



Hiilensidonta ja luonnon
monimuotoisuus maa-
ainesalueiden jälkihoi-
dossa

SANNI RAUHALA

RUDUS OY



Hiilensidonta ja luonnon monimuotoisuus maa-ainesalueiden jälkihoidossa

Selvitys

Rudus Oy
Sanni Rauhala
2021

Kannen kuva: Sanni Rauhala



ESIPUHE

Tämä selvitys on tehty Rudus Oy:lle. Ilmastokriisin sekä luonnon monimuotoisuuskadon ratkaiseminen vaatii toimia eri sektoreilla ja toimialoilla. Rudus ympäristövastuullisena toimijana haluaa yhä vahvemmin lisätä luonnon monimuotoisuutta sekä hiilensidontaa alueillaan. Alustavana selvityksenä tämä työ osoittaa tarpeen jatkotutkimukselle.

Selvitystyön ohjauksesta on vastannut selvitystyötä varten perustettu ohjausryhmä. Selvitystyötä ovat ohjanneet Ruduksen ympäristötiimistä ympäristöasiantuntija Heli Kanto sekä ympäristöpäällikkö Terhi Rauhamäki, Rudus Oy:n laatu- ja kehitysjohtaja Mika Tulimaa, Itä-Suomen yliopiston ekologisen ympäristötieteen professori Marja Maljanen sekä Villi Vyöhyke ry:n puheenjohtaja Jere Nieminen. Selvitystyön rahoittaja on Rudus Oy. Selvitys on osa opinnäytetyötäni.

Kulunut kesä 2021 selvitystyön parissa on ollut todella mielenkiintoinen ja antoisa. Suuri kiitos ohjausryhmän asiantuntijoille laadukkaasta ohjauksesta sekä ajatuksia herättäneistä keskusteluista. Palaveriessamme käytyt keskustelut viitoittivat tietä kohti kestävämpää tulevaisuutta. Haluan kiittää myös Suomen ympäristökeskuksen vanhemmaa tutkijaa Terhi Rytteriä haastattelusta, oli ilo jakaa ajatuksia kanssasi ja oppia lisää paahdealueiden ekologiasta.

Kuopiossa aurinkoisena syyspäivänä 24.9.2021

Sanni Rauhala



ESIPUHE

SISÄLLYS

ESIPUHE	2
1. JOHDANTO	4
2. ILMASTONMUUTOS JA KIVIAINESALUEET	5
2.1 Maa-ainesten ottoalueet ilmastonmuutoksen hillinnässä	5
2.2.1. Maaperän ominaisuudet vaikuttavat hiilen sitoutumiseen	7
2.2.2. Soranottoalueet heijastavat säteilyä	10
2.2.3. Lahopuilla voidaan parantaa alueen monimuotoisuutta sekä kasvattaa hiilinielua	10
2.3 Maa-ainestenottoalueet ilmastonmuutokseen sopeutumisessa	11
4. HIILTÄ VOIDAAN AKTIIVISESTI SITOA MAAPERÄÄN SORANOTTOALUEILLA	12
4.1 Soranottoalueiden paahdeympäristöt hiilinieluna	12
4.2 Paahdeympäristön kasvit hiilensitojina	13
4.3. Muita keinoja lisätä hiilensidontaa soranottoalueilla	20
5. VOISIKO KOSTEIKOISSA OLLA POTENTIAALIA LOUHOSALUEIDEN HIILINIELUINA?21	
5.1. Kosteikot ovat monimuotoisia elinympäristöjä	21
5.2. Rakennettu kosteikko hiilinieluna	22
6. KOKEELLINEN OSIO	23
6.1 Aineisto ja menetelmät	23
6.2 Tulokset	24
6.3 Tulosten tarkastelu	26
7. POHDINTAA	26
8. YHTEENVETO	28
LÄHTEET	30
SANASTO	35
Liite 1	36



1. JOHDANTO

Maa-ainesten ottoalueet ovat potentiaalisia alueita ratkaista avointen alueiden ja luonnon monimuotoisuuden katoa sekä hiilensitoutumisen haasteita. Ilmastonmuutos globaalina uhkana vaikuttaa osaltaan avointen alueiden katoamiseen, mutta paahderinteiden, ruderaattialueiden ja harjujen suojelulla voidaan myös hillitä ilmastonmuutosta sekä sopeutua siihen. Avoimet alueet sekä paahdeympäristöt ovat Suomessa merkittävästi vähentyneet, ja myös kallioilla elää useita uhanalaisia lajeja. (Kontula & Raunio 2018; IPCC 2019) Kiviaineksen tuottaminen on yhteiskunnan toimivuuden sekä infrastruktuurin ylläpidon ja kehittämisen kannalta välttämätöntä, joten selvitys on tarpeellinen.

Tämän selvityksen tavoitteena on tuottaa Rudus Oy:lle alustava selvitys keinoista, joilla soranottoalueiden maisemoinnissa voidaan lisätä aktiivisesti hiilensidontaa yhdessä luonnon monimuotoisuuden edistämistavoitteen kanssa. Ruduksen ympäristövastuuseen kuuluu keskeisenä toimintatapana LUMO-ohjelma, jonka tavoitteena on, että maa-ainesten ottoalueilla alueen luonto olisi monimuotoisempi toiminnan päättyessä kuin sen alkaessa (Rudus Oy n.d.). Selvitys on toteutettu pääosin kirjallisuuskatsauksena, mutta lähteenä on käytetty myös keskustelua Suomen Ympäristökeskuksen vanhemman tutkijan Terhi Rytjärin kanssa. Opinnäytetyöhöni kuuluu myös kokeellinen osio, ja tässä selvityksessä on esitelty alustavia tuloksia. Kyseessä on alustava selvitys, joka toimii pohjana myöhemmin tehtävälle laajemmalle selvitystyölle.

Tämän raportin tarkempina tavoitteina on selvittää,

- voivatko jälkihoidetut soramontut ja kalliolouhokset toimia hiilinieluina ja -varastoina,
- miten eri keinojen (kasvillisuus, lahopuut) avulla kiviainesalueiden maisemoinnissa voidaan aktiivisesti edistää hiilen sitoutumista, sekä
- minkälainen rooli maa-ainesten ottopaikkojen jälkihoidolla ja maisemoinnilla on ilmastonmuutokseen sopeutumisessa.

Ilmastonmuutoksen hillinnän keskiössä ovat toimet globaalin lämpötilannousun rajaamiseksi 1,5 asteeseen, mikä on kirjattu Pariisin ilmastopöytäkirjaan. Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen ja toisaalta hiilen poistaminen ilmakehästä hillitsevät lämpötilannousua. Soranottoalueilla ja kalliolouhoksilla voidaan hillitä ilmastonmuutosta tunnistamalla ja toteuttamalla keinoja, joilla voidaan poistaa ilmakehästä hiiltä ja sitoa sitä maaperän pitkäaikaisiin varastoihin. (IPCC 2019) Ilmastonmuutokseen sopeutumisessa puolestaan pyritään vähentämään ekosysteemien haavoittuvuutta suojelemalla lajeja ja elinympäristöjä (MMM n.d.).

Tässä selvityksessä tarkastellaan maa-ainesten ottoalueita ilmastonmuutoksen hillinnässä ja siihen sopeutumisessa. Selvityksessä tarkastellaan soranottoalueilla kasvillisuuden sekä lahopuun potentiaalia hiilinieluina. Raportti tuo esille keinoja soranotto-
paikkojen muuttamiseen hiilinieluiksi ja hiilivarastoiksi LUMO-ohjelman tavoitteet huomioiden. Selvityksessä lähestytään asiaa ennen kaikkea kasvillisuuden näkökulmasta, eli annetaan esimerkkejä siitä, minkälaisen kasvillisuuden avulla voidaan maa-ainesten ottoalueista maisemoida monimuotoisia, hiiltä tehokkaasti sitovia elinympäristöjä. Selvityksessä pohditaan myös kosteikkojen potentiaalia hiilensidonnasta.



Selvityksessä on myös alustavasti esitelty kokeellisen osion tuloksia. Lopussa on yhteenveto keskeisimmistä tuloksista.

Suomessa ei ole aiempaa esimerkkiä hiilensidonnan huomioimisesta maa-ainesten ottoalueiden maisemoinnissa ja jälkihoidossa, ja maailmalta dokumentoitua tutkimustietoa aiheesta löytyy erittäin vähän. Käsillä olevan ilmastokriisin myötä tutkimukselle on todellinen tarve. Rudus Oy toimii siten edelläkävijänä selvittäessään maa-ainesten ottoalueiden potentiaalia toimia hiilinieluinä ja -varastoina.

2. ILMASTONMUUTOS JA KIVIAINESALUEET

2.1 Maa-ainesten ottoalueet ilmastonmuutoksen hillinnässä

Ilmastonmuutoskeskustelussa on noussut yhä enemmän ajatus hiilinielujen kasvattamisesta päästöjen leikkaamisen ohella. Maa-ainesten ottopaikkojen maisemoinnin rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä perustuu ennen kaikkea hiilensidonnan lisäämiseen kasvillisuuden avulla. Kun kasvillisuus poistaa ilmakehästä hiiltä, ilmakehää lämmittävää hiilidioksidia on vähemmän. Soranottoalueita on tavallisesti perustettu harjualueille, jolloin hiiltä sitovaa pintamaata ja metsäkasvillisuutta sekä puustoa on poistettu toiminnan tieltä. Puuston ja aluskasvillisuuden poistaminen alueelta paitsi poistaa hiilinielut, myös aiheuttaa hiilitaseen näkökulmasta hiilen vapautumista. Hiilensidonta on vain yksi osa hiilen kiertoa ja hiilitaseen määrittäminen antaa kokonaiskuvan alueen ilmastovaiikutuksista. (IPCC 2019; Lorenz & Lal 2009)

Maa-ainesten ottoalueiden maisemoinneissa ja jälkihoidossa onkin jo tunnustettu tarve - sekä tehty toimenpiteitä - avointen alueiden säilyttämiseksi. Vuonna 2020 julkaistu ympäristöministeriön opas *Maa-ainesten ottaminen - opas ainesten kestävään käyttöön* esittelee keinoja luonnon monimuotoisuuden huomioimisesta jälkihoitosuunnitelmaa tehtäessä. Soranottoalueiden ja kallioulouhosten maisemoinnissa ja jälkihoidossa ei ole kuitenkaan aiemmin aktiivisesti pyritty lisäämään hiilen sitoutumista yhdessä avointen alueiden suojelutavoitteen kanssa. Soranottoalueilla metsittäminen on tavanomaisin käytäntö maisemoinnissa, millä pyritään tekemään alueesta maa-ainesten ottotoiminnan jälkeen vielä taloudellisesti tuottoisa. (Ympäristöministeriö 2020) Metsittämisen tavoitteet voivat olla kuitenkin ristiriidassa avoimilla alueilla luonnon monimuotoisuuden edistämistavoitteen kanssa (Pekkonen ym. 2020).

Soranottoalueiden jälkihoidon intressit ovat tavanomaisesti olleet siis metsittämisessä ja puuston mahdollisimman nopeassa ja tehokkaassa kasvussa. Luonnon monimuotoisuuden edistämistavoitteen kannalta pelkkä metsittäminen ei ole kuitenkaan välttämättä kestävin ratkaisu, vaan jälkihoitosuunnitelmissa voitaisiin hakea yhteistä ratkaisua liittyen kysymyksiin hiilen aktiiviseen poistamiseen ilmakehästä, hiilen pitkäaikaiseen varastoitumiseen sekä avointen alueiden suojeluun. Sora-alueet voivat olla pintaaloiltaan hyvinkin laajoja alueita, jolloin on järkevää ottaa alueen erilaiset ominaisuudet huomioon sekä valita maisemoinnissa käytettävä kasvillisuus alueen erilaisten kasvuolosuhteiden mukaan. Tässä selvityksessä tullaan myöhemmin tarkastelemaan erilaiset kasvuolosuhteet huomioivaa maisemointia sekä paahdeympäristöissä suosittavia kasveja, joita voidaan hyödyntää soranottoalueiden maisemoinnissa.





Kuva 1. Maisemoidun paahderinteen kasvillisuutta Noron soranottoalueella Kuopion Maaningalla. Kuva: Sanni Rauhala.

Maa-ainestenottolupien lukumäärä antaa viitteitä siitä, minkälaisesta kiviaineksen tuotantokapasiteetista Suomessa puhutaan, sekä siitä, mikä merkitys näiden alueiden jälkihoidolla on. Suomessa on tällä hetkellä noin 5000 voimassa olevaa maa-ainestenottolupaa. Luvat mahdollistavat noin 1000 miljoonan kiintokuution ottamisen (Ympäristöministeriö 2020). Vuonna 2020 myönnettiin 252 soralupaa, jotka mahdollistavat 32 210 200 kiintokuutiometrin ottamisen. Kalliolupia myönnettiin puolestaan 194, jotka mahdollistavat 63 050 300 kiintokuutiometrin ottamisen (SYKE 2021). Pelkästään Ruduksella on noin 1000 hehtaaria maa-ainosalueita. Yksittäisten maa-ainosalueiden pinta-ala vaihtelee alle hehtaarista useaan kymmeneen hehtaariin.

Suhteutettuna Suomen kokonaismaapinta-alaan (303 935 km²) (Tilastokeskus 2021), maa-ainosalueiden pinta-ala on melko pieni. Kun ottaa huomioon maa-ainosalueiden määrän, uusia elinympäristöjä, kuten avoimia alueita syntyy kuitenkin huomattavasti.



Lisäksi avointen alueiden verkko auttaa paahdelajeja leviämään soranottoalueelta toiselle. Suuremmilla maa-ainesalueilla voisi olla enemmän potentiaalia alueen jakamiseksi erilaisten kasvuolosuhteiden mukaisesti. Suurilla ottoalueilla voi olla myös jo maisemoituja eli mahdollisesti metsitettyjä alueita, mutta tulevaa jälkihoitoa ajatellen jäljellä oleville puuttomille rinteille voidaan perustaa paahderinteitä tai rinneketoja.

2.2.1. Maaperän ominaisuudet vaikuttavat hiilen sitoutumiseen

Hiiltä siirtyy ilmakehästä maaperään kasvien juuriston kautta sekä eliöistä orgaanisen aineksen kuollessa ja hajotessa (Schlesinger 2013). Kasvit poistavat fotosynteesissä ilmakehästä hiilidioksidia, jota poistuu orgaanisena hiilenä kasvin juuriston kautta maaperään, mutta myös hiilidioksidina kasvien respiraaation kautta. Vuorovaikutus kasvin juuriston ja ritsosfäärin eli juuriston ympäristön mikrobien välillä on hiilen varastoitumisen kannalta keskeistä. Juuristosta siirtyy maaperään suoraan hiiltä juurieritteinä, mutta myös hajottajien vapauttaessa orgaanista ainesta kuolleista eliöistä. (Gadd ym. 2006)

Yleisesti maaperä koostuu kivennäisaineista, kasvi-, mikrobi- ja eläinbiomassasta, hajoamisen eri vaiheissa olevasta orgaanisesta aineksestä sekä vedestä ja ilmasta. Maaperän orgaaninen aines on merkittävää muun muassa maaperän veden läpäisevyyden sekä maan tuottavuuden kannalta. Maan orgaaninen aines voidaan jakaa labiiliin ja stabiiliin orgaaniseen ainekseen. Labiili orgaaninen aines hajoaa nopeasti, muutamasta kuukaudesta vuoteen. Stabiili orgaaninen aines puolestaan hajoaa hitaasti, satojen vuosien kuluessa. (Killham 1994)

Maaperän muodostumiseen vaikuttavat useat eri tekijät. Paikallisesti pinnanmuodot vaikuttavat eniten, mutta globaalilla tasolla ilmasto on keskeisin tekijä maaperän muodostumisen kannalta. Maaperän vedenpidätyskyky määräytyy maaperän koostumuksen mukaan. Pienikokoiset partikkelit lisäävät vedenpidätyskykyä maaperässä, kun taas karkearakeisemmissa maaperissä on pienempi kapasiteetti varastoida vettä. (Lavelle & Spain 2001)

Maaperän koostumuksen lisäksi myös huokostila vaikuttaa maaperän ominaisuuksiin. Huokostilat ovat merkittäviä kasvien juurten kannalta, ne myös tarjoavat elinympäristöjä maan pieneliöstölle. (Coleman ym. 2004; Huhta & Hallanaro 2019) Maan pieneliöstöön lukeutuvat maan eri kerroksissa elävät selkärangattomat sekä mikrobit, joilla on tärkeä tehtävä maan rakenteen parantajina. Maaperäeläinten sekä -mikrobien vaikutus maan rakenteeseen ja esimerkiksi biologiseen tuottavuuteen ilmenee sekä suoraan että epäsuoraan. Pieneliöstö edistää hiilen ja ravinteiden kiertoa hajotustoimintansa kautta, jolloin maan orgaanisen aineksen määrä lisääntyy. Lisäksi maaperäeläimet ja -mikrobit muovaavat maan koostumusta sekä fysikaalisesti kaivautumalla maaperässä, että kemiallisesti erittämiensä yhdisteidensä välityksellä. (Huhta & Hallanaro 2019)

Soranottoalueita on tavallisesti perustettu harjualueille, joiden maaperä on karua kivennäismaata. Harjualueiden maalajitteet ovat hiekka ja sora. Paahderinteiden ja -alueiden kasvillisuuden ekologia riippuukin pitkälti alueen ominaisuuksista, kuten pinnanmuodoista, maaperästä sekä valoisuudesta. Alueen geologiset ominaisuudet vaikuttavat myös maan vedenpidätyskykyyn. Paahderinteiden kuivuus voi vaihdella rinteiden



jyrkkyyden mukaan: jyrkemmissä rinteissä maa-aines on yleensä karkeampaa, jolloin vesi valuu nopeammin maan pohjakerrokseen. (Kittamaa 2009; Heikkinen 1991)

Maaperän ominaisuudet vaikuttavat orgaanisen aineksen hajoamisnopeuteen sekä epäsuorasti hiilen sitoutumiseen. Kivennäismaan mururakenne vaikuttaa hiilen pitkäaikaiseen sitoutumiseen maaperässä. Kivennäismaassa orgaanisen aineksen hajoamisessa vapautuvat yhdisteet sekä mikrobitoiminta vaikuttavat vuorovaikutuksessa maan kivennäisaineksen kanssa hajoamisen nopeuteen lisäävästi. (Heimsch 2020) Karkearakeisessa maaperässä eroosio on haaste veden ja siihen liuenneina olevien orgaanisen aineksen ja ravinteiden huuhtoutumisen kannalta. Soranottoalueilla on kuitenkin potentiaalia hiilen pitkäaikaiseen sitoutumiseen orgaanisen aineksen muodostaessa kemiallisia sidoksia kivennäismurujen kanssa. Kasvillisuuden lisääntyessä maisemoitavalla alueella, maaperän vedenpidätyskyky parantuu juuriston ja mikrobien lisääntyessä maaperässä. Hienojakoisella maalla on karkearakeisempaa maata parempi vedenpidätyskyky, mikä vaikuttaa ravinteiden saatavuuteen ja sitä kautta kasvuolosuhteisiin. (Peltokangas & Havisalmi 2019)

Toiminnan päätyttyä soranottoalueilla, on alkuperäisten pintamaiden levitys tavanomainen toimintatapa maisemoinnissa. Pintamaiden sisältämä orgaaninen aines hidastaa eroosiota, ja lisäksi siemenpankista voi alueelle levitä taas alkuperäisiä kasveja. Siemenpankki voi kuitenkin edesauttaa sellaisten kasvien leviämistä, jotka kilpailevat mahdollisesti alueelle kylvettävien, uhanalaisten, paljasta kivennäismaata vaativien paahdelajien kanssa. Muun muassa hietakastikka (*Calamagrostis epigejos*) on nopeasti soranottoalueilla leviävä monivuotinen heinä, jota tavataan koko Suomessa, painottuen kuitenkin eteläiseen Suomeen. (Luontoportti 2021) Pintamaiden sisältämä orgaaninen aines tarjoaa humuspitoisen kasvualustan, joten maisemoinnin alkaessa pintamaiden levittäminen alueelle voi olla keino nopeuttaa hiilen sitoutumista. Pintamaiden levitys voisi soveltua erityisen hyvin rinnekedoille, joille heinäkavillisuus on tyypillistä. (Ympäristöministeriö 2020)

Yksi keskeisimmistä kysymyksistä liittyen soranottoalueiden ja kalliolouhosten jälkihoidon ilmastovaikutuksiin onkin se, missä vaiheessa alueista tulee hiilivarastoja. Aieman tutkimuksen puuttuessa voidaan asiaa lähestyä tarkastelemalla esimerkiksi suomalaisen metsämaan kivennäismaaperän nettohiilinielua. Kangasmetsissä hiiltä voi olla jopa kaksi kertaa enemmän maaperässä kuin puustossa. Metsien hiilivarastot kasvavat vain silloin, kun kasvien vuotuinen kasvu sekä karikkeeseen ja maaperään päätyvän orgaanisen aineksen sisältämä hiili ylittävät hajoamisessa tai ihmistoiminnan seurauksena vapautuvan hiilen määrän. (Peltokangas & Havisalmi 2019)

Soranottoaikoja on syntynyt aikoinaan muun muassa harjualueille, joiden kasvillisuus on usein koostunut harjuille tyypillisistä kangasmetsistä. Suomessa kangasmetsien maaperän hiilivarasto on arviolta noin 1300 miljoonaa tonnia, kun taas puuston biomassaan on sitoutunut hiiltä arviolta noin 700 miljoonaa tonnia. (Mäkipää 2016) Metsittäminen on yleisesti käytössä oleva maisemointitapa soranottoalueiden jälkihoidossa (Ympäristöministeriö 2020).

Maa-ainestenottoaikojen maaperässä on suuri potentiaali hiilen pitkäaikaisten varastojen luomiseen. Mitä syvemmällä hiili maaperässä sijaitsee, sitä stabiilimpaa se on



(Schmidt ym. 2009). Kuivien ja karujen soranottoalueiden rooli paahdeympäristöinä on otollinen hiilensidonnan ja hiilen varastoitumisen näkökulmasta. Suomen kylmissä ja kosteissa olosuhteissa kivennäismaa on erinomainen hiilen pitkäaikaiseen varastoitumiseen, sillä orgaanisen aineksen ja kivennäisaineksen välille syntyy kemiallisia sidoksia, joiden vaikutuksesta hiiltä sitoutuu hienojakoiseen kivennäismaahan. Juuri ottotoiminnan päätyttyä paljas tai hyvin vähäkasvustoinen kivennäismaa sisältää hyvin vähän orgaanista ainesta, jolloin hiilidioksidia ilmaan vapauttavaa maahengitystä ei tapahdu esimerkiksi kärkepitoiseen metsämaahan verrattuna. Tällöin biomassan määrä jää pieneksi, mutta hiilensidonnan kannalta optimaalisella kasvillisuudella hiiltä voi sitoutua maaperän pitkäaikaisiin varastoihin. (Killham 1995; Schmidt ym. 2009)

Soranottoalueiden kasvillisuuden hiilensidontakapasiteettia tarkastellessa kasvien fysiologiset ominaisuudet nousevat keskiöön. Paahdeympäristöjen karussa ja kuivassa kasvualustassa kasvit saavat syvälle ulottuvilla juurillaan vettä ja ravinteita, ja näin ollen fotosynteesissä hiiltä siirtyy kasvin ja juurten kautta maaperän syviin kerroksiin. (From 2005) Syväjuuristen kasvien hyödyntäminen hiilensidonnassa ja maaperän tuotantokyvyn kasvattamisessa on jo pitkään herättänyt kiinnostusta maataloudessa, jossa tutkimusta on tehtykin. Maataloudessa käytössä on termi **hiiliviljely**, jolla tarkoitetaan erilaisia viljelymenetelmiä, joilla pyritään lisäämään hiilen määrää maaperässä. (Heimsch 2020)

Soranottoalueen hiiliviljelyä vastaava termi voisi olla **hiilimaisemointi**, periaatteiden sekä tavoitteiden ollessa kuitenkin samansuuntaiset hiiliviljelyn kanssa – alueen ekosysteemissä monimuotoisuuden lisääminen, maaperän hiilivaraston kasvattaminen kasvillisuuden avulla sekä eroosion ja siten ravinteiden sekä hiilen huuhtoutumisen ehkäiseminen. Hiiliviljelyssä keskeistä on biomassan kasvattaminen muun muassa erilaisien peite- ja kerääjäkasvien avulla, kun taas soranottoalueiden paahdeympäristöissä ravinteiden keräämisestä huolehtivat typensitojakasvit, kuten masmalo ja tunturikurjenherne. (Känkänen ym. 2011)

Monivuotisuus on hiilensidonnan näkökulmasta parempi kuin yksivuotisuus, sillä monivuotiset kasvit sitovat hiiltä yksivuotisia kasveja paremmin maaperään. Myös kasvin sienijuurisymbioosi tehostaa kasvin veden ja ravinteiden ottoa sekä edistää hiilen siirtymistä maaperään, mikä on erityisen tärkeää kuivien ja karujen alueiden kasvillisuudelle. (From 2005.) Keräsienten on havaittu tukevan kuivien ja niukkaravinteisten niittyjen ja ruohomaiden monimuotoisuutta (Dostálek ym. 2013).

Soranottoalueiden haasteena on heikko vedenpidätyskyky kasvillisuuden puuttuessa. Mitä enemmän alueella kuitenkin on kasvillisuutta, sitä paremmin maaperä pidättää vettä ja ravinteita. Kasvien juuret vähentävät eroosiota, minkä vuoksi myös hiilen poistuma huuhtoutumalla vähenee. Vuorovaikutuksessa maan pieneliöiden kanssa kasvien juuret auttavat ylläpitämään maan hyvää mururakennetta. (Killham 1994) Mikrobitoiminnan merkitys hiilensidonnalle onkin moninainen. Toisaalta mikrobimassan määrä maaperässä vaikuttaa maaperän orgaanisen aineksen määrään ja hiilen pitkäaikaisen varaston muodostumiseen. Toisaalta kuitenkin mikrobitoiminta taas lisää maahengityksessä vapautuvan hiilidioksidin määrää ja voi näin ollen aiheuttaa negatiivisen muutoksen hiilitaseeseen. (Huhta & Hallanaro 2019)



2.2.2. Soranottoalueet heijastavat säteilyä

Ilmastonmuutokseen liittyvät olennaisesti palauteilmiöt, jotka tekevät ilmastonmuutoksen pitkän aikavälin vaikutusten arvioimisesta haasteellista. Palauteilmiöllä tarkoitetaan lämpötilan nousun seurauksena ilmastojärjestelmässä tapahtuvia muitakin muutoksia. Muutoksista voi seurata alkuperäistä lämpenemistä lisääviä tai heikentäviä vaikutuksia. Hiilinielujen väheneminen toimii yhtenä kasvihuoneilmiötä vahvistavana palauteilmiönä. Ilmiö on seurausta siitä, että hiilen luonnollinen kiertokulku jakaa ilmakehän lisääntyvän hiilidioksidin maapallolla kasvillisuuteen, ilmakehään ja meriin, mutta tutkimusten mukaan tulevaisuudessa yhä vähemmän hiiltä varastoituu kasveihin ja meriin, jolloin hiilidioksidia jää enemmän ilmakehään. (Frank ym. 2010; IPCC 2013)

Säteilyn heijastuvuus maapallon pinnalla liittyy myös olennaisesti palauteilmiöihin. Albedo eli kokonaisheijastavuus tarkoittaa kappaleen kykyä heijastaa siihen tulevaa säteilyä. Albedo määritetään kappaleeseen osuneen ja siitä heijastuneen säteilyn tehojen suhteena. Mitä vaaleampi pinta on, sitä suurempi sen kokonaisheijastavuus on. Täten maapallolla vaaleat alueet, kuten jäätiköt ja lumipeitteiset alueet heijastavat maapallolle tulevaa säteilyä, jolloin säteilyä ei absorboidu maanpinnalle. Jäätiköiden ja lumen sulaessa paljas, tumma maanpinta imee itseensä säteilyä, millä on ilmakehää lämmittävä vaikutus ja täten alkuperäisen pakotteen aiheuttama lämpeneminen voimistuu. (Stephens ym. 2015)

Albedo-ilmiötä voidaan myös tarkastella ja pohtia maa-ainestenottoalueiden näkökulmasta. Boreaalisella havumetsävyöhykkeellä, johon suurin osa Suomesta myös lukeutuu, pitävät ainavihanat havupuut maanpinnan tummana suuren osan vuodesta. Avomet alueet heijastavat lumipeitteisinä tehokkaasti säteilyä. Ilmastovaikutusten näkökulmasta metsittäminen nähdään hiilensidonnasta kannalta tehokkaana, mutta lumipeitteisillä seuduilla puiden istuttaminen ja niiden kasvattaminen mahdollisimman tuottavina usein laskevat albedoa. Maa-ainestenottoalueet toimivat myös puuttomina ja lumettomina ajanjaksoina säteilyä heijastavina elementteinä vaalean pintansa vuoksi. On esitetty, että metsitystoimilla boreaalisilla vyöhykkeillä voisi olla ilmastoa lämmittävä vaikutus hiilensidonnasta huolimatta. (mm. Betts 2000; Bathiany ym. 2010) Albedo-ilmiö ei ole kuitenkaan pohjoisissa metsissä yksiselitteinen, ja albedoon sekä metsän energiataseeseen vaikuttavat metsän puulajikoostumuksen lisäksi metsän rakenne ja aluskasvillisuus. (Rautiainen ym. 2020)

2.2.3. Lahopuilla voidaan parantaa alueen monimuotoisuutta sekä kasvattaa hiilinielua

Pelkästään paahdelajiston ja ruohovartisten kasvien suosiminen ei välttämättä ole kestävin ratkaisu soranottoalueiden jälkihoidossa, vaan hiilensidonnasta ja luonnon monimuotoisuuden edistämisen kannalta muun muassa lahoavan puuaineksen käyttö ja esimerkiksi niittyjen perustaminen toisivat monimuotoisuutta alueen ekologiaan. (Ryttäri, haastattelu 7.7.2021)

Lahopuulla tarkoitetaan kokonaista kuollutta puuta tai puun osaa. Lahopuun merkitys Suomen metsille on suuri, mutta lahopuun positiiviset vaikutukset hiilensidontaan ja luonnon monimuotoisuuteen ilmenevät myös muissakin ympäristöissä. Lahopuut ovat



alueen ekologialle erityisen merkityksellisiä lukuisten hyönteis- ja lintulajien ravinnonhankinnan ja pesinnän kannalta. Lahopuut varastoivat hiiltä itseensä ja niistä jäljelle jäävä humus toimii myös väliaikaisena hiilivarastona. (Metsähallitus 2020) Lahopuiden, kuten elävienkin puiden, biomassasta noin 50 % on hiiltä (Mäkinen ym. 2003). Toisaalta lahopuiden hajotessa niistä vapautuu mikrobitoiminnan seurauksena hiiltä ilmakehään. Lahopuun tyyppillä on myös vaikutusta varastoituneen hiilen määrään. Maalahopuissa on yleisesti vähemmän hiiltä verrattuna pystylahopuihin, johtuen siitä, että maalahopuut ovat usein enemmän lahonneita, jolloin niissä on vähemmän biomassaa. (Bradford 2009)

Lahopuun merkitys soranottoalueen hiilinielulle ilmenee sekä suoraan, että epäsuoraan. Paahdeympäristöissä lahopuut rikastuttavat luonnon monimuotoisuutta tarjoamalla elinympäristöjä hyönteisille. Lisäksi ne luovat paikallista vaihtelua alueen valoisuusolosuhteisiin luomalla varjopaikkoja, mikä voi vähentää veden haihtumista maaperästä. Lahopuiden hyödyntämisestä soranottoalueiden maisemoinnissa perustetuissa paahderinteissä käytäntöä löytyy Ruduksen LUMO-kohteista muun muassa Hyvinkään Suomiehessä. Siellä lahopuut ovat pystypuita ja toimivat hyönteishotelleina. (Rudus n.d.) Lahopuita voidaan myös sijoittaa maahan pitkälle, jolloin ne toimivat kuolleina maapuina ja erilaiset maaperäeläimet voivat hyödyntää lahoavaa puuainesta (Bradford 2009).

Borealisella havumetsävyöhykkeellä, johon Suomikin lukeutuu, kuolleen puuaineksen hajoamisprosessi on pitkä johtuen viileistä ilmasto-olosuhteista. Suomen viileissä ilmasto-olosuhteissa kuollut puuainek voi varastoida hiiltä jopa sadoiksi vuosiksi, kun taas tropiikissa hiilivarastot ovat lyhytikäisempiä. Puun lahoamisnopeuden lisäksi myös puuta hajottavien hyönteisten vaikutus on ilmastosta riippuvainen. Viileässä ilmastossa hyönteisten merkitys hajotusprosessille on vähäisempi kuin lämpimässä ilmastossa. Ilmastomuutoksella voi kuitenkin olla vaikutusta tähänkin, kun hyönteisten levinneisyysalueet muuttuvat ja ilmasto lämpenee globaalisti. (Palokallio 2021)

2.3 Maa-ainestenottoalueet ilmastonmuutokseen sopeutumisessa

Ilmastonmuutokseen sopeutumisessa kyse on ennen kaikkea toimista, joilla vähennetään muuttuvan ilmaston aiheuttamia haitallisia vaikutuksia. Toimet voivat olla poliittisia tai käytännön toimia, joilla pyritään estämään ilmastonmuutokseen liittyvien riskien toteutuminen. (MMM 2021) Kiviaineksen ottotoiminnan myötä useille lajeille on syntynyt uusia elinympäristöjä, vaikka alkuperäistä kasvillisuutta onkin jouduttu poistamaan. Soranottoalueille syntyneet paahdeympäristöt ja ruderaattialueet tarjoavat monille uhanalaisille kasvi- ja eläinlajeille elinympäristöjä. Osa ilmastonmuutokseen sopeutumisesta onkin soranottoalueilla toteutettavat erilaiset ekosysteemihotellit, joihin siirretään ihmistoiminnan uhkaamia kasvi- tai eläinlajeja. Rudus LUMO-ohjelman myötä on saatu runsaasti kokemusta uhanalaisten lajien elinympäristöjen aktiivisesta lisäämisestä ja hoitamisesta (Rudus Oy 2021).

Vaikka ilmastonmuutoskeskustelussa sopeutumisella käsitetäänkin usein ihmiskunnalle koituvien riskien pienentäminen, myös ekosysteemien sopeutuminen ilmastonmuutokseen on ensiarvoisen tärkeää. Soranottoalueilla kuten myös paahteisilla kallioilla viihtyvät lajit ovat jo sopeutuneet ankariin sääolosuhteisiin, korkeisiin lämpötiloihin sekä



kuivuuteen, joten näillä lajeilla on hyvät edellytykset sopeutua muuttuvaan ilmastoon. Lajien ja elinympäristöjen monimuotoisuus on myös avainasemassa ilmastonmuutokseen sopeutuessa. Monimuotoisuuden säilyttäminen eri tasoilla vähentää merkittävästi ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia ekosysteemeissä. Perimän monimuotoisuus auttaa lajeja selviämään ilmaston ja elinympäristöjen muuttuessa, mikä vähentää esimerkiksi tautien ja tuholaisien aiheuttamia vaikutuksia populaatioissa. (IPCC 2014)

4. HIILTÄ VOIDAAN AKTIIVISESTI SITOA MAAPERÄÄN SORANOTTOALUEILLA

4.1 Soranottoalueiden paahdeympäristöt hiilinieluinä

Puuttomina, paljaina kivennäismaa-alueina soranottoalueet ovat toiminnan päättyessä arvokkaita paahdeympäristöjä, joille ominainen kasvillisuus on sopeutunut äärimmäisiin olosuhteisiin (From 2005). Pohdittaessa keinoja lisätä sora- ja soranottoalueilla tapahtuvaa hiilensidontaa, voidaan tarkastella näitä kasvilajeja ja niiden fysiologisia ominaisuuksia hiilensidontakapasiteettina.

Auringon paahdaessa maanpintaa, myös haihtuvuus on suurta. Paahdeympäristöjä suosivien kasvilajien lisääntymiselle on usein oleellista paljaan maan riittävän suuri pinta-ala, jotta siemenet voivat itää. Lisäksi monet paahdekasvilajit ovat tärkeitä ravinnonlähteitä paahdeympäristöjen hyönteisille kuten perhosille. (Kittamaa ym. 2009) Paahdeympäristöt ovat erittäin tärkeitä luonnon monimuotoisuudelle, sillä niissä elää muun muassa uhanalaisia ja vaarantuneita putkilokasveja, hyönteisiä ja perhosia. Lisäksi paahdealueiden kukkakasvit ovat pölyttäjille tärkeitä. Paahdeympäristöjä syntyy luonnollisten prosessien kautta esimerkiksi harjualueille, mutta myös ihmistoiminnan vaikutuksesta. Tällaisia ihmistoiminnan vaikutuksesta syntyviä alueita ovat muun sora- ja soranottoalueet ja ruderaattialueet. (From 2005)

Kuivassa ja vähäravinteisessä maassa korostuu kasvillisuuden juurten merkitys. Soranottoalueiden maaperän vesivarannot sijaitsevat usein hyvin syvällä, joten syväjuuruisuus on paahdeympäristöjen kasvilajien keskeinen sopeutuma hyvin kuivaan ja niukkaravinteiseen ympäristöön. Täten syväjuuruisilla kasveilla on matalajuuruisia paremmat edellytykset menestyä paahdeympäristöissä, sillä niiden juuret ulottuvat syväälle maaperään saaden näin paremmin vettä ja ravinteita. Muun muassa hietaneilikka (*Dianthus arenarius*), kangasajuruoho (*Thymus serpyllum*) ovat sopeutuneet erittäin kuivaan ympäristöön syväälle ulottuvalla paalujuurellaan. Muitakin rakenteellisia sopeutumia paahdelajeilla esiintyy, kuten lehtien vahapintaisuus hietaneilikalla ja ketoneilikalla (*Dianthus deltoides*) sekä kasvia peittävä karvapeite ketotuulenlennolla (*Filago arvensis*). (From 2005)

Paahdeympäristöjen kasvillisuus on sopeutunut karuun ja vähäravinteiseen kasvupaikkaan myös erityisellä yhteyttämisaineenvaihdunnalla, niin sanotulla CAM-aineenvaihdunnalla (*Crassular Acid Metabolism*). CAM-aineenvaihdunta tarkoittaa sitä, että kasvi ottaa yhteyttämiseen tarvitsemansa hiilen yöaikaan ja se sidotaan orgaaniseksi hapoksi



odottamaan päiväsaikaan tapahtuvaa jatkokäsittelyä. CAM-aineenvaihdunta on kuivien alueiden kasvien keskeisin fysiologinen sopeutuma, sillä se edesauttaa merkittävästi kasvien vedensaintia. (From 2005)

Kuivilla alueilla kasvien hiilensidontaa tehostaa myös sienijuurisymbioosi. Kuivien alueiden kasveilla tavataan juuristossa erityisesti keräsienijuurta eli arbuskelimykorrhizaa, joka tehostaa kasvien ravinteiden, veden ja hiilen saantia saadessaan itse yhteyttämis- tuotetta eli sokeria. Keräsienen sienijuuri muodostuu sienijuuren tunkeutuessa sisälle kasvin juuriin ja muodostamalla kasvin juurisoluihin keräsiä. Tällöin kasvin soluväleihin muodostuu rihmastoa. (Hoppula & Hoppula 2018; Virtanen 2019)

Sienijuurisymbioosi on siis erittäin merkittävä sopeutuma kuivan maan kasveilla, sillä 80-90 %:lla kuivan maan kasveista esiintyy juuristossaan mykorrhizaa eli sienijuurta. Sienijuurisymbioosi toimii kunnolla vain kivennäismaassa. Sienijuuri parantaa erittäin kuivassa maaperässä kasvin stressinsietokykyä ja kestävyyttä sekä maan monimuotoisuutta ja mururakennetta edesauttamalla kasvin veden ja fosforin saantia. (Hoppula & Hoppula 2018; Virtanen 2019)

Keräsienijuuren hyödyllisyys kasville on riippuvainen maaperän abioottisista tekijöistä. Kaksikotisilla kasveilla, kuten ahokissankäpäälällä, maaperän ominaisuuksien lisäksi myös sukupuoli vaikuttaa. Tutkimuksessa Varga & Kytöviita (2010) saatiin tuloksia, joiden mukaan molemmilla sukupuolilla oli samanlainen vaste keräsienijuurisymbioosiin ja kahteen erilaiseen maaperän pH-arvoon. Vastetta tutkittiin kasvin kasvuna ja fosforin kertymisena kasviin. Maaperän pH:n laskiessa myös kasvin keräsienijuuresta saamat hyödyt vähenivät. Keräsienijuurisymbioosi on kuitenkin merkittävä kuivien alueiden kaksikotisille kasveille, kuten ahokissankäpäälälle. Juurten biomassan lisäämisen myötä sillä voi olla lisäävä vaikutus hiilensidontaan. Lisäksi ahokissankäpäälän juuri ulottuu syvälle maahan, mikä edesauttaa kasvin veden ja ravinteiden saantia. (Luontoportti 2021)

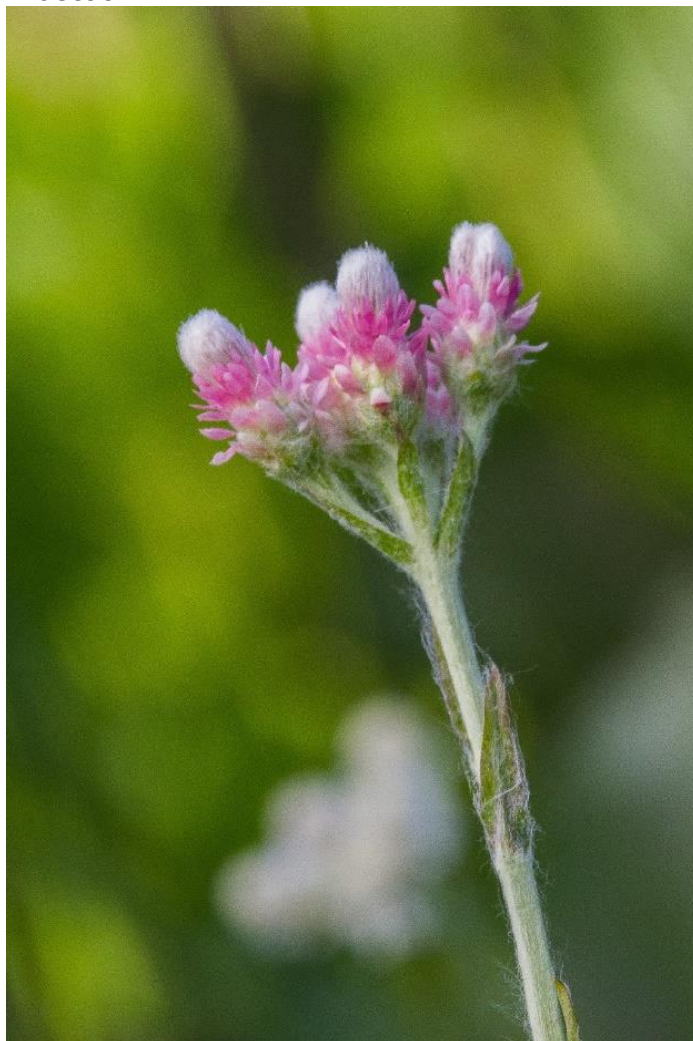
4.2 Paahdeympäristön kasvit hiilensitojina

Tässä luvussa tarkasteltuja kasveja esiintyy paahdeympäristöissä, ja niillä on erityisiä sopeutumia kuiviin ja avoimiin elinympäristöihin. Nämä sopeutumaiset edistävät myös kasvin kykyä sitoa hiiltä. Kyseiset kasvilajit ovat nousseet kirjallisuudessa esille tehokkaina hiilensitojina. Tässä luvussa esitettyjen kasvien lähteenä on käytetty lähes yksinomaan Suomen ympäristökeskuksen raporttia *Harjumetsien paahdeympäristöt – nykytila ja hoito* (Kittamaa ym. 2009) sekä Luontoportti-verkkosivustoa. Muut käytetyt lähteet ovat mainittuina tekstissä.

Ahokissankäpäälä (*Antennaria dioica*) on asterikasveihin (Asteroideae) kuuluva monivuotinen ruoho. Kuivat kankaat, kallioidet, kedot, laitumet, ahot ja tunturipaljakat ovat ahokissankäpäälän elinympäristöjä, ja kasvi suosii paikkoja, joissa veden haihtumista tulee yleensä säännöstellä, joten ahokissankäpäälä onkin kuivien kankaiden indikaattorilaji. Ahokissankäpäälän juuristossa esiintyy AM-mykorrhizaa. Ahokissankäpäälän lehtien huopakarvaisuus sekä lehtien kourumaisesti taipuva muoto vähentävät veden



haihtumista. Ahokissankäpälän fysiologiset ominaisuudet auttavat sitä täten sopeutumaan muuttuvaan ilmastoon.



Kuva 2. Ahokissankäpälä (Antennaria dioica). Kuva: Rudus Oy

Hietaneilikka (*Dianthus arenarius*) on erittäin uhanalainen monivuotinen ruoho. Hietaneilikka on sopeutunut erittäin kuiviin ympäristöihin syvälle maahan ulottuvan paa-lujuurensa avulla. Hietaneilikkaa esiintyykin hiekkakankailla, harjuilla sekä rapautu-neilla kallionrinteillä (From 2005).





Kuva 3. Hietaneilikka (*Dianthus arenarius*). Kuva: Rudus Oy

Kanervisara (*Carex ericetorum*) on harvinainen, monivuotinen ruoho, joka kasvaa mätästävänä. Kanervisaraa esiintyy harjukankailla, hietikoilla, kallioilla, hiekkakuopissa sekä tienpientareilla. Kanervisara on tuulipölytteinen (Laji.fi; Luopioisten kasvisto).



Kuva 4. Kanervisara (*Carex ericetorum*).
Kuva: Sanni Rauhala



Kangasajuruoho (*Thymus serpyllum*) on monivuotinen varpu, jota voi tavata harjuilla, hiekkakankailla, kallioilla, kedoilla ja tienvarsilla. Kangasajuruoho muodostaa vahvan ja pystyn pääjuuren, jonka avulla se menestyy karuissa elinympäristöissä. Kangasajuruoho vaatii kuivuuden lisäksi elinympäristöltään avoimuutta (Hämet-Ahti ym. 1998). Kangasajuruoho on risti- ja hyönteispölytteinen kasvi, jota yleisimmin pölyttävät mehiläiset ja kimalaiset. Kangasajuruoho on tärkeä ravinnonlähde lukuisille paahdeympäristön hyönteislajeille, joten kangasajuruohoa voidaan pitää yhtenä paahdeympäristöjen avainlajeina.



Kuva 5. Kangasajuruoho (*Thymus serpyllum*).
Kuva: Sanni Rauhala

Keltamaite (*Lotus corniculatus*) on monivuotinen hernekasveihin kuuluva ruoho, joka on harjumetsien paahderinteiden laji. Sitä esiintyy myös muilla avoimilla alueilla, kuten niityillä, laitumilla ja tienvarsilla. Keltamaite muodostaa pääjuuren, jolla se ulottuu kuivassa maaperässä paremmin vesivarastoihin.





Kuva 6. Keltamaite (*Lotus corniculatus*). Kuva:
Sanni Rauhala

Ketoneilikka (*Dianthus deltoides*) on monivuotinen ruoho, joka kasvattaa vankan ja syvälle ulottuvan juuren. Ketoneilikka on kuivien alueiden kasvi ja sitä esiintyy muun muassa kedoilla, kivisillä mäenrinteillä, rinneniityillä, tienvarsilla ja pientareilla. Ketoneilikka on lähes yksinomaan päiväperhospölytteinen kasvi. Ketoneilikka on sopeutunut kuivuuteen syvälle ulottuvan juurensa ja löyhän mätästävän kasvutapansa avulla. Ketoneilikalla on haihtumista estävät kapeat ja vahapeitteiset lehdet.



Kuva 7. Ketoneilikka (*Dianthus deltoides*).
Kuva: Sanni Rauhala



Masmalo (*Anthyllis vulneraria*) on hernekasveihin kuuluva putkilokasvi, jota esiintyy avoimilla alueilla, kuten rinnenneityillä, kedoilla ja valoisilla harjumänniköillä. Masmaloa esiintyy myös ihmistoiminnan muovaamissa ympäristöissä, kuten tienvarsilla ja sora-
montuilla. Suomessa tavataan neljää masmalon alalajia: ketomasmalo (ssp. *vulneraria*), pohjanmasmalo (ssp. *lapponica*), idänmasmalo (ssp. *polyphylla*) ja isomasmalo (ssp. *pseudovulneraria*). Masmalo on kaksivuotinen tai lyhytikäinen ruoho. Masmalo on heikko kilpailija, joten se tarvitsee avoimia alueita kasvupaikoikseen.



Kuva 8. Masmalo (*Anthyllis vulneraria*). Kuva: Sanni Rauhala

Mäkitervakko (*Viscaria vulgaris*) on paljaita kivennäismaita suosiva monivuotinen ruoho. Mäkitervakon kasvupaikkoja ovat hiekkaiset keto- ja rinnenneityt, kallion- ja mäenrinteet, tienpientareet, törmät ja radanvarret. Mäkitervakko on sopeutunut hyvin kuiviin elinympäristöihin muodostamalla jopa metrin mittaisen pääjuuren. Mäkitervakkoa pölyttävät kimalaisten lisäksi useat perhoslajit, kukkakärpäset ja pienet kovakuoriaiset. Mäkitervakko menestyy lievästi happamassa maaperässä pH:n ollessa välillä 5-7.





Kuva 9. Mäkitervakko (*Lychnis viscaria*). Kuva: Sanni Rauhala

Sianpuolukka (*Arctostaphylos uva-ursi*) on kuivissa kangasmetsissä, hiekka- ja sorpenkereillä sekä rapakivikallioilla kasvava monivuotinen varpu. Sianpuolukka onkin kuivien kankaiden indikaattorilaji. Sianpuolukkaa voi tavata monen tyyppisillä paahdealueilla, kuten harjujen paahderinteillä, merenrannoilla hiekkadyynien varpukasvustoissa sekä kalliokedoilla.



Kuva 10. Sianpuolukka (*Arctostaphylos uva-ursi*). Kuva: Sanni Rauhala



Tunturikurjenherne (*Astragalus alpinus*) on hernekasveihin (Fabaceae) kuuluva monivuotinen ruoho, jota esiintyy avoimilla alueilla, kuten tunturikankailla, harjumetissä, kalliojyrkänteillä ja tienvarsilla. Tunturikurjenherne muodostaa pitkän ja vankan pääjuuren.



Kuva 11. Tunturikurjenherne (*Astragalus alpinus*). Kuva: Sanni Rauhala

4.3. Muita keinoja lisätä hiilensidontaa soranottoalueilla

Pelkkien paahdeympäristöjen luominen koko soranottoalueen kattavalle alueelle ei ole välttämättä kestävin ratkaisu, vaan sekä hiilensidonnan että luonnon monimuotoisuuden lisäämisen näkökulmasta maisemoinnissa tulisi luoda erilaisia luontotyyppejä. Soranottoalueet voivat olla hyvinkin laajoja pinta-alaltaan, joten alueen eri valoisuus- ja kosteusolosuhteet on hyvä ottaa huomioon. Valoisuuden ja veden saatavuuden lisäksi myös alueen maaperä vaikuttaa maisemoinnissa käytettävien kasvien valintaan.



Paahdeympäristön kasvilajien kylvämisen lisäksi soranottoalueelle voisi luoda niittyjä sekä metsää. Niityt tulisi paahdeympäristöjen tavoin pitää suurimmaksi osaksi avoimena alueena. Paahdeympäristön ja niityn välinen raja voi olla häilyvä, sillä puuttomina alueina myös niittyjen kasvuolosuhteet voivat olla paahteiset ja esimerkiksi kukkaniityt kannattaa perustaa karuun ja kuivaan maahan (Yle 2021). Hiilensidonnan näkökulmasta kuitenkin heinät ovat potentiaalisia hiilinieluja, ja ne myös kasvattavat maaperän hiilivarastoa suuren juuristonsa avulla (Ryttäri, haastattelu 7.7.2021).

Sopivia niittykasveja ovat esimerkiksi keltamaite, kangasajuruoho, nurmikohokki (*Silene vulgaris*), niittynätkelmä (*Lathyrus pratensis*) sekä päivänkakkara (*Leucanthemum vulgare*). Niittynätkelmä on monivuotinen ruoho, sekä useille päiväperhosille merkittävä ravintokasvi. Heinistä monimuotoiselle niitylle sopiva on esimerkiksi lampaannata (*Festuca ovina*). Lampaannata on tiheään mätästävä, monivuotinen heinä, jota myös viljellään yleisesti Suomessa. (Luontoportti 2021; Laji.fi 2021) Lampaannata on matalakasvuisena heinä (40-60 cm) heikko kilpailija kukkakasvien kanssa, joten sitä voidaan kylvää yhdessä harvinaisempienkin lajien kanssa. Lisäksi lampaannadan kasvutot voivat ehkäistä puiden siementen itämistä, mistä on hyötyä, kun niitty halutaan pitää vähäpuustoisena. (Kukkonen 2004)

Metsän istutus on tavanomaisin keino kiviainesalueiden maisemoinnissa, ja jälkihoidon näkökulmasta metsänhoito nähdään myös taloudellisesti kannattavana. Puut ovat suuren biomassansa, yhteytystehonsa ja juurtensa ansiosta tehokkaita hiilinieluja, ja ne myös kasvattavat maaperän hiilivarastoa. Luonnon monimuotoisuuden näkökulmasta kuitenkin avointen alueiden säilyttäminen ja suojelu soranottoalueiden jälkihoidossa on arvokasta. Puuntaimien kasvu voi olla kuivilla ja karuilla hiekkarinteillä hidasta, mutta kasvava puu toimii koko elinikänsä hiilinieluna, ja kasvattaa myös maaperän hiilivarastoa. Lahoavaa puuta ei kannata poistaa alueelta, vaan antaa sen rikastuttaa luonnon monimuotoisuutta sekä toimia hiilivarastona. (Kittamaa ym. 2009; MMM 2021)

5. VOISIKO KOSTEIKOISSA OLLA POTENTIAALIA LOUHOSALUEIDEN HIILINIELUINA?

5.1. Kosteikot ovat monimuotoisia elinympäristöjä

Kosteikolla tarkoitetaan ojan, puron tai muun vesistön osaa tai aluetta, joka on suuren osan vuodesta veden peitossa tai muuten kostea. Kosteikot ovat hyvin monimuotoisia elinympäristöjä, ja niissä elää erityisesti veden ja maan rajapinnan elinympäristöön sopeutuneita eliöitä. Kosteikoille ominaista on runsas kasvisto, joka tarjoaa ravintoa ja elinympäristön useille lajeille. Vedessä suojaa antavat ilmaversoiset kasvit ja veden alla kasvavat uposkasvit puolestaan suodattavat vettä. Kosteikot ovat kuitenkin uhanalais-tuneet maa- ja metsätalouden harjoittamisen myötä, joten perustamalla louhosalueille kosteikkoja, voitaisiin turvata harvinaistuvien elinympäristöjen olemassaolo. (Keddy 2010; WWF 2021)

Kosteikoilla on merkitystä luonnon monimuotoisuuden kannalta. Sisävesikosteikkojen väheneminen on yhteydessä monen vesilintulajin taantumiseen, sillä kosteikot ovat linnuille erityisen tärkeitä pesimä- ja muuttoaikaan. Lisäksi kosteikot tarjoavat sorsalinnuille suojaisan paikan sulkasadon aikaan. (Kosteikko.fi 2020)



Tulvien hillinnän ja vesiensuojelun kannalta kosteikoilla on tärkeä tehtävä ekosysteemeissä. Kosteikot pidättävät vettä ja ravinteita sekä ehkäisevät tulvia, johtuen veden kiintoaineksen laskeutumisesta ja sedimentoitumisesta pohjalle. Kosteikot myös hillitsevät vesien rehevöitymistä pidattaessaan ravinteita sedimenttiin. (Kosteikko.fi 2020) Kosteikon mikrobit myös vapauttavat typpeä takaisin kiertoon typpikaasuna ilmakehään (Ymparisto.fi 2020). Kosteikot tarjoavat siten ylläpitäviä ja sääteleviä ekosysteemi-palveluja. Toisaalta, kosteikoista vapautuu ilmakehään metaania hapettomissa olosuhteissa (Schlesinger 2013; Whalen 2005).

5.2. Rakennettu kosteikko hiilinieluna

Luonnossa tapahtuvien prosessien lisäksi kosteikko voidaan myös rakentaa. Karuissa ympäristöissä, kuten tässä tapauksessa louhoksilla, kosteikon rakentaminen aloitetaan yleensä lammen muodostamisella. Louhoksilla voi syntyä vesialueita itsestään, jos pinta ei ole vettä läpäisevä. Tätä lammikoiden luontaista syntyä voisi hyödyntää kosteikkojen perustamisessa. Kosteikko voidaan perustaa maa-ainesten ottoalueelle pohjavesialueen ulkopuolella sekä alueelle, jossa kosteikko ei heikennä pohjaveden laatua. (Ympäristöministeriö 2020) Kallioulouhoksilla tämä usein toteutuukin, sillä ne harvoin sijoittuvat pohjavesialueelle. Kosteikkohankkeen luvanvaraisuudesta säädetään vesilain (587/2011) 3 luvussa ja puolestaan 2 luvussa määritetään suojellut vesiluontotyypit. Vesilain 3 luvun 2 §:ssä säädetään vesihankkeen yleisestä luvanvaraisuudesta, kun taas 3 §:ssä säädetään aina luvanvaraisista vesitaloushankkeista. Lisäksi kosteikkohanke ei saa olla kaavan vastainen.

Hyvässä kosteikossa on 50 % vettä sekä 50 % mosaiikkimaista kasvillisuutta. Lisäksi vettä tulisi olla 50 cm:n syvyydeltä tai matalampana. Rakenteellisilta ominaisuuksiltaan kosteikon tulisi olla riittävän monimuotoinen, mikä mahdollistetaan vaihtelevilla syvyyssuhteilla, rikkonaisella rantaviivalla, laadukkaalla vaihettumisvyöhykkeellä, alavilla ja tarpeeksi loivapiirteisillä rannoilla sekä esimerkiksi niemillä ja saarekkeilla. Kasvillisuuden tulee olla suojaavaa, mutta ympäristön tulisi säilyä myös riittävän avoimena. Hyvän kosteikon ominaispiirteisiin kuuluu lisäksi kalattomuus. (Alhainen ym. 2015)

Kosteikon perustamisessa tulee ottaa huomioon perustamista rajoittavat seikat sekä erinäiset reunaehdot. Kosteikkohankkeella on oltava maa- ja vesialueen omistajien suostumus sekä heidän tavoitteensa maankäytön suhteen on otettava huomioon. Alueen maankäyttö sekä infrastruktuuri, kuten tiestö, sähkölinjat ja kaapelit, voivat asettaa myös rajoitteita. Kosteikkohankkeen mahdolliset vaikutukset pohjaveteen ja vesistöihin on myös syytä ottaa huomioon. (Alhainen ym. 2015)

Kosteikkoihin sopivia vesikasveja ovat erilaiset sarat (*Cyperaceae*), järvikorte (*Equisetum fluviatile*), keltakurjenmiekkä (*Iris pseudacorus*), palpakot (*Sparganium*) sekä vidat kuten ahvenvita (*Potamogeton perfoliatus*). Myös pikkulimaska (*Lemna minor*), kilpukka (*Hydrocharis morsus-ranae*) sekä ärviät (*Myriophyllum*) ovat kosteikoilla suosittavia kasveja ja tarjoavat selkärangattomille ravintoa. Luonnon monimuotoisuuden ja kosteikon hyvän laadun vuoksi tulisi välttää istuttamasta osmankäämiä, järvi-ruokoa sekä järvikaislaa, sillä muodostaessaan tiheää kasvustoa, ne valtaavat muilta kosteikon lajeilta elintilaa nopeasti. (Alhainen ym. 2015)



Pajut ovat kosteikkojen tyypillisiä kasveja, ja niitä kasvaa luonnostaan erityisesti kosteikkojen reuna-alueilla. Pajuista saatetaan tavallisesti haluta eroon niiden vallatessa nopeasti kasvualaa, mutta pajut voidaan nähdä myös monimuotoisina ekosysteemipalvelujen tarjoajina. Pajut edistävät ravinnetaloutta sekä parantavat maaperän hiilipitoisuutta. Lisäksi pajut muodostavat nopeakasvuisuutensa ansiosta runsaasti biomassaa lyhyellä aikavälillä, joten ne sitovat ilmakehän hiiltä tehokkaasti itseensä. Pajut myös toimivat vesien puhdistajina ja estävät ravinteiden huuhtoutumista. (Syri ym. 2021)

Pajukasvit ovat lajistoltaan monimuotoinen heimo. Suomessa esiintyy muun muassa kiiltopajua (*Salix phylicifolia*), mustuvapajua (*Salix myrsinifolia*), halavaa (*Salix pentandra*) ja raitaa (*Salix caprea*). Lisäksi ne kuuluvat Suomessa kevään ensimmäisiin kukkijoihin, joten myös pölyttäjien näkökulmasta pajut edistävät luonnon monimuotoisuutta. (Syri ym. 2021.; Carbons Finland 2021)

6. KOKEELLINEN OSIO

6.1 Aineisto ja menetelmät

Kokeellisen osion tavoitteena oli selvittää opinnäytetyötä varten soranottoalueen maaperän hiilensidontakyky määrittämällä laskennallisesti maaperän orgaanisen aineksen määrä sekä kasvillisuuden lehtialan peittävyys. Koealueeksi valikoitui Noron soranottoalue Kuopion Maaningalla, tarkempina tutkimuskohteina olivat jo maisemoitu paahderinne, jonne oli kylvetty paahdekasvilajien siemeniä sekä metsitetty rinne, jonne oli istutettu männyntaimia. Muut paahdealueiden kasvilajit valikoituivat alueelta, jonne ei oltu levitetty pintamaata osana jälkihoitoa, mutta mäkitervakosta otettiin näytteet myös sellaiselta rinteeltä, johon oli levitetty pintamaata. Kokeelliseen osioon valikoituivat seuraavat kasvilajit: masmalo, mäkitervakko, keltamaite, kanervisara, ahdekaukoki, nurmikohokki sekä mänty. Lisäksi kontrollinäytteet otettiin sorakasasta, jossa ei kasvanut mitään.

Näytteenottoja oli kaksi: ensimmäiset näytteet otettiin 22.-29.6.2021 välisellä ajalla, toiset näytteet otettiin 17.-18.8.2021 välisellä ajalla. Koeala koostui 60 cm x 60 cm kokoisesta alueesta kasvivyksilön ympärillä. Maaperänäytteet otettiin kasvin juuriston läheltä kairaamalla käsikairalla 10 cm:n syvyydeltä pintamaasta. Maaperänäytteitä otettiin yhteensä kolme kutakin koealaa kohden. Näytteet laitettiin samaan näytepussiin. Lehtialan määrittämistä varten kasvista otettiin valokuva, joka tietokoneella rajattiin merkkitikkujen avulla 60 cm x 60 cm mukaisesti.

Laboratoriossa orgaanisen aineksen määrittäminen tehtiin hehkutushäviön avulla. Näytteitä kuivatettiin ensin petrimaljoilla yön yli 105 °C:ssa, jonka jälkeen kuivatut maaperänäytteet hehkutettiin upokkaissa 550 °C:ssa, jolloin orgaaninen aines palaa pois näytteestä. Näytteet punnittiin upokkaissa ennen ja jälkeen hehkutuksen, jonka jälkeen laskettiin kaavan 1. avulla orgaanisen aineksen pitoisuus maanäytteissä. Valokuvista analysoitiin tietokoneella MatLab-ohjelmiston Canopeo-sovelluksella lehtialan suhteellinen osuus valokuvasta.

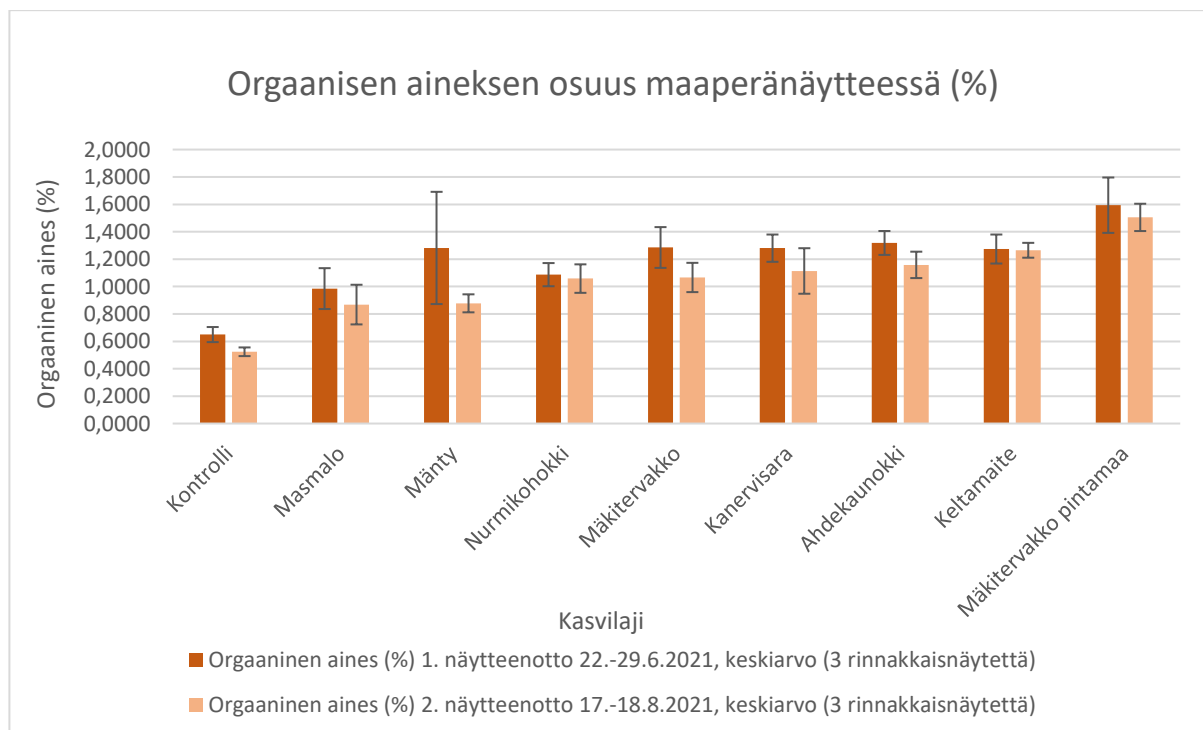


6.2 Tulokset

Noron soranottoalueelta otettujen maaperänäytteiden orgaanisen aineksen pitoisuudet on esitetty keskiarvoina taulukossa 1. sekä pylväsdiagrammissa kuvassa 12. Rinnakkaisia näytteitä oli kutakin kasvilajia kohden 3.

Kasvi	Orgaaninen aines (%), keskiarvo 1. näytteenotto	Orgaaninen aines (%), keskiarvo 2. näytteenotto	Keskihajonta 1. näytteenotto	Keskihajonta 2. näytteenotto
Kontrolli	0,6495	0,5238	0,0550	0,0317
Masmalo	0,9851	0,8684	0,1491	0,1448
Mänty	1,2819	0,8775	0,0846	0,1040
Nurmikohokki	1,0869	1,0581	0,1489	0,1069
Mäkitervakko	1,2851	1,0663	0,2022	0,0998
Kanervisara	1,2802	1,1137	0,1059	0,0542
Ahdekaunokki	1,3183	1,1582	0,0872	0,0964
Keltamaite	1,2739	1,2648	0,0997	0,1662
Mäkitervakko pintamaa	1,5940	1,5048	0,4097	0,0657

Taulukko 1. Orgaanisen aineksen osuus (%) maaperänäytteissä kasvilajeittain sekä keskihajonnat.



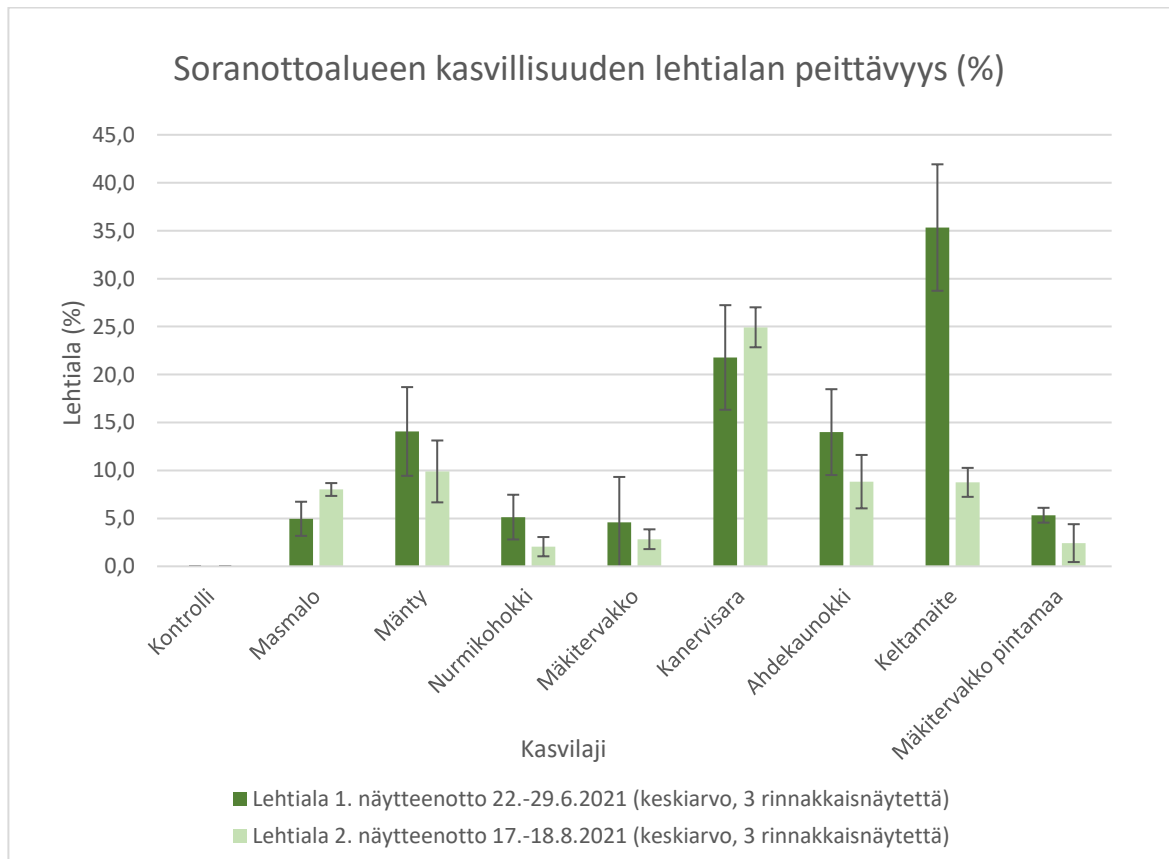
Kuva 12. Orgaanisen aineksen osuus (%) maaperänäytteissä kasvilajeittain. Virhepalkit kuvaavat keskiarvoa ± keskivirhe.



Noron soranottoalueen kasvillisuuden lehtialan peittävyys on esitetty keskiarvoina kutakin kasvilajia kohden taulukossa 2. sekä pylväsdiagrammina kuvassa 13. Rinnakkaisia näytteitä oli kutakin kasvilajia kohden 3.

Kasvi	Lehtiala (%) keskiarvo, 1. näytteenotto	Lehtiala (%) keskiarvo, 2. näytteenotto	Lehtiala keskihajonta, 1. näytteenotto	Lehtiala keskihajonta, 2. näytteenotto
Kontrolli	0,000	0,000	0	0
Masmalo	4,957	8,013	0,6691	0,6691
Nurmikohokki	5,133	2,050	1,0050	1,0050
Mäkitervakko	4,583	2,827	1,0303	1,0303
Mäkitervakko pintamaa	5,330	2,420	1,9761	1,9761
Keltamaite	35,330	8,757	1,5107	1,5107
Ahdekaunokki	13,997	8,830	2,7863	2,7863
Kanervisara	21,780	24,927	2,0851	2,0851
Mänty	14,063	9,897	3,2272	3,2272

Taulukko 2. Kasvillisuuden lehtialan peittävyys (%) kasvilajeittain sekä keskihajonnat.



Kuva 13. Noron soranottoalueen kasvillisuuden lehtialan peittävyys (%) keskiarvoina. Virhepalakit kuvaavat keskiarvoa \pm keskivirhe.



6.3 Tulosten tarkastelu

Orgaanisen aineksen pitoisuus ei lisääntynyt näytteenottojen välillä millään kasvilajilla. Myös kontrollinäytteissä orgaanista ainesta oli vähemmän 2. näytteenoton näytteissä verrattuna 1. näytteenoton näytteisiin. Kontrollinäytteet otettiin alueelta, jossa ei kasvanut mitään ja kontrollinäytteissä orgaanista ainesta olikin vähemmän verrattuna muihin näytteisiin. Eniten orgaanista ainesta on mäkitervakolla, jonka näytteet oli otettu alueelta, johon oli levitetty pintamaata. Pintamaan sisältämä orgaaninen aines muun muassa karikkeessa ja humuksessa vaikuttavat mahdollisesti tulokseen. Lisäksi maise-mointi kyseisellä lohkolle oli tehty jo aiemmin, joten maaperän hiilivarastot ovat voineet kasvaa pidempään, kuin vuonna 2019 kylvettyjen paahdelajien osalta.

Joillain kasvilajeilla erot orgaanisen aineksen pitoisuuksissa näytteenottojen välillä ovat hyvin pienet, kuten esimerkiksi masmalolla (0,9851 % ja 0,9741 %) ja keltamaitteella (1,2739 % ja 1,2648 %). Männyllä sen sijaan erot näytteenoton välillä olivat hieman merkittävämmät (1,2819 % ja 0,8775 %).

Selittäviä tekijöitä orgaanisen aineksen määrän vähenemiselle näytteenottojen välillä voi olla useita. Ensimmäisen näytteenoton aikaan sää oli pitkään ollut kuiva ja helteinen. Juuri ennen toista näytteenottoa, alueella oli satanut rankasti ja rinteellä oli havaittavissa veden kuluttamia uomia sorassa. Voi olla siis mahdollista, että orgaanista ainesta olisi huuhtoutunut näytteenottojen välissä. Eroja orgaanisen aineksen määrässä voi myös selittää se, että maaperänäytteitä ei otettu täsmälleen samoista kohdista. Lisäksi näytteenottojen välinen aika oli suhteellisen lyhyt, vain 58 päivää. Tällöin merkittävää määrää kasvibiomassaa ei ollut kertynyt maaperään, kuten esimerkiksi kasvukauden loputtua olisi voinut tapahtua.

Lehtialan osalta tulokset osoittavat lehtialan osuuden kasvaneen joillain kasveilla, joil-lain puolestaan lehtiala on taas vähentynyt. Tulosten perusteella keltamaitteen lehtialan keskiarvo on suurin ensimmäisessä näytteenotossa. Toisessa näytteenotossa puoles-taan kanervisaran lehtialan peittävyys on suurin. Toisaalta keskihajonta on melko suuri, eli kasvilajeissa koealojen välillä oli eroja. Toisessa näytteenotossa mäkitervakkojen ja nurmikohokkien varret ja kukinnot olivat ruskettuneet, jolloin vihreä lehtiala jäi vähäi-
semmäksi.

7. POHDINTAA

Ilmastonmuutoksen hillinnän ja siihen sopeutumisen tavoitteet ovat pohjimmiltaan sa-mat – ehkäistä ekosysteemeille ja ihmiskunnalle ilmastonmuutoksen seurauksena koi-tuvia haittoja (Maa- ja metsätalousministeriö 2014). Kuitenkin hillinnän ja sopeutumi-sen keinovalikoimat voivat olla keskenään osin ristiriidassa. Näitä ristiriitoja ja kysy-myksiä onkin tarpeen tarkastella. Soranoton seurauksena syntyneet avoimet alueet ovat erittäin tärkeitä ilmastonmuutokseen sopeutumisen näkökulmasta. Jos alueelta kuitenkin vapautuu hiiltä enemmän kuin sitä sitoutuu, ei voida puhua ilmastonmuutok-sen hillinnästä. Metsittämisen vaikutus on usein päinvastainen: tehokkaan metsätalou-den jalkoihin jäävät avointen alueiden suojelutavoitteet ja ilmastonmuutokseen



sopeutuminen, mutta puuston avulla saadaan ilmakehästä sidottua hiiltä. Mielenkiintoisen lisän tarkasteluun tuo avointen alueiden albedo-ilmiö. Sen lisäksi, että avoimet alueet auttavat ekosysteemiä sopeutumaan ilmastonmuutokseen monimuotoisuuden edistämisen kautta, voi albedo-ilmiöllä olla vaikutusta ilmastonmuutoksen hillintään.

Eri maisemointitavoilla voidaan hakea yhteistä ratkaisua sekä sopeutumiseen että hillintään. Huomioimalla soranottoalueella eri kasvuolosuhteita, esimerkiksi pintamaan humuspitoisuutta ja rinteiden jyrkkyyttä, sekä perustamalla erilaisia elinympäristöjä, voidaan löytää ratkaisuja sekä hillintään että sopeutumiseen. Niittyjen perustaminen voi kasvattaa biomassaa enemmän kuin avointen alueiden paahdelajisto, jolloin saadaan aikaan mahdollisesti merkittävämpi hiilinielu, mutta saavutetaan kuitenkin puuttomien alueiden etuja. Lahopuiden käyttö jälkihoidossa tarjoaa linkin hiilensidonnan ja kiertotalouden välille. Esimerkiksi kaupungit ovat lahopuiden lähteitä (Peuhu & Siitonen 2011). Kaupungeista peräisin olevien lahopuiden käyttö parantaisi kiertotalouden kautta jälkihoidon kokonaiskestävyyttä.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset tulevat näkymään myös kiviainesalueiden kasvuolosuhteissa. Kiviaineksen tuotantoalueiden, kuten soraomonttujen ja kallioulouhosten kasvuolosuhteet vaihtelevat muun muassa paikallisilmaston, maaperän sekä veden saataavuuden mukaan. Yleisesti Suomessa kasvillisuus on sopeutunut lumisiin talviin ja lämpötilojen vuodenaikaisvaihteluihin. Eteläisen ja pohjoisen Suomen välillä on eroja kasvukauden pituudessa, ja lajien levinneisyysalueet vaikuttavat myös maisemoinneissa kylvettävien kasvilajien valintoihin. (Ilmasto-opas n.d.) Vuonna 2020 tilastoitu termien kasvukausi alkoi Lapissa noin 1,5 kuukautta myöhemmin kuin Uudellamaalla ja päättyi noin kuukautta aiemmin (Ilmatieteen laitos 2021).

Alati muuttuvassa ilmastossa voi kuitenkin myös maa-ainesalueiden kasvuolosuhteissa tapahtua muutoksia. Ilmastonmuutoksen arvioidaan pidentävän kasvukautta 1-2 kuukaudella kasvihuonekaasupäästöistä riippuen. Jos kasvihuonekaasupäästöt lisääntyvät siten, että vuosisadan loppuun mennessä maapallon keskilämpötila nousee 2 °C:lla, voi Etelä-Suomessa termien kasvukausi pidentyä 2 kuukaudella, yhdellä kummastakin päästä. Vaikka lämpötila nousisi 0,3-0,7 °C vuosisadan loppuun mennessä, termien kasvukauden on arvioitu pidentyvän silti kuukaudella. (Ruosteenoja ym. 2016)

Joitain alueellisia eroja voi kuitenkin ilmetä soranottoalueiden ilmastovaikutuksissa. Arvioiden mukaan eteläisessä Suomessa lumipeitteiset päivät vähenevät vuosisadan loppuun mennessä noin puolella, ja pysyvää lumipeitettä tavattaisiin ainoastaan Lapissa. (Jylhä ym. 2009) Tällä voi olla vaikutusta albedon positiivisiin ilmastovaikutuksiin lumipeitteisyyden vähentyessä Etelä-Suomen soranottoalueilla. Toisaalta, jos paahdeympäristöjen suojele yleistyvät ja säteilyä heijastavia avoimia alueita on tulevaisuudessa enemmän, voi albedoilmiöllä olla ympärivuotisia ilmastovaikutuksia.

Kasvihuonekaasupäästöjen määrä vaikuttaa ympäristössä tapahtuvien muutosten voimakkuuteen (esim. IPCC 2019). Jälkihoidon yhteydessä aktiivisesti hiiltä sitomalla voidaan soranottoalueilla jälkihoidon yhteydessä poistaa ilmakehästä hiiltä ja siten vaikuttaa kasvihuonekaasujen määrään ilmakehässä. Tällöin myös ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset kasvuolosuhteissa voisivat vähentyä. Toisaalta, kytkennät ilmastonmuutoksen ja ekosysteemien välillä ovat hyvin pitkällä aikavälillä tapahtuvia. Jos käytännöt hiilen mahdollisimman tehokkaasta sitomisesta sekä luonnon monimuotoisuuden lisäämisestä yleistyisivät jälkihoidossa, voitaisiin saada Suomessa, sekä tutkitun



tiedon levitessä myös globaalisti, aikaan merkittäviä hiilinieluja ja arvokkaita elinympäristöjä.

Hiilinielujen lisääminen kiviaineksen tuotantoalueille edesauttaisi osaltaan Suomen pääsemistä hiilineutraalius- ja ilmastotavoitteisiin. Suomen tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä, mikä edellyttää toimia eri sektoreilla. Ilmastolakia uudistetaan vastaamaan hiilineutraalisuustavoitetta sekä muita sitovia kansainvälisiä ja EU:n ilmastotavoitteita. (Valtioneuvosto 2019; MMM2021)

8. YHTEENVETO

Tämän raportin tavoitteena oli selvittää alustavasti keinoja, joilla soranottoalueilla ja kallioulouhoksilla voidaan aktiivisesti lisätä hiilen sitoutumista. Tavoitteena oli myös tarkastella jälkihoidon roolia ilmastomuutoksen sopeutumisessa. Kirjallisuudessa nousi esille tiettyjen kasvilajien, lahopuiden sekä kosteikkojen potentiaali hiilinieluinä. Selvitys puoltaa avointen alueiden suojelua.

Jälkihoitotoimenpiteissä avoimilla alueilla, kuten soranottoalueilla ja kallioulouhosten etelään viettävillä luiskilla, kannattaa suosia ainakin seuraavia kasvilajeja:

- masmalo
- keltamaite
- tunturikurjenherne
- mäkitervakko
- sianpuolukka
- kanervisara
- ketoneilikka
- kangasajuruoho

Kirjallisuus osoittaa, että paahdeympäristöihin sopeutuneet kasvilajit toimivat hiilinieluinä sekä voivat sitoa syvälle ulottuvilla juurillaan hiiltä maaperään. Sora-alueilla kuitenkin veden ja sen mukana myös ravinteiden ja hiilen huuhtoutuminen on haaste hiilensitoutumisen näkökulmasta. Soranottoalueilla paahdeympäristöissä kannattaa suosia LUMO-maisemoinneissakin käytettyjä monivuotisia, syväjuurisia ruohokasveja. Myös typensitojakasvien, kuten masmalon ja tunturikurjenherneen kylväminen kannattaa, sillä ne lisäävät ravinteisuutta maaperässä ja siten edesauttavat orgaanisen aineksen määrän kasvua. Kaiken kaikkiaan biomassan kasvattaminen kasvillisuuden avulla lisää myös maahan päätyvän orgaanisen aineksen ja sitä kautta hiilen määrää. Kasvillisuuden lisääntyessä alueella, myös maaperän vedenpidätyskyky kasvaa ja maaperän mikrobitoiminta lisääntyy. Avointen alueiden säilyttäminen on ensiarvoisen tärkeää, mutta osalle soranottoalueen pinta-alasta voidaan myös istuttaa metsää sekä perustaa niittyjä.

Selvityksessä sivuttiin myös hieman kosteikkojen perustamisesta kallioulouhoksille sekä niiden potentiaalia toimia hiilinieluinä. Kosteikkojen perustamiseen liittyy haasteita, kuten veden vaihtumiseen liittyvien kysymyksien ratkaiseminen. Kuitenkin monimuotoisuuden sekä hiilinielujen luomisen kannalta kosteikoissa on suurta potentiaalia.



Vaikka selvityksen tulokset osoittavat maisemoitavien kiviainesalueiden potentiaalin hiilinieluinä ja maaperän hiilivaraston kasvattajina, lisää tutkimusta aiheesta kuitenkin tarvitaan. Kokeellisen osion tulokset ovat vasta alustavia, sillä aineistosta ei ole vielä tehty tilastollista analyysia. Jatkotutkimusta ajatellen erityisen mielenkiintoista ja tarpeellista olisi selvittää hiilidioksidivuo soranottoalueen maaperän ja ilmakehän välillä. Soranottoalueen hiilitaseen sekä muiden kasvihuonekaasupäästöjen määrittäminen antaisivat lopullisen kuvan alueen hiilen kierrosta sekä ilmastovaikutuksista. Kiviainesalueet voivat olla osa ilmastokriisin ja luonnon monimuotoisuuskadon ratkaisua.



LÄHTEET

Kirjallisuuslähteet:

Campbell, N. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., Reece, J. B., & Urry, L. A. 2018. *Biology: a global approach* (Global edition.). Pearson.

Coleman, D. C., Crossley, D. A. & Hendrix, P. F. 2004. *Fundamentals of Soil Ecology*. 2. laitos. Elsevier Academic Press.

Gadd, G. M. 2006. *Fungi in biogeochemical cycles*. Cambridge University Press.

Huhta, V., Hallanaro, E.-L., Calhim, S., Haimi, J., Kataja-aho, S., Koponen, S., Muona, J., Penttinen, R., Setälä, H., Strömmer, R., Uddström, A., Vahtera, V., Valovirta, I., Karala, M., Laaksonen, M., & Bussman, M. 2019. *Elämää maan kätöksissä*. Gaudeamus.

Keddy, P. A. 2010. *Wetland ecology: principles and conservation* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Killham, K. 1994. *Soil ecology*. Cambridge University Press. Cambridge, Iso-Britannia.

Lavelle, P., & Spain, A. V. 2001. *Soil ecology*. Springer Science & Business Media.

Lorenz, K., & Lal, R. 2009. *Carbon sequestration in forest ecosystems*. Springer.

Schlesinger, W. H. & Bernhardt, E. S. 2013. *Biogeochemistry: an analysis of global change*. 3. laitos. Elsevier Print.

Artikkelit ja verkkolähteet:

Aaltonen, M. & Vestberg, M. 2005. Uudet tekniikat käyttöön avomaalla. MTT: Koe-toiminta ja käytäntö. 62(3): 4.

Alhainen, M., Niemelä, T., Siekkinen, J., Svensberg, M., Kuittinen, J., Nurmi, J., ... & Korkiakoski, P. 2015. *Kosteikko-opas*.

Bathiany S., Claussen M., Brovkin V., Raddatz T. & Gayler V. 2010. Combined biogeophysical and biogeochemical effects of large-scale forest cover changes in the MPI earth system model. *Biogeosciences* 7(5): 1383–1399.
<https://doi.org/10.5194/bg-7-1383-2010>.

Betts, R. A. 2000. Offset of the potential carbon sink from boreal forestation by decreases in surface albedo. *Nature* 408: 187–190.
<https://doi.org/10.1038/35041545>.



Bonan, G. B. 2008. Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*. 1444-1447.

Carbons Finland Oy. 2020. Paju. Ladattavat tuotekortit. Haettu 13.8.2021.
<https://carbons.fi/paju/>

Deumlich, D., Ellerbrock, R. & Frielinghaus, M. 2018. Estimating carbon stocks in young moraine soils affected by erosion. *Catena* (Giessen), 162, 51–60.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.11.016>

Dostálek T., Pánková H., Münzbergová Z. & Rydlová J. 2013. The effect of AMF suppression on plant species composition in a nutrient-poor dry grassland.
doi:10.1371/journal.pone.0080535.

Euroopan ympäristökeskus. Soil erosion. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/soil-erosion-by-water-1/assessment> Haettu 20.8.2021.

Finto. 2021. Maahengitys. <http://www.yso.fi/onto/koko/p74159> Haettu 23.9.2021.

Frank, D., Esper, J., Raible, C. ym. 2010. Ensemble reconstruction constraints on the global carbon cycle sensitivity to climate. *Nature* 463, 527–530.
<https://doi.org/10.1038/nature08769>

From, S. (toim.) 2005. Paahdeympäristöjen ekologia ja uhanalaiset lajit. Suomen ympäristökeskus. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40620/SY_774.pdf?sequence=1

Heikkinen, R. 1991. Multivariate analysis of esker vegetation in southern Häme, S Finland. *Annales Botanici Fennici* 28: 201-224

Heimsch, L., Helenius, J., Huusko, M. K., Höijer, L., Joonas, J. M., Kanerva, S., ... & Viskari, T. 2020. Hiiliopas: Katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin.

Hoppula, K. & Hoppula, K. 2018. Mykorritsa- eli sienijuurisymbioosi. LUKE: Luomuliiketoiminnan kehittäminen Suomessa. PowerPoint-esitys.
Ilmasto-opas. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ekologisiin prosesseihin ja Suomen luonnon monimuotoisuuteen. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/vaikutukset/-/artikkeli/399c86d0-fec7-472a-876c-75a862d37324/ekologiset-prosessit.html>
Haettu 13.7.2021

Ilmasto-opas. 2020. SYKE (Suomen Ympäristökeskus), Ilmatieteen laitos ja Aalto yliopisto. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/3a576a6e-bec5-44bc-a01d-11497ebdc441/kasvihuonekaasut-lammittavat.html>

Ilmatieteen laitos. 2021. Kasvukausi 2020. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kasvukausi-2020> Haettu 22.9.2021.



IPCC. 2014. Annex II: Glossary [Mach, K. J., Planton S. & von Stechow, C. (eds.)]. In: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, Pachauri, R. K. & Meyer, L. A. (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland: 117–130. (pdf) https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_Annexes.pdf

IPCC 2019. Special report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems.

IPCC-IPBES. 2021. Biodiversity and climate change – scientific outcome. https://www.ipbes.net/sites/default/files/2021-06/2021_IPCC-IPBES_scientific_outcome_20210612.pdf

Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Ruokolainen, L., Saku, S. ja Seitola, T. 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten, ACCLIM-hankkeen raportti 2009. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/15711/2009nro4.pdf?sequence=1>

Kittamaa, S., Rytteri, T., Ajosenpää, T., Aapala, K., Hallman, E., Lehesvirta, T., & Tukia, H. 2009. Harjumetsien paahdeympäristöt–nykytila ja hoito.

Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). 2018. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus ja ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. 388 s.

Kosteikko.fi. 2020. Perustaminen. <https://kosteikko.fi/kosteikon-perustaminen/>

Kukkonen, A. 2004. Suomalaisten luonnonkasvien viherrakennuskäyttöön liittyviä ohjeita tie- ja taajamaympäristöjä varten II. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT. Laukaan tutkimus- ja valiotaimiaseman viljelijätiedote 4/2004.

Känkänen, H. Keskitalo, M. & Riiko, K. 2011. Kerääjäkasvit - tutkimuksesta käytännön kokemuksiin. TEHO-hankkeen julkaisuja 4/2011. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/94188/Ker%E4%E4j%E4kasvit.pdf?sequence=2>

Luontoportti. Kukkakasvit. <https://luontoportti.com/c/1/kukkakasvit?sid=1> Haettu 18.6.

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). Joutoalueita metsittämällä voidaan saada lisätä metsäpinta-alaa. <https://mmm.fi/metsat/metsatalous/metsat-ja-ilmastonmuutos/joutoalueiden-metsitys>. Haettu 9.7.2021.

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). Metsien hiilinielut. <https://mmm.fi/metsat/metsatalous/metsat-ja-ilmastonmuutos/metsien-hiilinielut> Haettu 9.7.2021.



Maa- ja metsätalousministeriö. 2014. Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelma 2022. Valtioneuvoston periaatepäätös 20.11.2014. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 5/2014. 39 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-860-2>

Metsähallitus. Lahopuu. <https://www.metsa.fi/projekti/metsabiotalous-nayteikuna/lahopuu/> Haettu 20.8.2021.

Mäkipää, R. 2016. Metsien hyödyntäminen ja ilmastonmuutoksen hillintä. Luonnonvarakeskus (Luke). https://www.ilmastoviisas.fi/wp-content/uploads/2016/03/Makipaa_Raisa_esitys_15042016.pdf. Haettu 9.7.2021.

Niemelä, T. 2014. Kosteikkojen suunnittelu ja toteuttaminen. Riistakeskus.
Palokallio, J. 2021. Pohjoisissa metsissä myös kuollut puu on pitkäaikainen hiilen varasto. Maaseudun tulevaisuus. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/artikkeli-1.1539670>

Pekkonen, M., Rytteri, T., Belinskij, A., Koljonen, S., Mykrä, H., Kostamo, K., & Ahlroth, P. 2020. Tietotaso ja kokemukset ekologisesta kompensaatiosta Suomessa. *Peltokangas, K. ja Havisalmi, J. 2019. Maaperä on puustoa suurempi hiilivarasto. Natura 2/2019.* <https://www.naturehti.fi/2019/11/09/maapera-on-puustoa-suurempi-hiilivarasto/>

Peuhu, E., & Siitonen, J. 2011. Ontot puistopuut ovat merkittävä elinympäristö monimuotoiselle lahopuueliöstölle.

Pöyry, J. & Aapala, K. 2020. Lajit ja luontotyypit muuttuvassa ilmastossa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja.

Rautiainen, M., Kuusinen, N., Hovi, A., & Majasalmi, T. 2020. Boreaalisten metsien albedosta.

Rudus Oy. <https://www.rudus.fi/vastuullisuus/lumo-ohjelma>. Haettu 18.6.2021.

Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Kämäräinen, M. & Pirinen, P. 2016. Terminen kasvukausi lämpenevässä ilmastossa. *Terra 128: 1: 3–15.*

Schmidt, M. W., Torn, M. S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I. A., . . . Manning, D. A. 2011. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 478(7367), 49.

Sitra. Tulevaisuussanasto. Hiilitase. <https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/hiilitase/> Haettu 18.6.2021.

Stephens, G. L., O'Brien, D., Webster, P. J., Pilewski, P., Kato, S., & Li, J. 2015. The albedo of Earth. *Reviews of Geophysics*, 53(1), 141–163. <https://doi.org/10.1002/2014RG000449>



Suomen tilastokeskus. 2021. Ympäristö ja luonnonvarat: maantieteellisiä tietoja. https://www.tilastokeskus.fi/tup/suoluk/suoluk_alue.html#Maantieteellisi%C3%A4%20tietoja Haettu 23.9.2021.

Suomen ympäristökeskus (SYKE). Maa-ainestenottoluvat ja kiviainesvarannot. Web AppBuilder for ArcGIS. <https://syke.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=9af59a7f70ee43e5a6cd43cc47980422> Haettu 14.9.2021.

Syri, P., Käyhkö, V., Sihvonen, L., & Sirviö, S. 2021. Non-food-kasvit ja kierrätysmateriaalit maisemoinnissa – kasvatuskokeilut Oulussa. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/494325/ePooki%2035_2021.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Tieteen termipankki. 2014. Hiilinielu. <https://tieteentermipankki.fi/wiki/Biologia:hiilinielu> Haettu 17.7.2021.

Tieteen termipankki. 2014. <https://tieteentermipankki.fi/wiki/Biologia:hiihil%C3%A4hde> Haettu 17.7.2021

Valtioneuvosto. 2019. "Suomella on hyvät mahdollisuudet kestävän kehityksen mukaiseen ekologiseen jälleenrakentamiseen". <https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi>

Whalen, S. C. 2005. Biogeochemistry of methane exchange between natural wetlands and the atmosphere. *Environmental Engineering Science*: 22(1), 73-94.

Yle. 2020. Näin perustat niityn – paras kukkaloisto syntyy köyhään ja karuun maahan. <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2020/04/27/nain-perustat-niityn-paras-kukkaloisto-syntyy-koyhaan-ja-karuun-maahan>

Ympäristöministeriö. 2020. Maa-ainesten ottaminen ja opas ainesten kestäväseen käyttöön. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162506/YM_2020_24.pdf?sequence=4

Haastattelu:

Ryttäri, Terhi, FM, vanhempi tutkija, Suomen ympäristökeskus (SYKE), videohaastattelu, 7.7.2021, haastattelijana Sanni Rauhala.



SANASTO

Hiilinielu = ekosysteemi tai sen osa, jossa tapahtuvat prosessit tai aktiviteetit poistavat hiiltä ilmakehästä (Tieteen termipankki 2014).

Hiilivarasto = ekosysteemi tai sen osa, joka sitoo hiiltä itseensä, vaikka hiili ei olisi ilmakehässä. Esimerkiksi metsän hiilivarasto kasvaa metsän toimiessa hiilinieluna. (Ilmasto-opas n.d.)

Hiililähde = prosessi tai aktiviteetti, joka vapauttaa hiilidioksidia tai metaania ilmakehään. Esimerkiksi kasvi muuttuu hiililähteeksi silloin, kun se ei lahotessaan sido enää hiiltä, vaan vapauttaa sitä ilmakehään. (Tieteen termipankki 2014; Ilmasto-opas n.d.)

Hiilitase = Hiilitaseella tarkoitetaan hiilivaraston hiilen määrän muutosta aikayksikköä (vuotta) kohden. Positiivinen hiilitase tarkoittaa täten hiilivaraston kasvua. (Sitra n.d.)

Ilmastonmuutos = Ilmastonmuutoksella tarkoitetaan sääolojen yleisen luonteen muuttumista pitkällä aikavälillä. Käynnissä oleva ilmastonmuutos on pääasiassa ihmistoiminnan seurauksena. Ihmiskunta tuottaa toiminnallaan kasvihuonekaasuja, kuten hiilidioksidia, metaania ja dityppioksidia. Nämä kaasut voimistavat kasvihuonekaasumiötä, jossa ilmakehä päästää auringon säteilyn läpi, mutta estää maapallon lähettämän lämpösäteilyn karkaamasta avaruuteen. Kasvihuonekaasut lämmittävät ilmakehää, sillä ne pystyvät molekyyliarakenteidensa vuoksi muuttamaan saamansa energian takaisin säteilyksi. Ilman luontaista kasvihuoneilmiötä nykyisen kaltainen elämä maapallolla olisi mahdotonta, mutta fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuvat päästöt horjuttavat luontaista kasvihuonekaasutasetta. (IPCC 2019; Ilmasto-opas)

Maaperän orgaaninen aines = koostuu maaperään päätyneestä kuolleesta orgaanisesta aineksestä, kuten karikkeesta ja juurten erittämistä hiiliyhdisteistä niiden hajotessa osittain. (Killham 1994)

Maahengitys = maaperän mikrobit ja eläimet vapauttavat hajotustoiminnassa orgaaniseen ainekseen sitoutunutta hiiltä hiilidioksidina (Finto 2021).

Paahdeympäristö = avoin tai aukkoinen alue, joka on altis voimakkaalle auringonsäteilylle. Paahdeympäristöille ominaista ovat äärimmäisten olosuhteiden vaihtelut auringon päästessä pahtamaan suoraan pohjakerrokseen. Kasvillisuuden vähäisyydestä sekä auringon vaikutuksesta johtuen, maaperä paahdealueilla on usein hyvin kuiva. Maaperä paahdeympäristöissä on yleensä hyvin vettä läpäisevää hiekkaa tai moreenia. Paahdeympäristöjä on yleensä muodostunut harjujen etelä-länsi-suuntaisille rinteille, mutta myös ihmistoiminnan vaikutuksesta voi syntyä paahdeympäristöjä esimerkiksi soranottoalueille ja **ruderaattialueille** eli joutomaille. Paahdeympäristöissä on myös suhteellisen suuri osa mineraalimaasta näkyvissä. (From 2005)



Liite 1

Kaava 1. Orgaanisen aineksen määrittäminen (hehketushäviö).

1. Tuhka (%) = $\frac{(\text{upokkaan paino} + \text{tuhka (g)} - \text{tyhjän upokkaan paino (g)}) * 100}{\text{kuiva maa (g)}}$
2. Hehketushäviö (%) = orgaanisen aineksen pitoisuus = 100 - tuhka (%)

Esim. 1.

1. Tuhka (%) = $\frac{(11,35733 \text{ g} - 8,05502 \text{ g}) * 100}{3,33488 \text{ g}} = 99,02335316... \%$
2. Hehketushäviö (%) = $100 - 99,02335316... \% = 0,97664684... \% \approx 0,98 \%$

