.</p>
Energiapuun korjuu	<p>Korjuu vähentää orgaanisen aineen määrää. Kantojen korjuu voi lisätä orgaanisen aineen hajotusta. Hakkuutähteen korjuu voi pienentää hiilen mineralisaatiota. Hakkuutähteen korjuu vähentää N2O päästöjä, mutta vaikutus on pieni. Metaanin osalta ei oletettavasti vaikutusta kivennäismailla. Korjuu voi heikentää maaperän rakennetta etenkin turvemaiilla, mutta tiivistymistä voi tapahtua myös kivennäismailla. Painaumat voivat lisätä ravinteiden ja kiintoaineksen huuhtoutumista. Haittoja voidaan ehkäistä korjuun suunnittelulla ja hakkuutähteen puimisella ajourille, jolloin maan leikkauspinta pienenee.</p>	<p>Korjuu vähentää orgaanisen aineen määrää. Kantojen korjuu voi lisätä orgaanisen aineen hajotusta. Hakkuutähteen korjuu voi pienentää hiilen mineralisaatiota. Hakkuutähteen korjuu vähentää N2O päästöjä, mutta vaikutus on pieni. Metaanin osalta ei oletettavasti vaikutusta kivennäismailla. Korjuu voi heikentää maaperän rakennetta etenkin turvemaiilla, mutta tiivistymistä voi tapahtua myös kivennäismailla. Painaumat voivat lisätä ravinteiden ja kiintoaineksen huuhtoutumista. Haittoja voidaan ehkäistä korjuun suunnittelulla ja hakkuutähteen puimisella ajourille, jolloin maan leikkauspinta pienenee.</p>	<p>Pitkäaikaisia tutkimustuloksia on hyvin vähän. Oletettavasti vaikutukset maaperän kasvihuonekaasupäästöihin ovat lyhytaikaisia, alle 10 vuotta. Maaperän rakenteen muutokset ovat pitkäaikaisia.</p>	<p>Korjattavan hakkuutähteen määrä erilaisilla kasvupaikoilla niin, ettei vaaranneta metsämaan ravinnetilaa. Tutkimustietoa siitä, mihin 30 % jätettävän hakkuutähteen määrä perustuu. Kantojen korjuun tarpeellisuutta tulisi mieltää tarkemmin tai se tulisi jopa kieltää sertifiointijärjestelmissä ja organisaatioiden ohjeistuksissa, koska se vähentää maaperän hiilivarastoa ja aiheuttaa merkittävää haittaa metsämaan rakenteelle. Energiapuun korjuu lisää ajokertoja metsässä ja aiheuttaa myös siten metsämaan rakenteen heikkenemistä.</p>

Kiertojen pidentäminen	Kasvattaa oletettavasti metsämaan hiilinielua ja hiilivarastoa. Ei oletettavasti vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin.	Kasvattaa oletettavasti metsämaan hiilinielua ja hiilivarastoa. Ei oletettavasti vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin.	Todennäköisesti kasvattaa maaperän hiilivarastoja, tuloksissa vielä epävarmuutta.	Vaikutukset maaperän hiilen määrään eri maakerroksissa lyhyellä ja pitkällä aikavälillä.
Metsän suojeleminen	Ei hiilinielua vähentäviä toimenpiteitä (mm. maanmuokkaus, avohakkuu). Ei varastoa pienentäviä toimenpiteitä. Erot pieniä verrattuna talousmetsään. Kivennäismailla ei merkittävää vaikutusta kasvihuonekaasuihin. Suomensissä tilanteeseen vaikuttaa mm. vesitalous.	Ei hiilinielua vähentäviä toimenpiteitä. Ei varastoa pienentäviä toimenpiteitä. Erot pieniä verrattuna talousmetsään. Kivennäismailla ei merkittävää vaikutusta kasvihuonekaasuihin. Suomensissä tilanteeseen vaikuttaa mm. vesitalous.	Todennäköisesti kasvattaa maaperän hiilivarastoja, tuloksissa vielä epävarmuutta.	Vaikutukset maaperän hiilen määrään eri maakerroksissa lyhyellä ja pitkällä aikavälillä.
Soiden ennallistaminen	Ennallistamisen kokonaisvaikutus on useimmissa tapauksissa lyhyellä aikajänteellä ilmastoa lämmittävä, kun otetaan huomioon sekä maaperän kasvihuonekaasupäästöt että puuston hiilinielu.	Pitkällä aikajänteellä vaikutus kehittyä ilmastoa viilentäväksi erityisesti sellaisilla rehevillä soilla, joilla on paksu turvekerros.	Pitkällä aikavälillä positiiviset vaikutukset, tutkimustiedoissa vielä puutteita.	Vaikutukset turpeen hajoamiseen, hiilen ja muiden kasvihuonekaasujen määrään erilaisilla kasvupaikoilla lyhyellä ja pitkällä aikavälillä.
Talousmetsien luonnonhoito	Luonnonhoidon osalta paahdeympäristöjen hoito, jossa kuoritaan kunttaa, paljastetaan kivennäismaata sekä kulotetaan hakkuutähteet ja kunnta, vaikuttaa maaperän hiilen määrän sen ylimmissä kerroksissa. Vaikutuksia on oletettavasti myös metsämaan biodiversiteettiin.	Luonnonhoidon osalta paahdeympäristöjen hoito, jossa kuoritaan kunttaa, paljastetaan kivennäismaata sekä kulotetaan hakkuutähteet ja kunnta, vaikuttaa maaperän hiilen määrän sen ylimmissä kerroksissa. Vaikutuksia on oletettavasti myös metsämaan biodiversiteettiin.	Ei tiedetä tarkkoja vaikutuksia ja vaikutuksen tarkkaa kestoa	Vaikutukset maaperän hiilen määrään ja maaperän biodiversiteettiin eri aikaväleillä. Selkeämmin esille kuolleeseen puun säästäminen ja lehti-puusekoituksen ylläpitäminen, jotka vaikuttavat erityisesti ravinteiden kierron kautta maaperään.
Kulutus	Kulotuksessa vapautuu ravinteita puiden käyttöön ja maaperän happamuus vähenee. Toimenpide vähentää orgaanisen kerroksen hiilen määrää.	Kulotuksessa vapautuu ravinteita puiden käyttöön ja maaperän happamuus vähenee. Toimenpide vähentää orgaanisen kerroksen hiilen määrää.	Ei tiedetä tarkkoja vaikutuksia ja vaikutuksen tarkkaa kestoa	Tarkemmat maaperävaikutusten kuvaukset: maaperän hiili, kasvihuonekaasupäästöt, happamuus, ravinnevaikutukset
Ojitus	Puuston vahvistuva hiilinielu voi lähivuosikymmenten aikana ojituksen jälkeen korvata turpeen lisääntyvän hajotuksen aiheuttamia päästöjä. Turvemaihin liittyy paljon hiiltä vapauttavien turvepalojen riski erityisesti ojitetuilla soilla. Aiheuttaa vesistö-päästöjä (kiintoaines + ravinne-päästöt), etenkin jos ei huolehdita tarpeellisesta vesiensuojelun toimenpiteistä. Aiheuttaa muutoksia turpeen rakenteessa tiivistäen sitä.	Pitkällä aikavälillä turpeen hajoamisesta voi aiheutua huomattavasti enemmän päästöjä, kuin puuston ja puutuotteiden hiilivarasto voi sitoa ilmakehästä. Rehevien soiden kuivattaminen lämmittää pitkällä aikavälillä ilmastoa, kun kasvupaikan turvekerros ohenee. Myös puuston haihdunta voi ylläpitää kuivatusta ilman oijen kunnostusta, jolloin turvekerros myös ohenee. Turvemaihin liittyy paljon hiiltä vapauttavien turvepalojen riski erityisesti ojitetuilla soilla. Aiheuttaa vesistö-päästöjä (kiintoaines + ravinne-päästöt), etenkin jos ei huolehdita tarpeellisesta vesiensuojelun toimenpiteistä. Aiheuttaa muutoksia turpeen rakenteessa tiivistäen sitä.		Organisaatioiden ohjeistuksissa tulisi ottaa huomioon kantaa ojituksen tarpeellisuuteen ja havainnollistaa ojituksen mahdollisesti syntyvien vesiensuojeluriskien haittavaikutuksia selkein viestinnällisin keinoin kuten kuvien ja videoiden avulla. Etenkin luonnontilaisten soiden ojitus tulisi kieltää lain avulla. Sertifikaattijärjestelmien muutokset eivät ole täysin riittäviä luonnontilaisten soiden ojituksen lopettamiseen. Suomensien osalta korostuu tarve löytää soiden ojituksen rinnalle korvaavia vaihtoehtoja. Potentiaalisina korvaavina menetelminä nähdään aikaisempaa voimakkaammin jatkuvan kasvatuksen sekä luontaisen uudistamisen lisääminen suomensissä. Suomensien jatkuvana kasvatukseen siirtäessä tulee huomioida hyödyt ja riskit ja tarkastella mm. kohteen ilmastollisia oloja, tuhoriskien mahdollisuuksia, kasvupaikan ominaisuuksia ja olemassa oleva puustoa. Erityisesti tuleva ilmastomuutos ja turvepalojen riskit tulisi huomioida entistä tarkemmin.