

Heikkotuottoisten metsäojitettujen soiden ennallistaminen – oikeilla kohdevalinnoilla ja hyvillä käytänteillä kohti turvattua maaperän hiilivarastoa ja kohentunutta toiminnallista monimuotoisuutta



Euroopan unionin rahoittama –
NextGenerationEU



TurvaHiili hankkeen loppuraportti

1. Hankkeen esittely

1.1. Perustiedot hankkeesta

Hankkeen nimi: Heikkotuottoisten metsäojitettujen soiden ennallistaminen – oikeilla kohdevalinnoilla ja hyvillä käytänteillä kohti turvattua maaperän hiilivarastoa ja kohentunutta toiminnallista monimuotoisuutta (TurvaHiili)

Hankkeen toteuttajat: Itä-Suomen yliopisto (UEF), Helsingin yliopisto (HY), Geologian tutkimuskeskus (GTK), Luonnonvarakeskus (Luke)

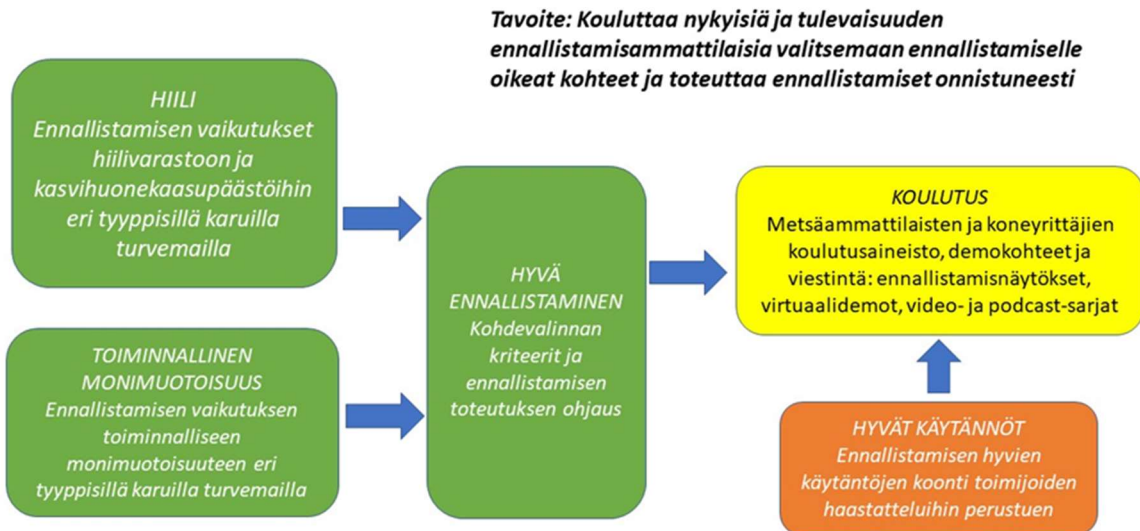
1.2. Hankkeen tavoitteet

Maankäyttösektorin ilmastotoimenpidekokonaisuuden tavoitteena oli edistää siirtymää kohti ilmastokestävää maa- ja metsätaloutta ja muuta maankäyttöä. Rahoitettavilla hankkeilla vauhditetaan maankäyttösektorin päästöjen vähentämistä, hiilinielujen ja -varastojen ylläpitämistä ja vahvistamista, varautumista ja sopeutumista ilmastomuutokseen sekä tuotetaan tietoa ilmastotoimien tueksi ja edistetään kyseisen tiedon käyttöä.

TurvaHiili-hanke vastasi tähän ottaen päätavoitteekseen kouluttaa nykyisiä ja tulevia käytännön toimijoita valitsemaan oikeat kohteet karujen soiden ennallistamiseen ja toteuttamaan ennallistaminen onnistuneesti. Tavoitteen saavuttamiseksi tuli 1. määritellä tutkimustietoon pohjautuvat selkeät ja käyttökelpoiset kriteerit suometsäkohteille, joiden ennallistaminen johtaa maaperän hiilivaraston turvaamiseen, lisääntyneeseen hiilinieluun ja kohentuneeseen toiminnalliseen monimuotoisuuteen pitäen samalla metaaniemissiöt alhaisella tasolla sekä 2. Määritellä ja viestiä monikanavaisesti hyvät käytänteet, joita noudattamalla saadaan käynnistettyä ekosysteemin kehitys kohti tavoitetilaa.

Päästäksemme päätavoitteeseen toteutimme hankkeen viitenä työpakettina (TP1- TP5), jolla kullakin oli oma yksityiskohtaisempi alla kuvattu tavoitteensa (Kuva 1):

1. Määritellä ennallistamisen vaikutus erilaisten karujen soiden hiilenkertymään, hiilen häviämistästiuteen ja kasvihuonekaasuvoihin
2. Määritellä ennallistamisen vaikutus erilaisten karujen soiden toiminnalliseen monimuotoisuuteen
3. Luoda selkeät indikaattorit karujen soiden ennallistamisen onnistumiselle
4. Selvittää hyvään (ja huonoon) lopputulokseen johtavat ennallistamiskäytänteet
5. Kouluttaa metsätalouden toimijoita suunnittelemaan ja toteuttamaan ennallistamista onnistuneesti



Kuva 1. TurvaHiili-hankkeen tavoite ja työpaketit.

1.3. Yhteenveto hankkeesta

Aihe: Hankkeen aiheena oli karujen soiden ennallistaminen. Keskityimme karuihin soihin, joiden metaanipäästöjen tiedetään olevan maltillisia ja joiden puuntuotto on heikkoa.

Vastuuhenkilöt: Hankkeen kokonaisuudesta vastasi Eeva-Stiina Tuittila (UEF) ja työpaketeista Kari Minkkinen (HY), Paavo Ojanen (HY), Liisa Maanavilja (GTK), Jukka Turunen (GTK), Anna Laine-Petäjäkangas (UEF), Teppo Hujala (UEF), Lasse Aro (Luke), Päivi Merilä (Luke) ja Anne Tolvanen (Luke).

Budjetti:	Budjetti, €	Toteutunut, €
UEF	559 700	554 263
LUKE	355 813	319867
GTK	133 240	136014
HY	99 749	99 873

Tekninen toteutus: Hanke toteutettiin viitenä työpakettina. Näistä kaksi ensimmäistä määritteli ennallistamisen onnistumisen uuden orgaanisen aineksen kertymisena suon pintaan, turpeen hajoamisen hidastumisena, maan hiilinielun elpymisenä ja toiminnallisen monimuotoisuuden lisääntymisenä. Kolmas työpaketti yhdisti nämä kohteenvalintakriteeristöksi. Neljäs työpaketti määritteli ennallistamisen hyvät käytänteet kokoamalla käytännön toimijoiden kokemuksia haastatteluin ja vieraillemalla haastateltavien toteuttamilla ennallistamiskohteilla yhteistyössä Tornator Oyj:n, Koneyrittäjien ja METO Yrittäjien kanssa. Viides työpaketti vei tuloksia käytäntöön koulutuksen ja viestinnän avulla.

Tavoitteet: Päättävänä oli kouluttaa nykyisiä ja tulevia käytännön toimijoita valitsemaan oikeat kohteet karujen soiden ennallistamiseen ja toteuttamaan ennallistaminen onnistuneesti. Tätä varten määritellään tutkimustietoon pohjautuvat selkeät ja käyttökelpoiset kriteerit ojitetuille suometsäkohteille, joiden ennallistaminen johtaa maaperän hiilivaraston turvaamiseen, lisääntyneeseen hiilinieluun ja kohentuneeseen toiminnalliseen monimuotoisuuteen pitäen samalla

metaaniemissiöt alhaisella tasolla. Lisäksi määritellään ja viestitään monikanavaisesti hyvät käytänteet, joita noudattamalla saadaan käynnistettyä ekosysteemin kehitys kohti tavoitetilaa.

Keskeiset tulokset ja tulosten arviointi: TurvaHiili-hankkeessa kehitimme kriteeristön onnistuneelle kohteenvalinnalle ja kokosimme yhteen hyvät käytänteet heikkotuottoisten metsäojitettujen suometsien onnistuneelle ennallistamiselle. Välitimme onnistuneen kohteenvalinnan kriteereitä ja hyviä käytänteitä operaatioita suunnitteleville ja ennallistamistöitä tekeville nykyisille ja tuleville käytännön toimijoille. Tätä toteutimme hankkeessa laaditulla video- ja audioaineistolla, joka on suunnattu myös metsäkonealan oppilaitosten sekä Itä-Suomen ja Helsingin yliopistojen metsäopetuksen käyttöön. Lisäksi järjestimme ennallistamisnäytöksen ja kaksi retkeilyä ennallistamiskohteille, joilla esittelimme hankkeen tuloksia.

Hankkeen tuottamat julkaisut: Hankkeen päättyessä ensimmäiset hankkeen tulosten pohjalta laaditut käsikirjoitukset on julkaistu ja yksi on arvioitavana kansainvälisessä vertaisarviointia käyttävässä lehdessä. Loput tulokset tullaan julkaisemaan hankkeen päättyttyä mm. osana hankkeen jatko-opiskelijoiden väitöskirjatöitä.

2. Hankkeen toteutus ja toteutusvaiheen arviointi

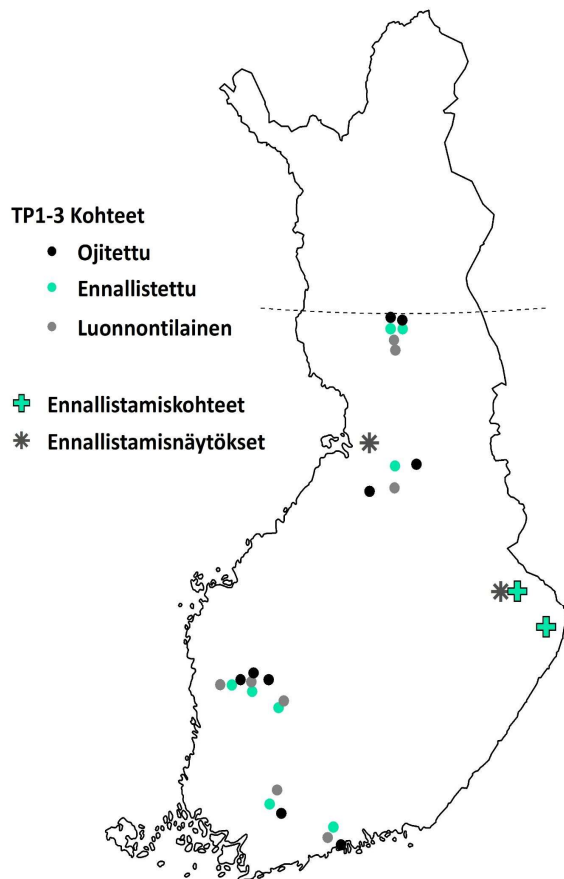
2.1. Menetelmät ja aineisto

Otanta: Työpakettit 1–3 pohjautuivat pääosin maastossa tehtäviin tutkimuksiin. Otantaan kuului 25 suota, jotka sijaitsivat kahdeksassa ryhmässä (Taulukko 1, Kuva 2). Suot sijaitsivat maantieteellisesti koko Suomen kattavalla alueella pohjoisesta etelään. Ravinteisuudeltaan ne olivat ombro/oligotrofisia.

Taulukko 1. Työpakettien 1–3 tutkimuskohteet. Ryhmien 1–5 kohteet sijaitsivat keidassuovyöhykkeellä, ryhmien 6–8 kohteet aapasuovyöhykkeellä.

Ryh- mä	Kohde	Alue	Ojitustila	Suotyyppi	Suotyyppin selite	Turpeen paksuus cm
1	Stormossen	Sipoo	ojitettu	LKNR	LyhytkorsinevarämeMu	500
1	Stormossen	Sipoo	ennallistettu	IR	Isovarpuräme	370
1	Stormossen	Sipoo	luonnontilainen	KER	Keidasräme	390
2	Lahnalaminsuo	Häme	ojitettu	KARR	KanervarahkarämeMu	210
2	Torransuo	Häme	ennallistettu	KARR	Kanervarahkaräme	690
2	Torransuo	Häme	luonnontilainen	KER	Keidasräme	700
3	Alkkianneva	Parkanon seutu	ojitettu	KARR	KanervarahkarämeMu	290
3	Kauhaneva	Parkanon seutu	ennallistettu	KER	Keidasräme	200
3	Kauhaneva	Parkanon seutu	luonnontilainen	KER	Keidasräme	210
4	Lylynneva	Parkanon seutu	ojitettu	JATKI	Jäkäläturvekangas (I)	280
4	Lylynneva	Parkanon seutu	ennallistettu	KARR	Kanervarahkaräme	230
4	Lylynneva	Parkanon seutu	luonnontilainen	KER	Keidasräme	220
5	Huhdanneva	Parkanon seutu	ojitettu	KARR	KanervarahkarämeMu	140

5	Musta-Soljanen	Parkanon seutu	ennallistettu	VARR	Variksenmarjarahkaräme	220
5	Liinakangas	Parkanon seutu	luonnontilainen	KER	Keidasräme	180
6	Kotaneva	Vaala-Siikalatva	ojitettu	VSR	Varsinainen sararämeMu	80
6	Kallioniemensuo	Vaala-Siikalatva	ojitettu	VSR	Varsinainen sararäme	135
6	Tolkansuo	Vaala-Siikalatva	ennallistettu	VSN	Varsinainen saraneva	130
6	Tolkansuo	Vaala-Siikalatva	luonnontilainen	ORIN	Oligotrofinen rimpineva	135
7	Koirasuo itäinen	Rovaniemen seutu	ojitettu	VATKII	Varputurvekangas (II)	40
7	Koirasuo itäinen	Rovaniemen seutu	ennallistettu	VATKII	Varputurvekangas (II)	50
7	Joutensuo pohjoinen	Rovaniemen seutu	luonnontilainen	TR	Tupasvillaräme	90
8	Koirasuo läntinen	Rovaniemen seutu	ojitettu	VATKII	Varputurvekangas (II)	70
8	Koirasuo läntinen	Rovaniemen seutu	ennallistettu	VATKII	Varputurvekangas (II)	70
8	Joutensuo eteläinen	Rovaniemen seutu	luonnontilainen	IR	Isovarpuräme	70



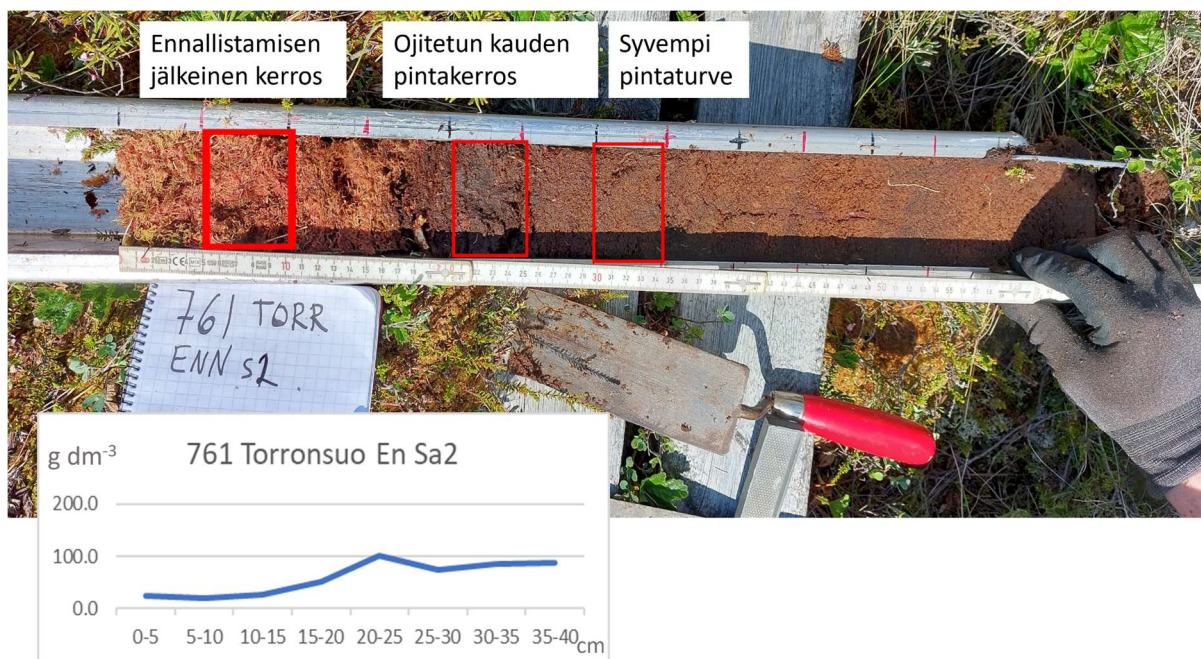
Kuva 2. TurvaHiili-hankkeen tutkimuskohteiden, ennallistamiskohteiden ja ennallistamisnäytösten sijainnit.

Kasvihuonekaasumittaukset: Hyödynsimme aiemmin kerättyä, mutta julkaisematonta kasvihuonekaasuaineistoa luonnontilaisilta, ojitetuilta ja ennallistetuilta karuilla soilta (Taulukko 1). Tutkimuksessa mitattiin metaani-, hiilidioksidi-, ja typpioksiduulipäästöjä kammiomenetelmällä vuosina 2014–2015. Päästöjä mitattiin kuudelta pisteeltä/suo siten että mittaus kattoi kohteen topografian ja kasvillisuuden vaihtelun (mätäs- ja painannepinnat, ojat). Lisäksi heterotrofisen hengityksen (CO₂-vuo) määrittämiseksi osasta pisteistä katkottiin juuret asentamalla mittauspisteeseen metallilieriö ja poistettiin pintakasvillisuus. Mittauspisteen halkaisija oli 31,5 cm. Hiilidioksidimittaukset tehtiin kannettavalla infrapuna-analysaattorilla (EGM4+SRC-1). Metaani- ja typpioksiduulimittaukset tehtiin keräämällä kaasu näytteet ruiskuihin ja analysoimalla ne kaasukromatografilla laboratoriossa. Kohteilta mitattiin myös maan lämpötilat 5 ja 30 cm syvyyksiltä sekä vedenpinnan syvyys. Mittauksia tehtiin 11 kertaa touko-lokakuussa vuosina 2014–2015. Mittausten perusteella laskettiin jokaiselle kohteelle kasvukauden ja koko vuoden KHK-päästöt Ojanen ym. (2019) periaatetta noudattaen. Aineistosta on aiemmin julkaistu tulokset N₂O-päästöjen osalta (Minkkinen ym. 2020).

Turpeen kertyminen: Kohteilta (Taulukko 1) kerättiin vuonna 2023 yhteensä 112 pintaturveprofiilia (0–40 cm). Näytteenotto suoritettiin tilavuustarkalla, ruostumattomasta teräksestä valmistetulla laatikkomallisella kairalla (70 x 70 x 1000 mm). Näytteet otettiin vallitsevalta sarkapinnalta sekä ojitettujen ja ennallistettujen kohteiden ojista, jos niissä oli orgaanista ainesta. Sekä saroilta että ojista kerättiin kolme rinnakkaisnäytettä. Jokaisesta turveprofiilista otettiin valokuva, jossa rullamitta oli näkyvässä. Turvenäytteet otettiin 5 cm välein ja säilytettiin muovipusseissa pimeässä ja viileässä (+4 °C) ennen analysointia. Turvenäytteet esikäsiteltiin Geologian tutkimuskeskuksessa (GTK), missä näytteet kuivattiin uunissa (Memmert UFE800 -malli) vakiomassaan 105 °C ja punnittiin kuivatilavuuspainon (BD, g dm⁻³) laskemiseksi.

Arvioimme ennallistettujen soiden sarkojen näyteprofiileista turveprofiilin eri kerrokset: ennallistamisen jälkeen muodostunut uusi orgaaninen aines, ojitetun kauden pintakerros ja alempi turvekerros. Arviointi perustui näyteprofiileista otettuihin valokuviin, kasvilajikoostumukseen ja näytteiden kuivatilavuuspainoihin (Kuva 3). Poimimme alkuaineanalyysiin näytteet näistä kerroksista (Kuva 3). Yleisimmät syvyydet ennallistettujen näytteille olivat 5–10, 15–20 ja 35–35 cm. Ojitettujen kohteiden saroilta näytteet alkuaineanalyysiin poimittiin 0–5 (uuden karikkeen kerros), 15–20 ja 30–35 cm syvyyksistä, luonnontilaisilta kohteilta 5–10 ja 20–25 cm syvyyksistä. Ojista näytteet poimittiin 5–10 ja 20–25 syvyyksistä. Jos uutta orgaanista ainesta oli ojassa vähemmän, syvempi näyte otettiin yhtä ylempää tai jätettiin pois.

Turvenäytteet analysoitiin Eurofins Environment Testing Finland Oy -laboratoriossa Jyväskylässä, missä ne jauhettiin, ja tuhkapitoisuus analysoitiin hehkutushäviönä (LOI) 815 °C. Näytteiden C-H-N-pitoisuudet analysoitiin LECO 628 CHN -analysaattorilla (900 °C). Kokonaisrikkipitoisuus analysoitiin ELTRA CS-580 – analysaattorilla (1350 °C). Näytteiden happipitoisuus määritettiin erotuksena: %O = 100 - % (tuhka + C + N + H + S). Näytteille laskettiin alkuainepitoisuuksien tiheys (g dm⁻³ kuiva-ainetta). Alkuaineen massa (g m⁻²) määritettiin erikseen kullekin kerrokselle. Ennallistetuille kohteille ennallistamisen jälkeen kertynyt hiilen massa jaettiin ennallistamisen iällä, jolloin saatiin määritettyä hiilen kertymisnopeus (g m⁻² vuosi⁻¹).



Kuva 3. Näytteenotto turveprofiiliin eri kerroksista, esimerkki Torronsuolta.

Turpeen hajoamisastetta ja hajoamisherkkyttä kuvaavat stoikiometriset alkuainesuhteet, C/N-, C/P-, C/S-, O/C- ja H/C-atomisuhdet, laskettiin yksittäisten näytteiden massojen perusteella. Lisäksi laskettiin C-hapetustila (Cox) ja oksidatiivinen suhde (OR) Masiellon ym. (2008) mukaan. Tulosten tilastollinen analyysi tehtiin käyttäen funktiota lmer (Kuznetsova ym. 2017) R-ympäristössä (versio 4.4.1, R ydintiimi 2024). Tekstissä mainitut erot ovat tilastollisesti merkitseviä tasolla $p < 0,05$.

TP2 Toiminnallinen monivuotoisuus

Työssä hyödynnettiin sekä aiemmin kerättyä monivuotista kasvillisuusaineistoa Kuhmon seudulla vuonna 2007 ennallistetuilta soilta että TurvaHiili-hankkeen kohteilta (Taulukko 1, Kuva 2) hankkeen aikana kerättyä aineistoa.

Kuhmon aineistosta on jo aiemmin julkaistu ennallistamista seuraavien ensimmäisten vuosien kehitys (Laine ym. 2011), mutta tämän hankkeen puitteissa käsitelimme julkaisematonta aineistoa, joka kattoi 20 vuotta ennallistamisesta. Tämän aineiston keruussa käytetyt menetelmät on luettavissa Laine ym. 2011 artikkelista. Kasvillisuusaineiston lisäksi hyödynsimme aiemmin julkaistuja, pääosin suomalaisilta soilta kerättyjä kasvilajien toiminnallisten ominaisuuksien aineistoja.

TurvaHiili-hankkeen kohteille teimme kasvillisuusinventoinnit heinä-elokuussa 2023. Perustimme jokaiselle suolle kolme kymmenen metrin linjaa rinnakkain ja sijoitimme niille näytealat metrin välein toisistaan. Arvioimme kultakin ympyrän muotoiselta ja halkaisijaltaan 30 cm näytealalta sen sisällä olevien kasvilajien projektiopeittävyden. Peittävyysaineiston perusteella keräsimme yleisimmistä kasvilajeista näytteet (viisi näytettä per laji) niiden toiminnallisten ominaisuuksien määrittämistä varten (mm. rahkasammalkasvuston tiheys, putkilokasvien lehden tiheys). Yhteensä inventoimme 750 kasvillisuusnäytealaa ja keräsimme 1265 putkilokasvinäytettä ja 558 rahkasammalnäytettä. Kaikki kasvinäytteet on käsitelty.

Kasvinäytteiden lisäksi keräsimme kuoriameebanäytteitä suon pinnasta (3 cm kerros) keskimmaiselta kasvillisuuslinjalta (10 kpl per suo, eli yhteensä 250 näytettä). Laboratoriossa valomikroskoopin avulla määritimme näytteistä kuoriameebojen lajit ja mittasimme niiden toiminnallisia ominaisuuksia (mm. kuoren ja suuaukon koko, yhteyttämiskyky). Hankkeen päättymisen aikaan kultakin suolta on analysoitu kaksi kuoriameebanäytettä: yksi ojalinjalta, yksi saralta.

TP3 Hyvän ennallistamiskohteen kriteerien määritteleminen

Keräsimme kahden ensimmäisen työpakettin (TP1-2) aloilta ekologiseen toimintaan liittyviä tunnuksia (mm. turvekangastyyppi, alkuperäinen suotyyppi, suotyyppi, suoalueen koko, kohdealueen koko, valuma-alueen ominaispiirteet, etäisyys lähimmälle luonnontilaisille suolle, vesitase), ja yhdistimme nämä työpaketeissa 1 ja 2 kerättyihin tietoihin. Näitä tietoja vertailemalla valitsimme kriteeristön lupaavalle ennallistamiskohteelle.

Lisäksi laitoimme alulle systemaattisen kirjallisuuskatsauksen laajempaa vertailua varten. Katsaukseen kerättiin englanninkielisiä, lauhkean ja boreaalisen vyöhykkeen alueella tehtyjä metsäojitettujen soiden ennallistamista koskevia tutkimuksia vuosilta 1993–2023. Tarkempaan tarkasteluun valikoitui 94 tieteellistä artikkelia, joiden tulokset koostettiin taulukkoon aihepiireittäin. Taulukon tiedoista on tekeillä tiivistetty yhteenveto, jonka avulla TP1, TP2 ja TP3 tuloksia voidaan peilata kansainvälisiin tuloksiin.

TP4 Hyvät ennallistamiskäytänteet

Nykyisin *hyviksi koetut ennallistamiskäytänteet* (esimerkiksi suunnitteluun, työmaiden valmisteluun, viestintään, rahoitukseen ja ennallistamisen toteutukseen liittyen) kartoitettiin kirjallisuudesta. Samalla tallennettiin havainnolliset esimerkit selkeimmistä epäonnistumisista ja niihin johtaneista syistä. Lähtötilanteen selvittämisen jälkeen suunniteltiin teemahaastattelut: kohderyhmä (koneyrittäjät, suunnittelijat, maanomistajat, viranomaiset), haastattelujen rakenne (kuten esihaastattelun suhde syvällisempään haastatteluun) ja sisältö (kysymykset). Haastattelut tallennettiin, litteroitiin ja analysoitiin (teemoittelu, argumenttianalyysi). Esihaastatteluja tehtiin 24 kpl ja syventäviä 15 kpl.

Ennallistamiskohdevierailut, joilla arvioitiin karujen ojituskohteiden ennallistumisen ekologista tilaa eri ajanjaksojen kuluttua toimenpiteestä, kohdistettiin TP1:n ja 2:n kohteille. Ekologista tilaa arvioitiin kasvillisuuden ja vesitalouden palautumisen kautta. Lisäksi hankkeessa päädyttiin hyödyntämään turvekerroksen ominaisuuksista kerättävää aineistoa (TP1) ja kuoriamebatutkimusta (TP2) myös tässä työpaketissa.

TP5 Viestiminen ja koulutus

Metsätalouden toimijoiden koulutus -työpakettiin saatiin syöte muista työpaketeista. Ensin tunnistettiin ja jäseneltiin olennaiset aineiston sisältöteemat ja asiantuntijat. Tämän jälkeen laadittiin koulutusmateriaalin käsikirjoitukset. Tiedon välittämisen jakelukanaviksi valittiin teemoittaiset podcastit ja videot. Audiovisuaalisten aineistojen tekninen tuotanto kilpailutettiin. Ennallistamisen demonstraatiokohteet valittiin hankkeen yhteistyökumppaneiden joukosta. Pohjois-Karjalassa

Lieksan Kontiosuo valittiin hankkeessa toteutettavaksi ennallistamiskohteeksi, josta saatiin ennallistamisen eri osa-alueita havainnollistavaa kuva- ja videomateriaalia työn eri vaiheissa. Kontiosuon ennallistamiskohteen suunnittelija ja toteuttaja oli hankkeen yhteistyökumppani. Muut ennallistamisen demonstraatiokohteet päädyttiin toteuttamaan kevennetysti hyödyntämällä yhteistyökumppanien jo toteutuksessa olevia tai hiljattain ennallistettuja kohteita Pohjois-Pohjanmaalla ja Kanta-Hämeessä.

2.2. Aikataulu ja resurssit (sis. toteutuksen organisaatio ja yhteistyökumppanit)

Hanke toteutettiin Itä-Suomen yliopiston, Helsingin yliopiston, Geologian tutkimuskeskuksen ja Luonnonvarakeskuksen tutkijoiden tiiviissä yhteistyössä. Yhteistyö sujui hyvin.

Itä-Suomen yliopisto vastasi hankkeen koordinoinnista, kasvillisuusinventoinneista, kasvien toiminnallisten ominaisuuksien määrittämisestä ja kuoriamebanäytteiden analysoimisesta sekä näiden pohjalta toiminnallisen monimuotoisuuden arvioimisesta (TP2), TP1 ja TP2 tulosten viemisestä yhteen kohdevalinnan tueksi (TP3), haastattelututkimuksesta hyvien käytänteiden määrittämiseksi (TP4) ja tulosten pohjalta tehtävästä viestinnästä ja koulutuksesta (TP5).

Helsingin yliopisto tarjosi aiemmin perustetut karujen luonnontilaisten, ojitettujen ja ennallistettujen soiden koealat ja niiltä mitatun kasvihuonekaasuaineiston Turvahiili-projektin käyttöön (TP1-3) ja on kirjoittamassa tästä aineistosta tieteellisen käsikirjoituksen (TP1).

Geologian tutkimuskeskus vastasi turvenäytteiden otosta ja analysoinnista (TP1). GTK työskenteli myös kohteiden valinnassa etsimällä sopivia kohteita tietokannastaan (TP1-3) sekä osallistui kohdevalinnan indikaattorien määrittämiseen (TP3) ja tulosten pohjalta tehtyyn viestintään ja koulutukseen (TP5).

Luonnonvarakeskus osallistui kasvillisuuden toiminnallisen monimuotoisuuden arvioimiseen (TP2), ja vastasi hyvien käytänteiden määrittämisestä (TP4) ja tulosten pohjalta tehtävästä viestinnästä ja koulutuksesta (TP5) yhdessä Itä-Suomen yliopiston kanssa.

2.3. Kustannukset ja rahoitus

Käytössä ollut rahoitus

	<i>MMM:n myöntämä rahoitus</i>	<i>hankeosapuolten omarahoitus</i>
UEF:	391 800€	152 802
HY:	69 800€	27 222€
GTK:	93 200€	39 540€
Luke:	249 000€	97 110€

Hankkeen kokonaiskustannukset organisaatioittain

Itä-Suomen yliopisto

	Budjetti €	30.11.2023 Toteutuneet €	15.11.2024 Toteutuneet €	Jäljellä €
Henkilöstökustannukset	256900	66545,42	225384,49	-35029,91
YK	204600	47908,39	162366,84	-5675,23
Matkakustannukset	24800	7423,7	18118,41	-742,11
Ostopalvelut	61400	74,4	22151,44	39174,16
Muut kustannukset	12000	2062,18	2227,72	7710,1
YHTEENSÄ	559700	124014,09	430248,9	5437,01

Luonnonvarakeskus

TurvaHiili					
		30.11.2023	15.11.2024		
	Budjetti €	Toteutuneet €	Toteutuneet €	Jäljellä €	
Henkilöstökustannukset	165 491	44 826,99	122 610,50	-	1 946,49
YK	142 322	38 551,21	105 445,03	-	1 674,24
Matkakustannukset	13 000	895,33	4 588,94		7 515,73
Ostopalvelut	22 000	-	2 939,60		19 060,40
Muut kustannukset	13 000	-	9,45		12 990,55
YHTEENSÄ	355 813	84 274	235 594		35 946

Geologian tutkimuskeskus

Raportointikaudet	Budjetti alkuperäinen	Budjetti muutoksin*	1.12.2023 - 15.11.2024	YHTEENSÄ	Jäljellä	LASKUTETAAN
Budjetti						
Palkkakustannukset	47 769	52 780	22 810	52 780	0	52 780
Kotimaan matkakulut	5 000	5 500	76	5 143	357	5 143
Ulkomaan matka	0	2 500	1 507	1 507	993	1 507
Ostopalvelut	45 000	33 331	30 352	30 352	2 979	30 352
Yleiskustannukset 73%	34 871	38 529	16 651	38 529	0	38 529
Muut kustannukset	600	600	56	103	497	103
Arvonlisäverokustannukset	0	0	7 307	7 601	-7 601	4 729
Yhteensä	133240	133240	78759	136014	-2774	133 143
Rahoitusosuus 70%	93268	93268	55131	95210		93200
MMM:n myöntämä rahoitus	93 200	93 200				93 200

*Budjettimuutokset sovittu rahoittajan kanssa. Teimme turvenäytteiden kuivaamisen itse sen sijaan, että olisimme ostaneet sen ostopalveluna. Siirto ostopalveluista ulkomaan ja kotimaan matkakuluihin 14.3.2024.

Siirto ostopalveluista palkkakustannuksiin ja niihin kytkeytyviin yleiskustannuksiin 14.11.2024.

**Esitämme, että saisimme laskuttaa arvonlisäveroja MMM:n myöntämän rahoituksen kokonaissummaan asti.

Helsingin yliopisto

	Budjetti €	30.11.2023 Toteutuneet €	15.11.2024 Toteutuneet €	Jäljellä €
Henkilöstökustannukset	44856	13566,33	31479,75	-190,08
YK	48893	14787,33	34312,92	-207,25
Matkakustannukset	4000	1337,77	3665,66	-1003,43
Ostopalvelut	2000		56,93	1943,05
Muut kustannukset			435,75	-435,75
YHTEENSÄ	99749	29731	70142,04	-124,14
MMM rahoitusosuus	69824,3	20811,77	49012,53	0

Kustannukset on eritelty tarkemmin maksatushakemuksen yhteydessä.

2.4. Raportointi, julkaisut ja seuranta

Tähän mennessä kaksi käsikirjoitusta on julkaistu, yksi on sarjassa arvioitavana, ja kaksi lähetetään sarjaan talven 2024–2025 aikana. Loput tulokset tullaan julkaisemaan hankkeen päätyttyä mm. osana hankkeen jatko-opiskelijoiden väitöskirjatöitä. Hankkeeseen liittyen (TP4) on valmistunut Pro Gradu tutkielma ja hanketta ja hankkeen tuloksia on esitelty useissa tieteellisissä kokouksissa.

Julkaisut ja tieteelliset käsikirjoitukset:

Rana, P., Christiani, P., Ahtikoski, A., Haikarainen, S., Stenberg, L., Juutinen, A. & Tolvanen, A. 2024. Cost-efficient management of peatland to enhance biodiversity in Finland. *Scientific Reports* 14(1):2489. doi: 10.1038/s41598-024-52964-x

Laine, A. M., Ojanen, P., Lindroos, T., Koponen, K., Maanavilja, L., Lampela, M., Turunen, J., Minkkinen, K. & Tolvanen, A. 2024. Climate change mitigation potential of restoration of boreal peatlands drained for forestry can be adjusted by site selection and restoration measures. *Restoration Ecology*, e14213.

Opinnäytteet:

Siltovuori, V. 2024. Karujen ojitettujen soiden ennallistamisen hyvät käytänteet. Itä-Suomen yliopisto, luonnontieteiden, metsätieteiden ja tekniikan tiedekunta, metsätieteiden osasto. Metsä-tieteen pro gradu -tutkielma. 51 s.

Arvioitavana:

Kumpulainen N., Tuittila E-S., Tolvanen A., Tarvainen O., Yläne H., & Laine A. M., Restoration induced long-term vegetation change in oligotrophic peatlands, *Journal of Applied Ecology*.

Työn alla olevat tieteelliset käsikirjoitukset:

Ojanen, P., Minkkinen, K., et al. Does rewetting of forestry-drained peatlands restore natural greenhouse gas dynamics? Tekeillä oleva käsikirjoitus.

Maanavilja, L., Turunen, J. et al. Accumulation of new organic matter at restored nutrient-poor peatlands. Tekeillä oleva käsikirjoitus.

Kumpulainen N., Laine A., Tuittila E-S. Does restoration of forestry drained peatlands bring back the spatial variation typical for pristine peatland vegetation. Tekeillä oleva käsikirjoitus.

Rämö, N., Palacios Ganoza, B., Kumpulainen, N., et al. Impacts of restoration on forestry drained peatlands in boreal and temperate climates – a systematic review. Tekeillä oleva käsikirjoitus.

Rämö, N., Kumpulainen, N., Palacios Ganoza, B., et al. Impact of surrounding landscape on the success of peatland restoration - characteristics and restoration results of nutrient poor, forestry drained peatlands in boreal climate. Tekeillä oleva käsikirjoitus.

Palacios Ganoza, B. Laine A, Kuuri-Riutta O, Väliäntä M. Tuittila E-S. Response of peatland testate amoeba community to drainage and restoration as driven by response traits. Tekeillä oleva käsikirjoitus.

Kuuri-Riutta O., Palacios Ganoza, B., Yläntä H., Mitchell E., Väliäntä M., Tuittila E-S. The effects of a two-decade-long experimental water level drawdown on testate amoeba communities and functional traits of boreal peatlands. Tekeillä oleva käsikirjoitus.

Palacios Ganoza, B. Kuuri-Riutta O., Laine A. Yläntä H., Väliäntä M. Tuittila E-S. Does trait plasticity set a limit to the resistance of peatland testate amoebae communities to the pressure of climate change? Tekeillä oleva käsikirjoitus.

Konferenssi- ja seminaariesitykset:

Heikkotuottoisten metsäojitettujen soiden ennallistaminen – oikeilla kohdevalinnoilla ja hyvillä käytänteillä kohti turvattua maaperän hiilivarastoa ja kohentunutta toiminnallista monimuotoisuutta. Hankkeen järjestämä työpaja osana 3rd Atmosphere and Climate Competence Center (ACCC) Impact Week. 8-12.4.2024 Helsinki.

Hiiliviisaita karujen soiden ennallistamismenetelmiä – Itä-Suomen yliopiston vetämä TurvaHiili -hanke esittäytyy, Anna Laine-Petäjäkangas, GTK. Koitajoki-Koitere foorumi 2022. 7.10.2022 Ilomantsi

Heikkotuottoisten metsäojitettujen soiden ennallistaminen, Anna Laine-Petäjäkangas, UEF. Koitajoki-Koitere foorumi 2023. 25.10.2023 Ilomantsi

The long-term effect of restoration on nutrient poor peatlands' functional diversity, Noora Rämö, UEF. The Atmosphere and Climate Competence Centre & Finnish Atmospheric Science Network (ACCC-FASN) Science Conference 2023. 21-22.11.2023 Kuopio

The long-term effect of restoration on nutrient poor peatlands' functional diversity, Noora Rämö, UEF. Climate Forcing, Ecosystems and Health Research Community (CLEHE RC) Seminar days 2024. 25-26.3.2024 Joensuu

Systematic review on restoration of forestry drained peatlands in boreal and temperate climates, Noora Rämö, UEF. European Conference on Ecological Restoration (SERE 2024). 26.-30.2024 Tartto, Viro.

Testate amoebae (ta) as tool to assess ecological effects of restoration in boreal peatlands, Brunella Palacios Ganoza, UEF. 14th European Conference on Ecological Restoration (SERE 24). 26-30.8.2024 Tartto, Viro.

Accumulation of new organic matter at restored nutrient-poor peatlands, Liisa Maanavilja, GTK. 4th European Conference on Ecological Restoration (SERE 24). 26.-30.2024 Tartto, Viro.

Lähestyykö niukkaravinteisten soiden kasvilajisto ja kasvillisuuden monimuotoisuus luonnontilaa ennallistamisen jälkeen? Nina Kumpulainen, UEF. Suopäivä. 5.4.2024 Helsinki.

Long-term changes in the vegetation of oligotrophic peatlands following restoration, Nina Kumpulainen, UEF. 4th European Conference on Ecological Restoration (SERE 24). 26.-30.2024 Tartto, Viro..

TurvaHiili (*SafeCarbon*) – Ecological restoration of low-productive peatlands drained for forestry, Eeva-Stiina Tuittila, UEF. The Atmosphere and Climate Competence Centre & Finnish Atmospheric Science Network (ACCC-FASN) Science Conference 2024. 11-12.11.2024 Helsinki.

TurvaHiili (*SafeCarbon*) – Ecological restoration of low-productive peatlands drained for forestry, Eeva-Stiina Tuittila, UEF. 4th European Conference on Ecological Restoration (SERE 24). 26.-30.2024 Tartto, Viro.

Restoration induced long-term vegetation change in oligotrophic peatlands, Nina Kumpulainen, UEF. The Atmosphere and Climate Competence Centre & Finnish Atmospheric Science Network (ACCC-FASN) Science Conference 2024. 11-12.11.2024 Helsinki.

Restoration of low productivity drained peatlands – with well targeted site selection and good practices towards safeguarding of carbon storage and improved functional diversity, Eeva-Stiina Tuittila, UEF. RE3 (Reclaim, Restore, Rewild) 2023 Conference. 11-15.6.2023.

2.5. Toteutusvaiheen arviointi

Hakemus jätettiin 15.12.2021. Silloin toiminta-ajaksi suunniteltiin ohjeen mukaan 1.3.2022 - 31.12.2024. Hakemuksesta tehtiin myönteinen päätös 19.5.2022 ja silloin hanke oli määrätty päättyväksi 15.11.2024. Vuonna 2022 emme kyenneet rekrytoimaan uutta tai suuntaamaan olemassa olevaa henkilöstöä hankkeeseen ennen elokuuta. Näin ollen hanke menetti yhden kesäkauden

kenttätyöt (TP1, TP2). Tämä puolestaan hidasti muiden työpakettien edistymistä. Esimerkiksi demonstraatiokohteiden suunnittelua ja toteutuskumppaneiden löytämistä niihin eri puolille Suomea jouduttiin keventämään verrattuna alkuperäiseen suunnitelmaan. Samoin ison osan tuloksista tulemme julkaisemaan vasta hankkeen päätyttyä. Onneksi hankkeeseen rekrytoituilla jatko-opiskelijoilla on tiedossa jatkorahoitus (Kulttuurirahasto, Nesslingin rahasto, Suomen Akatemian Lippulaiva ACCC) joka mahdollistaa tämän toteutumisen.

2.6. DNSH-kriteerien toteutuminen

Hankkeen vaikutukset arvioinnin kohteena oleviin ilmasto- ja ympäristötavoitteisiin hankkeen elinkaaren aikana:

Ilmastonmuutoksen hillitseminen: Hankkeella ei katsota olleen ”merkittävää haittaa” tämän tavoitteen osalta, sillä hankkeessa tutkitun toimenpiteen todettiin ”edistävän merkittävästi” ilmastonmuutoksen hillintää vähentämällä ojiteltu suolta aiheutuvia CO₂ päästöjä ja lisäämällä vain vähän CH₄ emissiota.

Ilmastonmuutokseen sopeutuminen: Hankkeella ei katsota olleen ”merkittävää haittaa” tämän tavoitteen osalta, sillä hankkeessa esitettävä toimenpide ”edistää merkittävästi” Ilmastonmuutokseen sopeutumista vahvistamalla soiden ekosysteemipalveluita ja hiilinieluja myös muuttuvissa ilmasto-oloissa luokitusjärjestelmäasetuksessa tarkoitettulla tavalla.

Vesivarojen ja merten luonnonvarojen kestävä käyttö ja suojelu: Hankkeella ei ole ollut vaikutusta tähän ympäristötavoitteeseen tai vaikutus on ollut merkityksetön, kun otetaan huomioon toimenpiteen luonne ja sen suorat ja ensisijaiset epäsuorat vaikutukset sen elinkaaren aikana.

Kiertotalous, mukaan lukien jätteen synnyn ehkäiseminen ja vähentäminen: Hankkeella ei ole ollut vaikutusta tähän ympäristötavoitteeseen tai vaikutus on ollut merkityksetön, kun otetaan huomioon toimenpiteen luonne ja sen suorat ja ensisijaiset epäsuorat vaikutukset sen elinkaaren aikana.

Ilman, veden tai maaperän pilaantumisen ehkäiseminen ja vähentäminen: Hankkeella ei ole ollut vaikutusta tähän ympäristötavoitteeseen tai vaikutus on ollut merkityksetön, kun otetaan huomioon toimenpiteen luonne ja sen suorat ja ensisijaiset epäsuorat vaikutukset sen elinkaaren aikana.

Biologisen monimuotoisuuden ja ekosysteemien suojelu ja ennallistaminen: Hankkeessa tutkittu toimenpide ”edistää merkittävästi” suo ekosysteemien ekologista tilaa tähtäämällä ojitettujen soiden ennallistamiseen luokitusjärjestelmäasetuksessa tarkoitettulla tavalla, joten sen katsotaan olevan ”ei merkittävää haittaa” -periaatteen mukainen tämän tavoitteen osalta

3. Tulokset ja niiden arviointi

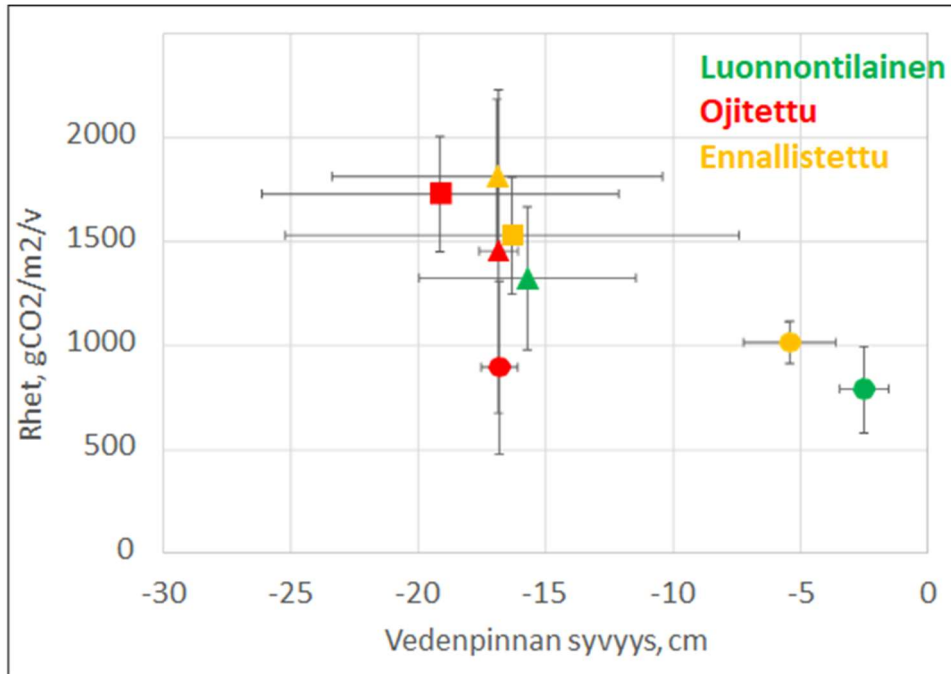
3.1. Tulosten esittely

TP1 Hiilivarasto ja kasvihuonekaasuvuot

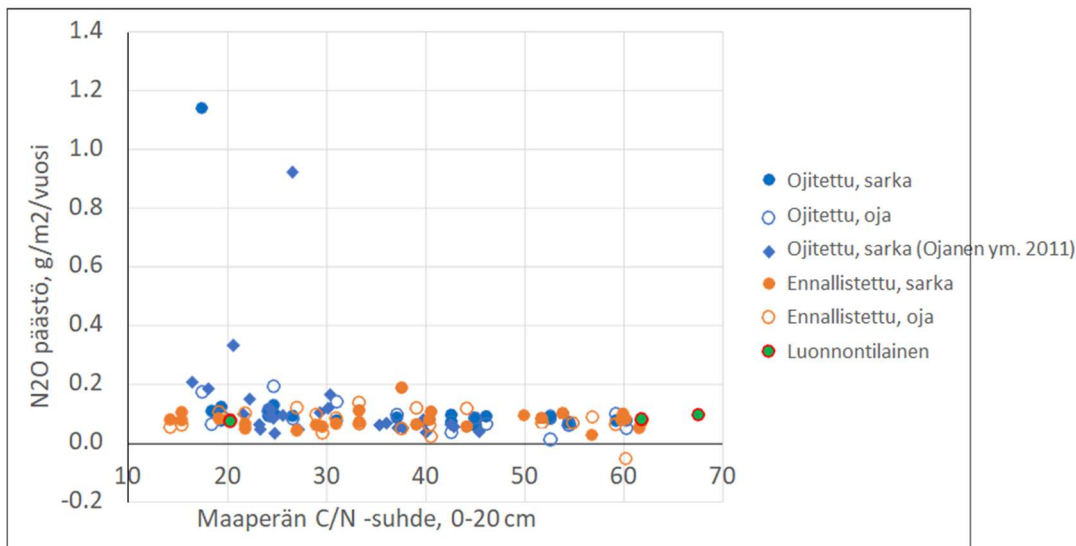
Kasvihuonekaasut

Eri tavoin käsiteltyjen (ojitettu, ennallistettu, luonnontilainen,) soiden KHK-päästöjä vertailemalla nähdään, että metsäojitettujen soiden maaperän hiilidioksidi- ja typpioksiduulipäästöt olivat keskimäärin hieman suurempia, ja metaanipäästöt pienempiä kuin luonnontilaisilla soilla (Kuvat 4, 5 ja 6). Ojitetuilla soilla metaanipäästöt ojista olivat selvästi suurempia kuin muilta pinnoilta. Yleisesti ottaen ojituksen aiheuttamat muutokset olivat kuitenkin melko vähäisiä ja tilastollisesti ei-merkittäviä. Vastaavasti ennallistaminen oli saanut aikaan metaani- ja typpioksiduulipäästöjen

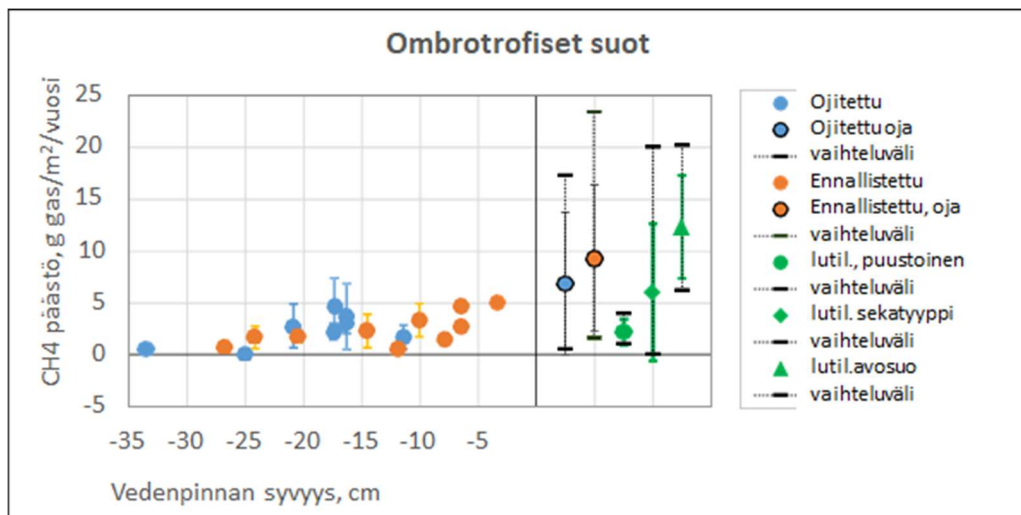
kehityksen kohti luonnontilaista tasoa, suuria metaanipiikkejä ei ennallistetuilla soilla havaittu. Täytetyt ojat tosin toimivat yhä edelleen samansuuruisina metaanin lähteinä kuin ojat ojitetuilla soilla. Heterotrofisesta hengityksestä syntyviä hiilidioksidipäästöjä ennallistaminen ei muuttanut merkittävästi (Kuva 4).



Kuva 4. Ombrotrofisten koealojen CO₂ -vuo heterotrofisesta hengityksestä suhteessa vedenpinnan etäisyyteen maanpinnasta. Koealoittaiset keskiarvot ja keskihajonnat. Neliöt = koeala, jolla ei ole mätäs-painanne -vaihtelua, kolmiot = mätäspinnat, ympyrät = painannepinnat



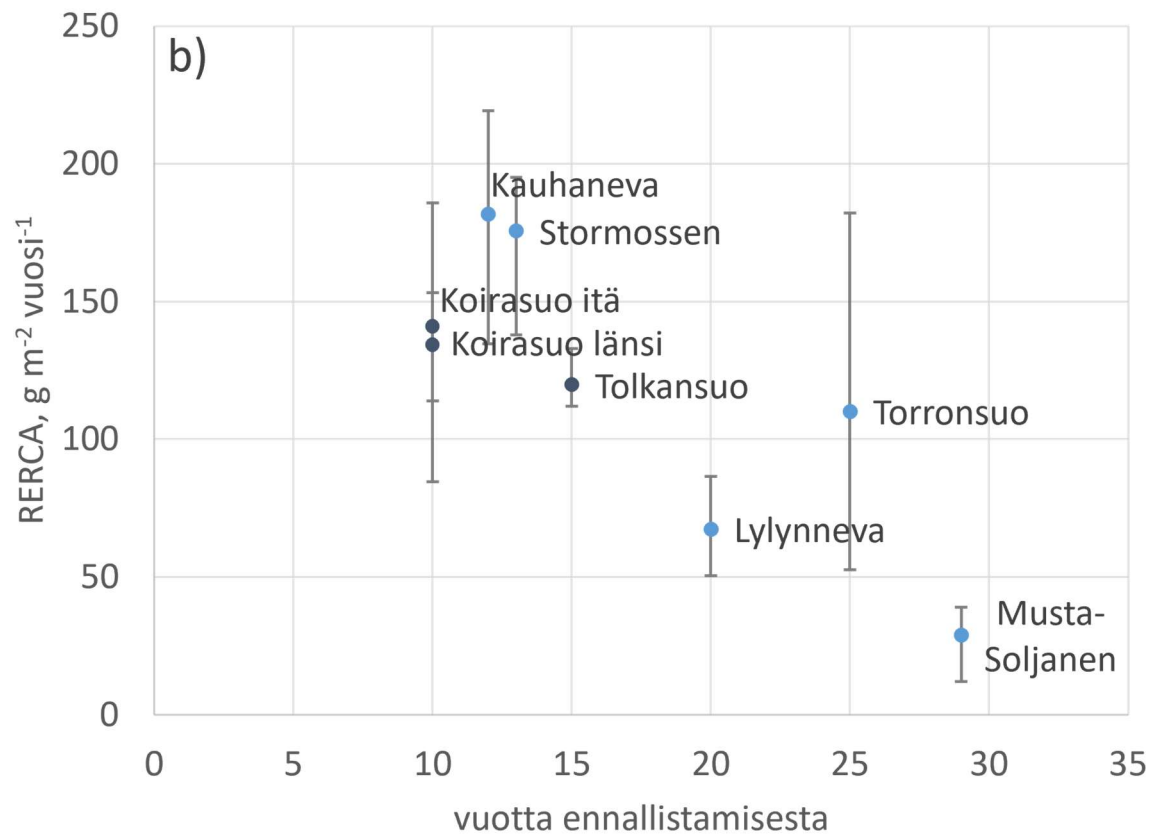
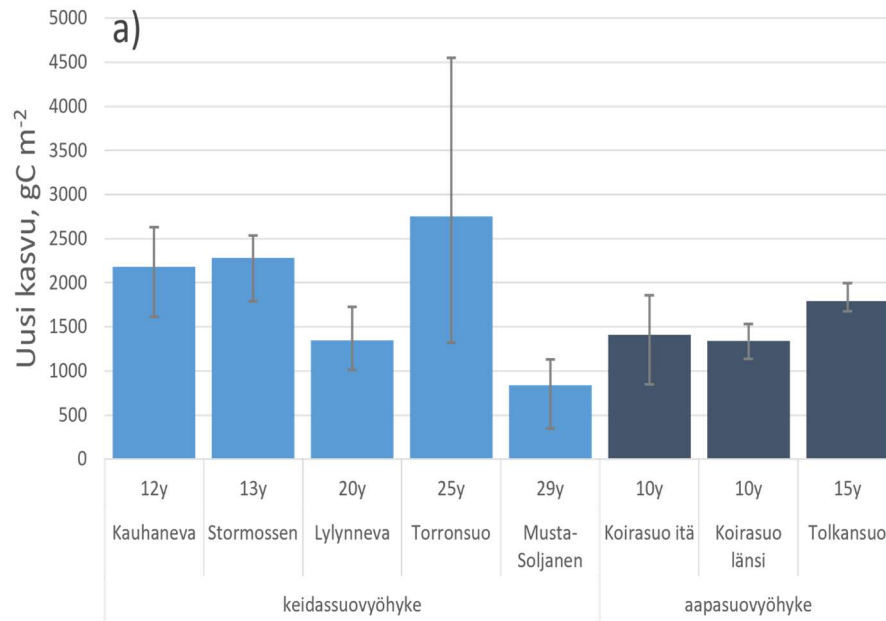
Kuva 5. N₂O-päästö maaperän C/N suhteen funktiona ombro- ja oligotrofisilla kohteilla tämän aineiston ja Ojanen ym. (2011) aineiston mukaan.

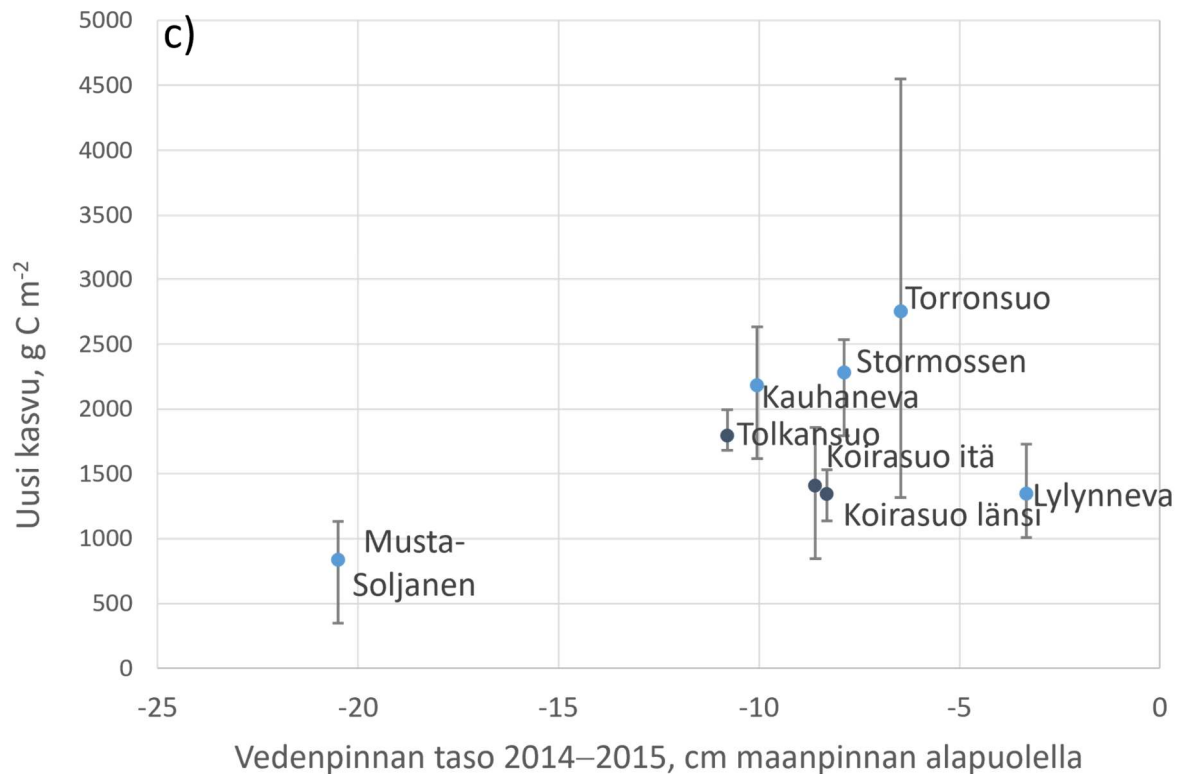


Kuva 6. Vasemmalla metaanipäästö ombrotrofisten soiden sarkapisteillä vedenpinnan syvyyden suhteen. Oikealla metaanipäästö ojitettujen ja ennallistettujen soiden ojapisteillä sekä erilaisilla luonnontilaisilla soilla (keskiarvo, -hajonta ja vaihteluväli).

Turpeen kertyminen

Ennallistettujen kohteiden pintaan oli kertynyt uusi orgaanisen aineksen kerros, keskimäärin 1743 g m⁻² ja 12 cm paksu (Kuva 7a). Ojiin orgaanista ainesta oli kertynyt keskimäärin 2732 g ja 24 cm, mutta ojiin kertyneen aineksen määrällä ei ollut yhteyttä sarkapintojen vastaaviin kertymiin. Orgaanisen aineksen kertyminen hidastui ennallistamisesta kuluneen ajan myötä: 25 vuotta aiemmin ennallistetulle Torronsuon kohteelle laskettu vuosittainen hiilen kertymä (RERCA, *recent apparent rate of carbon accumulation*) oli pienempi kuin 12 ja 13 vuotta aiemmin ennallistetuille Kauhanen ja Stormossen kohteille (Kuva 7b). Musta-Soljasella, jolla vedenpintaa ei ollut nostettu yhtä korkealle kuin muilla kohteilla, orgaanisen aineksen kertymä oli muita kohteita pienempi (Kuva 7c). Keskimääräinen vuosittainen hiilen kertymä, 150 g C m² vuosi⁻¹ oli samansuuruinen kuin Laatikaisen (2022) niin ikään karuilta soilta, 10 vuotta aiemmin ennallistetuilta, mittaama 145 g C m² vuosi⁻¹.



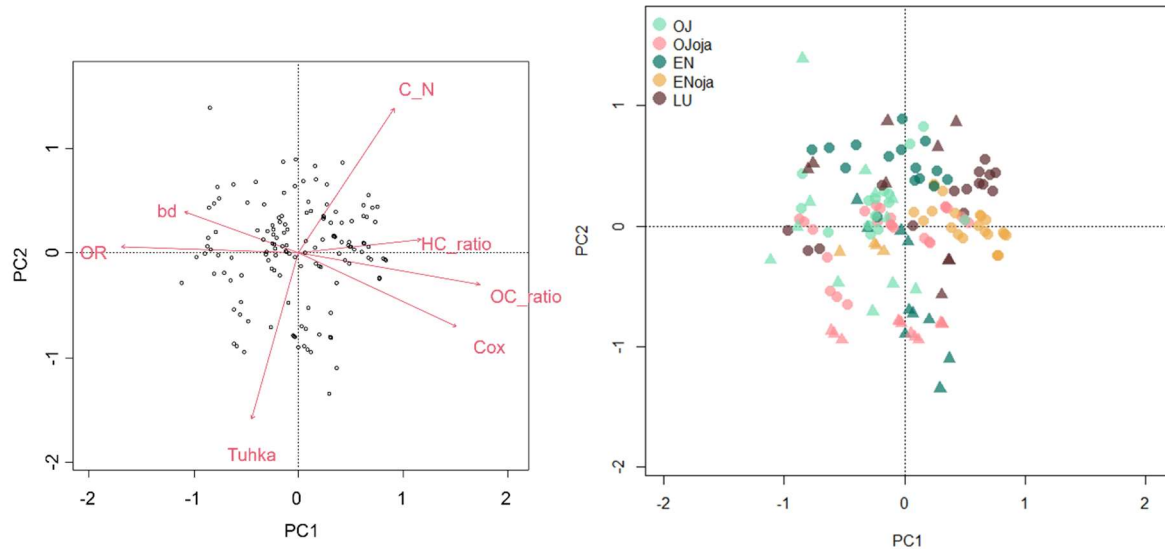


Kuva 7 a) Suon pintaan ennallistamisen jälkeen kerrostunut orgaaninen aines, g C m⁻². Keskiarvo ja vaihteluväli kolmesta näytteestä. b) Pinnan orgaanisen aineen kerrostumisnopeus ennallistamisesta kuluneen ajan suhteen, g C m⁻² vuosi⁻¹) Pintaan kerrostunut orgaaninen aines vuosina 2014–2015 kohteilta mitatun keskimääräisen vedenpinnan tason suhteen.

Keidassuo- ja aapasuovyöhykkeen soiden turpeen ominaisuudet erosivat toisistaan (Kuvat 8–11). Keidassuovyöhykkeen aineisto indikoi vahvaa korrelaatiota CN-suhteen ja suon ojitustilan välillä. Näyttää siltä, että CN-suhde on keidassuovyöhykkeen rahkavaltaisilla alueilla hyvä indikaattori myös turvemaiden ennallistamisen onnistumiselle. CN-suhteen on aikaisemmissa tutkimuksissa havaittu herkäksi maankäytölle ja hyväksi indikaattoriksi turvemaiden heikkenemiselle sekä maatalouden pintamaissa että metsänkasvatukseen kuivatuilla alueilla (Leifeld ym. 2020, Turunen ym. 2023). Turpeen hajoamistutkimuksissa CN-suhdetta käytetään kuvaamaan humifikaatiota ja massan häviötä. CN-suhteen käyttäminen indikaattorina perustuu havaintoon, että orgaanisen aineksen hajotessa typen rikastuminen suhteessa hiileen eli CN-suhteen pieneneminen on yleistä (Malmer ja Holm 1984, Kuhry ja Vitt 1996). Tässä tutkimuksessa keidassuovyöhykkeen ennallistamisen jälkeen syntyneen pintakerroksen ja luonnontilaisten soiden CN-suhde oli samaa suuruusluokkaa ja eri kuin ojitetuilla kohteilla, mikä viittaa turpeen vähentyneeseen hajoamiseen ennallistamisprofiileissa (Kuva 9).

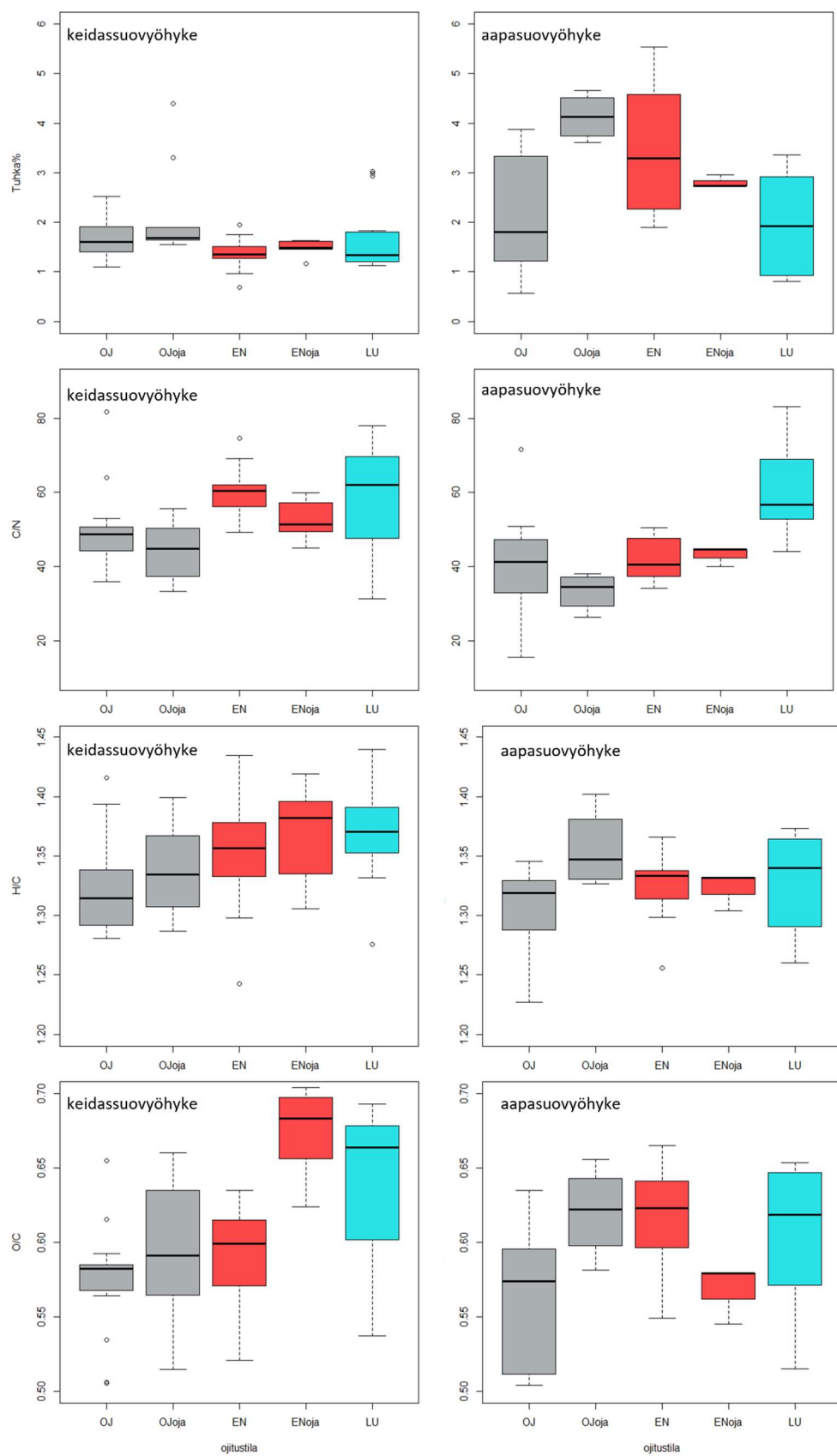
Aapasuovyöhykkeen ennallistetuilla soilla tuhkapitoisuus oli sekä ojitettuja että ojittamattomia verrokkeja korkeampi (Kuvat 8–11). Myös aapasuovyöhykkeen ojitetuilla ja luonnontilaisilla kohteilla esiintyi korkeampia tuhkapitoisuuksia kuin keidassuovyöhykkeen kohteilla, vaikka mediaani olikin samalla tasolla. Aapasuovyöhykkeellä ennallistettujen kohteiden CN-suhde ei eronnut ojitettujen kohteiden pintaturpeen CN-suhteesta, vaikka turpeen kasvu ja hiilikertymät olivat verrattavissa keidassuovyöhykkeen ennallistettuihin kohteisiin (Kuvat 9, 11). Yhtenä selittävänä tekijänä voi olla aapa- ja keidassuovyöhykkeen hydrologiset erot. Aapasuovyöhykkeellä suolle tulee ennallistamisen jälkeen sadeveden lisäksi myös ravinteista vettä ympäröiviltä alueilta, jolloin turpeen typpipitoisuus

pysyy keidassuovyöhykkeeseen verrattuna korkeammalla tasolla, eikä CN-suhde siten korreloi yhtä selkeästi turpeen ennallistamisprofiilien vähentyneen hajoamisen kanssa. Vety-hiili ja happi-hiili -suhteisiin, H:C- ja O:C, eivät valumavesien ravinteet vaikuta. Toisaalta aapasuovyöhykkeen otos on verrattain pieni: voi olla myös, että CN-suhteen kasvu ei vain näy tässä aineistossa.

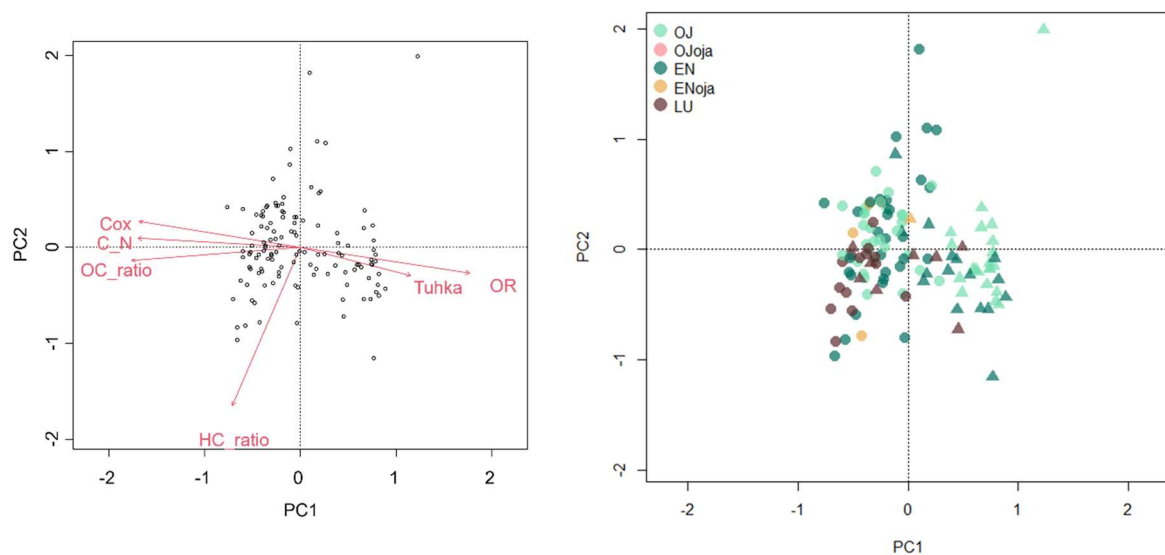


Kuva 8. Ennallistettujen (EN) ennallistamisen jälkeen kerrostunut pintakerros verrattuna ojitettuihin (OJ) ja luonnontilaisiin (LU) kohteisiin sekä ojiin. Pääkomponenttianalyysin tulokset, aineistona tilavuuspaino (bd), tuhkaprosentti, C/N-, O/C- ja H/C-atomisuhteet, C-hapetustila (Cox) ja oksidatiivinen suhde (OR). Keidassuovyöhykkeen näytteet ympyröinä, aapasuovyöhykkeen näytteet kolmioina.

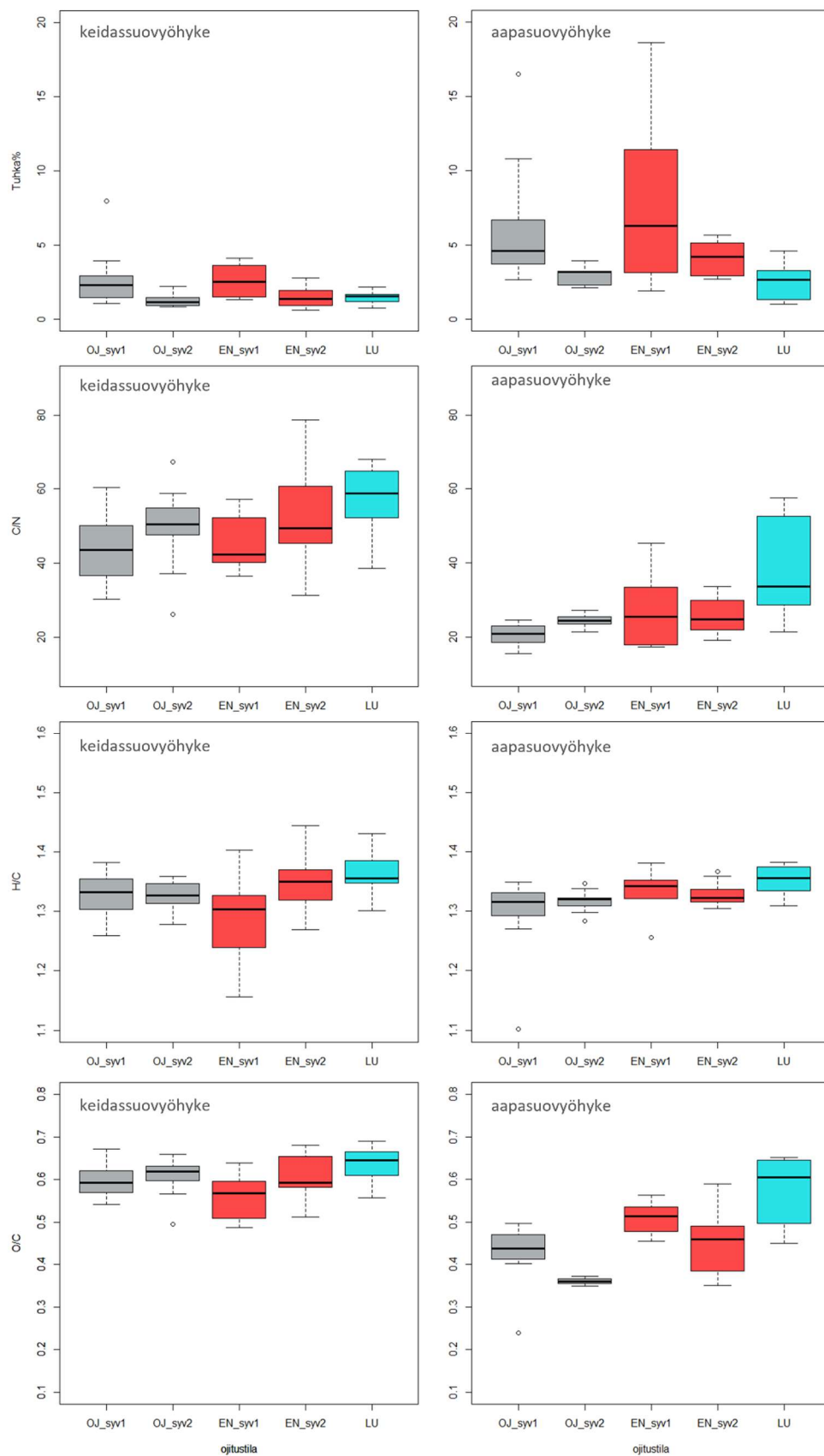
C:N suhteen tavoin H:C ja O:C suhteiden arvot kasvavat orgaanisen aineen hajoamisen myötä, mutta sen lisäksi niihin vaikuttaa lähtöaineen laatu: selluloosan H:C ja O:C-arvot ovat suuremmat kuin ligniinin (Teickner ym. 2022). Ennallistamisen myötä ligniinin määrän voi olettaa vähenevän, kun puu- ja varpukariketta syntyy vähemmän. Ennallistettujen soiden uudesta pintakerroksesta mittaamamme ojitettujen ja luonnontilaisten väliin sijoittuvat H:C ja O:C arvot (Kuva 9) johtuvat todennäköisesti enemmän karikkeen laadusta kuin maatumisesta, koska tilavuuspaino ja keidassuovyöhykkeellä myös C:N suhde olivat luonnontilaisen kaltaisia. Turpeen maatumisuus yleensä lisääntyy syvemmälle mentäessä. Aineistossamme kuitenkin keidassuovyöhykkeen soiden maatumisuus oli ennen ojitusta syntyneessä turpeessa (syvyys3) alhaisempaa kuin ojituksen aikaisessa pintakerroksessa (syvyys2) (Kuva 11). Tämä johtuu otannastamme (Kuva 3), johon valitsimme nimenomaan ojitetun vaiheen eniten maatumiseen pintakerroksen. Alempana on vähemmän maatumutta turvetta. Huomaamme tästä, että karuilla metsäojitetuilla soilla ojituksen vaikutus ei ulotu kovin syvälle. Aapasuovyöhykkeen soilla tosin ilmiötä ei näkynyt (Kuva 11).



Kuva 9. Ennallistettujen (EN) ennallistamisen jälkeen kerrostunut pintakerros verrattuna ojitettuihin (OJ) ja luonnontilaisiin (LU) kohteisiin sekä ojiin. Stoikiometristen indeksien arvot.



Kuva 10. Ennallistettujen kohteiden (EN) ennallistamista ennen syntyneet kerrokset (Kuva 3) verrattuna ojitettuihin (OJ) ja luonnontilaisiin (LU) kohteisiin sekä ojiin. Pääkomponenttianalyysin tulokset, aineistona tilavuuspaino (bd), tuhkaprosentti, C/N-, O/C- ja H/C-atomisuhteet, C-hapetustila (Cox) ja oksidatiivinen suhde (OR). Keidassuovyöhykkeen näytteet ympyröinä, aapasuovyöhykkeen näytteet kolmioina.

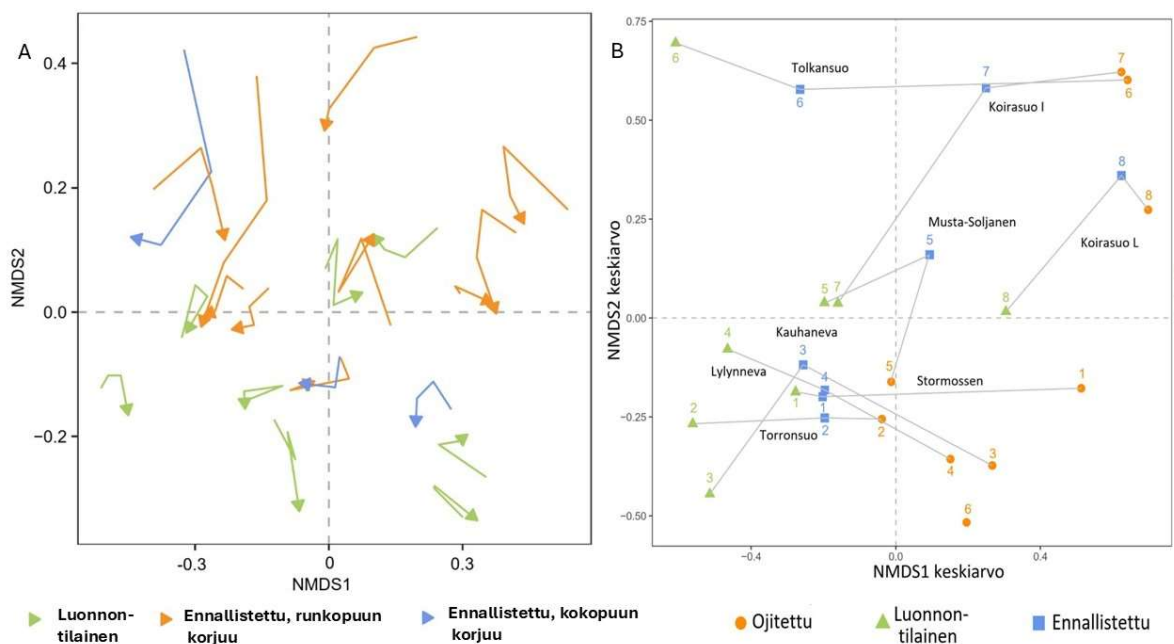


Kuva 11. Ennallistettujen (EN) kohteiden ennallistamista ennen syntyneet kerrokset (Kuva 3) verrattuna ojitettuihin (OJ) ja luonnontilaisiin (LU) kohteisiin. Stoikiometristen indeksien arvot.

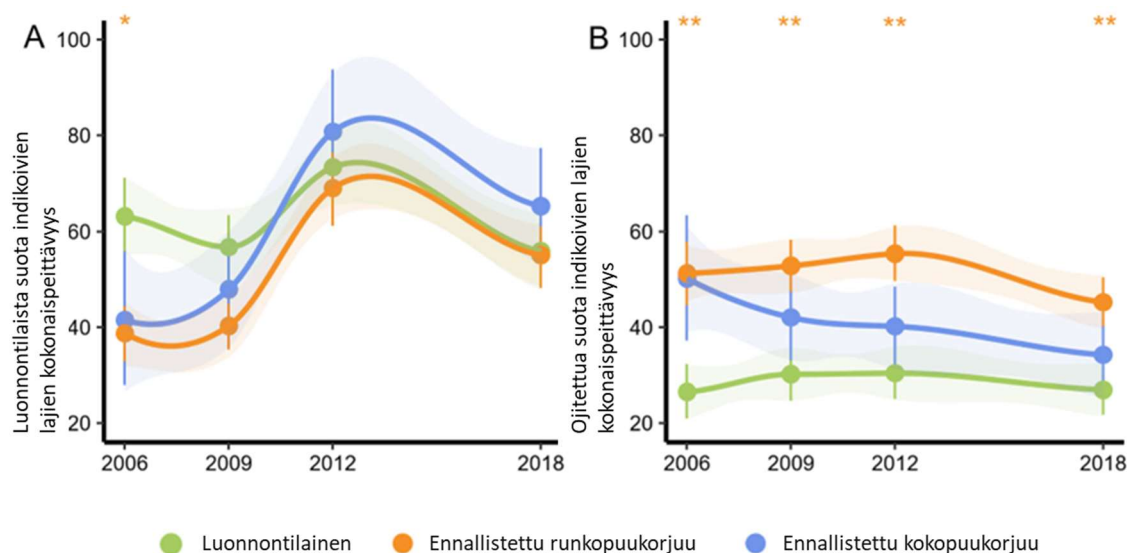
TP2 Toiminnallinen monimuotoisuus

Sekä monivuotisen tutkimuksen perusteella (Kuva 12a), että hankkeen aikana kerätyn aineiston (Kuva 9b) perusteella kasviyhteisö muuttui kohti luonnontilaista ennallistamisen jälkeen.

Monivuotisen tutkimuksen perusteella havaitsimme, että luonnontilaista suota indikoivien lajien (suolajit) peittävyys kasvoi voimakkaasti, ja jo viisi vuotta ennallistamistoimien jälkeen se oli luonnontilaista vastaavalla tasolla (Kuva 13a). Havaitsimme myös ojitettua suota indikoivien lajien (metsälajien) hienoisesta vähenemisestä (Kuva 13b).



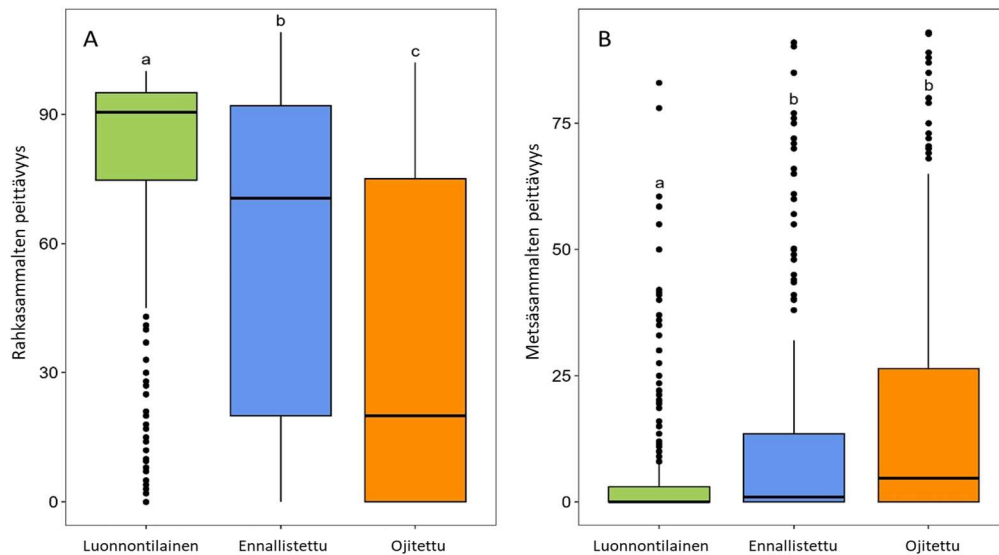
Kuva 12. A) NMDS ordinaatio Kuhmon ennallistettujen soiden kasvillisuuden keskimääräisestä kehityksestä ajassa ennallistamisen jälkeen. B) TurvaHiili hankkeen tutkimuskohteiden keskimääräiseen kasvillisuuteen pohjautuva NMDS ordinaatio. Samaan ryhmään (1-8) kuuluvat suot (ojitettu, ennallistettu, luonnontilainen) on yhdistetty harmaalla viivalla. Ryhmät on esitetty taulukossa (Taulukko 1).



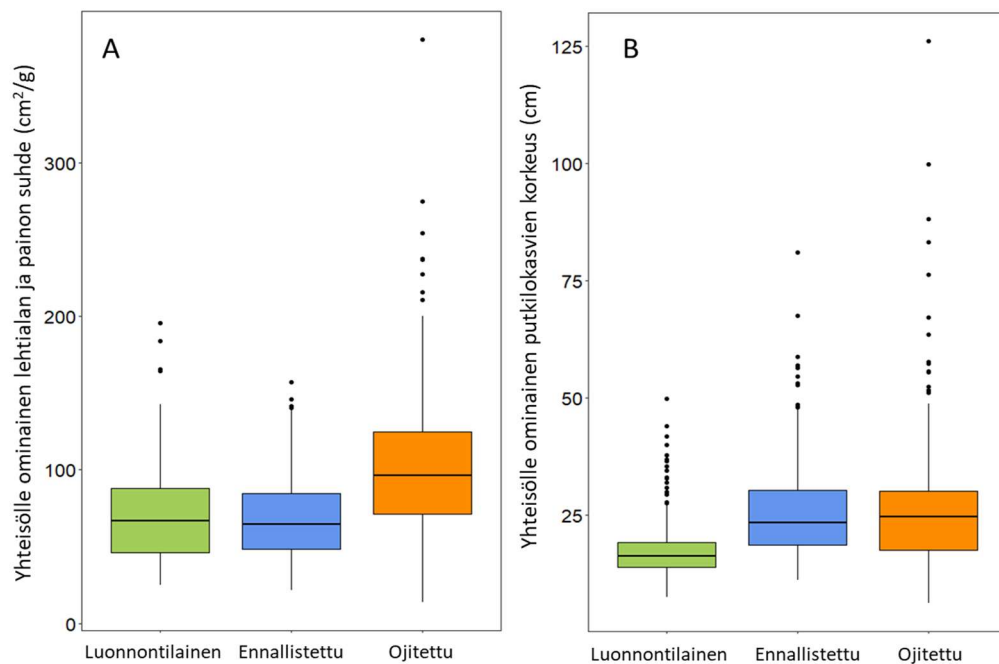
Kuva 13. Monivuotisen aineiston perusteella luonnontilaista (A) ja ojitettua suota (B) indikoivien lajien kokonaispeittävyys muutokset. Kuvassa keskiarvo ja 95 % luottamusväli jokaisessa käsittelyssä tutkimusvuosina. Tilastollisesti merkitsevä ero (eroaako luonnontilaisesta) on merkitty käsittelyn väriä vastaavalla tähdellä (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, oranssi tähti = ennallistettu runkopuukorjuu eroaa luonnontilaisesta, sininen tähti = ennallistettu kokopuukorjuu eroaa luonnontilaisesta).

Koko Suomen kattavassa aineistossa rahkasammalten peittävyys oli korkein luonnontilaisilla soilla ja matalin ojitetuilla soilla. Metsäsammalten osalta tulos oli odotetusti päinvastainen. Tulosten perusteella rahkasammaleen peittävyys oli ennallistetuilla soilla korkeampi kuin ojitetuilla, mutta ei yhtä korkea kuin luonnontilaisilla (Kuva 14a). Metsäsammalten määrä vaikutti vähentyneen ennallistetuilla soilla, mutta oli silti vielä lähempänä ojitettujen soiden metsäsammalpeittävyyttä kuin luonnontilaisten (Kuva 14b).

Yhteisölle ominainen lehtialan ja kuivapainon suhde (community weighted mean specific leaf area) oli korkein ojitetuilla soilla (Kuva 15a). Luonnontilaisilla ja ennallistetuilla soilla arvot olivat samalla tasolla. Putkilokasvit olivat matalimpia luonnontilaisilla soilla ja yhtä korkeita ojitetuilla ja ennallistetuilla soilla (community weighted mean plant height) (Kuva 15b).

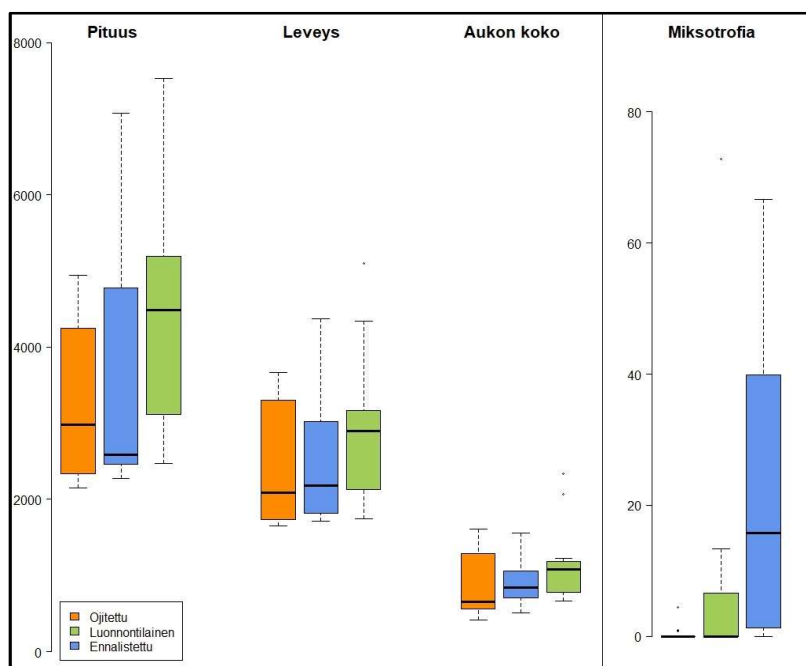


Kuva 14. Viiksilatikko kahden toiminnallisen kasviryhmän peittävyysistä eri käsittelyissä. A. Rahkasammat, B. Metsäsammat. Laatikon keskellä oleva viiva tarkoittaa aineiston mediaania. Mediaaniviivan alapuolella on aineiston alakvartiili ja vastaavasti yläpuolella yläkvartiili. Ylin ja alin viiva ovat aineiston maksimi- ja minimiarvot. Pisteet laatikon ulkopuolella ovat poikkeavia havaintoja.



Kuva 15. Viiksilatikko kahden toiminnallisen ominaisuuden arvoista eri käsittelyissä. A. Lehtialan ja painon suhde, B. Kasvien korkeus. Laatikon keskellä oleva viiva tarkoittaa aineiston mediaania. Mediaaniviivan alapuolella on aineiston alakvartiili ja vastaavasti yläpuolella yläkvartiili. Ylin ja alin viiva ovat aineiston maksimi- ja minimiarvot. Pisteet laatikon ulkopuolella ovat poikkeavia havaintoja.

Metsäojitus oli muuttanut kuoriamebayhteisön toiminnallista rakennetta ja johtanut ameboiden pienempään kokoon ja vähentänyt yhteyttämiseen kykenevien osuutta (Kuva 16). Ennallistaminen oli tuonut kuoriamebayhteisöä ominaisuuksiltaan lähemmäs luonnontilaisia soita, mm. kasvattanut ameboiden kuoren ja suuaukon kokoa ja nostanut yhteyttämiseen kykenevien osuutta (Kuva 16).

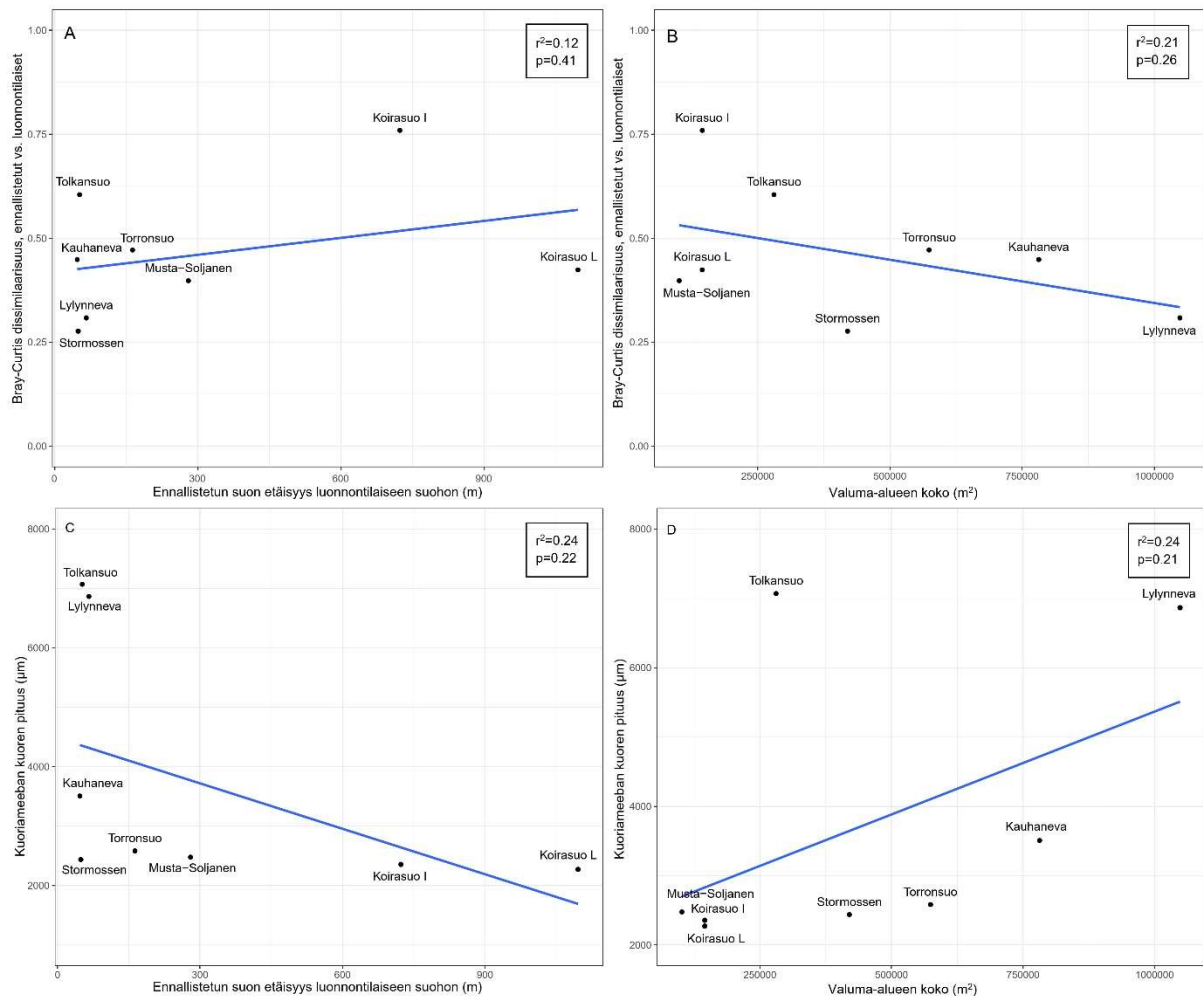


Kuva 16. Kuoriamebayhteisön keskimääräiset toiminnalliset ominaisuudet ojitetuilla, luonnontilaisella ja ennallistetuilla soilla. Miksotrofiolla kuvataan yhteyttämiseen kykenevien lajien osuutta yhteisössä.

TP3 Hyvän ennallistamiskohteen kriteerit

Tulosten mukaan kaikki karut kohteet ovat otollisia hiilivarastojen säilyttämisen näkökulmasta. Kaikilla karuilla soilla onnistunut vedenpinnan nosto lisäsi niiden hiilenkertymää ja vähensi hiilen häviämistä. Metaaniemissiot pysyvät maltillisina.

Suokasvillisuuden palautumista kohti luonnontilaisen kasvillisuuden rakennetta lisäsi valuma-alueen koko (Kuva 17a) ja luonnontilaisen suon läheisyys (Kuva 17b). Samankaltaisuutta ennallistetun ja luonnontilaisen verrokkisuon välillä kuvattiin Bray-Curtis indeksin avulla; mitä pienempi indeksin arvo sitä samankaltaisempia kohteet ovat. Samoin kuoriamebojen koko kasvoi luonnontilaisen suon läheisyydessä (Kuva 17c) ja valuma-alueen koon kasvaessa (Kuva 17d).



Kuva 17. Kasvillisuuden rakenteen erilaisuutta kuvaavan Bray-Curtis indeksin (*mitä pienempi luku, sitä samankaltaisempi kuin luonnontilainen*) suhde a) ennallistetun suon etäisyyteen luonnontilaisesta suosta ja b) ennallistetun kohteen valuma-alueen kokoon. Kuoriameban kuoren pituuden suhde a) ennallistetun suon etäisyyteen luonnontilaisesta suosta ja b) ennallistetun kohteen valuma-alueen kokoon.

TP4 Hyvät ennallistamiskäytännöt

Haastattelut paljastivat, että metsänomistajille kohdennettu viestintä, joustavat rahoitusmahdollisuudet ja resurssien tehokas kohdentaminen koettiin ennallistamistoiminnan kehityksen ja jatkuvuuden kannalta tärkeiksi. Samoin naapuritilojen maanomistajien ja virkistyskäyttäjien pito ajan tasalla koettiin tärkeäksi. Itse käytännön toteutuksessa huolellinen suunnitelman laadinta, suunnittelijan ja konekuljettajan tiivis yhteistyö sekä heidän ymmärryksensä suon vesitaloudesta ja vesitalouden huomioiminen työn teon yhteydessä koettiin tärkeiksi. Luonnonhoidon näkökulmasta nähtiin eduksi, jos ennallistamiskohteiksi valitaan erityyppisiä soita ja vesiensuojelu varmistetaan oikein mitoitetuilla ja sijoitetuilla rakenteilla. Soiden ennallistamistoiminnan kehittämiseksi tarvitaan parempaa ja monipuolisempaa koulutusta, metsäalan roolin kasvattamista neuvonnassa ja ennallistamisen rahoituksen varmistamista. Lisäksi viestinnän parantaminen ja tietoisuuden lisääminen yleensäkin koettiin tärkeiksi jatkuvuuden kannalta.

TP5 Viestiminen ja koulutus

Hankkeen tulosten viestimiseksi ja metsätalouden toimijoiden kouluttamiseksi perustettiin internet-sivu (<https://uef.sites.fi/turvahiili/>), jossa viestitään hankkeen tutkimustuloksia erilaiselle kohdeyleisölle sekä viedään karujen metsäojitettujen soiden ennallistamisen hyviä käytäntöjä käytännön toimijoiden tietoisuuteen. Hankkeen tulokset ennallistamisen eri vaiheista ja näkökulmista koostettiin audio-visuaalisiksi tietopaketeiksi, joiden formaatiksi valittiin video- ja podcast sarja. Sarja rakentuu kolmen teeman ympärille: Teema 1. *Mitä metsäojitettujen soiden ennallistaminen on ja millaisia vaikutuksia sillä on?*, Teema 2. *Miten valitaan hyvä kohde metsäojitettujen soiden ennallistamisella ja miten ennallistaminen suunnitellaan?* ja Teema 3. *Miten metsäojitettujen soiden ennallistaminen toteutetaan käytännössä?* Video- ja podcast sarja on julkaistu hankkeen internet-sivulla. Lisäksi videot ovat löydettävissä Itä-Suomen yliopiston YouTube-kanavalta ja podcastit Itä-Suomen yliopiston Soundcloud-kanavalta.

Taulukossa 2 on kuvattu video- ja podcast sarjan rakenne sekä puhujien tausta. Sarja koostuu viidestä 3–4 minuuttia pitkästä videosta, jossa käsitellään aihetta lyhyesti ja helposti lähestyttävästi. Videoita seuraa seitsemän 30–35 minuuttia pitkää podcastia, joissa paneudutaan tarkemmin videoissa esiteltyihin aiheisiin.

Taulukko 2. Video- ja podcast sarjan aiheet ja puhujat.

Formaatti	Aihe	Puhujat
Teema 1: Mitä metsäojitettujen soiden ennallistaminen on ja millaisia vaikutuksia sillä on?		
Video	Mitä metsäojitettujen soiden ennallistaminen on ja miksi soita tulisi ennallistaa?	Soiden ennallistamisen tutkija ja yksityisten maanomistajien edustaja
Podcast	Mitä metsäojitettujen soiden ennallistaminen on ja miksi soita tulisi ennallistaa?	Soiden ennallistamisen tutkija, metsätalous toimijoiden edustaja ja yksityisten maanomistajien edustaja
Video	Millaisia vaikutuksia metsäojitettujen soiden ennallistamisella on?	Soiden ennallistamisen tutkija ja yksityisten maanomistajien edustaja
Podcast	Millaisia ilmastovaikutuksia metsäojitettujen soiden ennallistamisella on?	Kaksi soiden ennallistamisen tutkijaa
Podcast	Millaisia ympäristövaikutuksia ennallistamisella on?	Soiden ennallistamisen suunnittelija ja vesistöasiantuntija
Podcast	Millaisia yhteiskunnallisia vaikutuksia ennallistamisella on?	Yksityisten maanomistajien edustaja ja luonnonhoidon asiantuntija
Teema 2: Miten valitaan hyvä kohde metsäojitettujen soiden ennallistamisella ja miten ennallistaminen suunnitellaan?		
Video	Miten valitaan hyvä kohde metsäojitetun suon ennallistamiselle?	Soiden ennallistamisen suunnittelija ja tutkija
Podcast	Miten valitaan hyvä kohde metsäojitetun suon ennallistamiselle?	Kaksi soiden ennallistamisen suunnittelijaa ja tutkija
Video	Miten metsäojitetun suon ennallistaminen suunnitellaan?	Soiden ennallistamisen suunnittelija

Podcast	Miten metsäojitetun suon ennallistaminen suunnitellaan?	Kolme soiden ennallistamisen suunnittelijaa
Teema 3: Miten metsäojitetujen soiden ennallistaminen toteutetaan käytännössä?		
Video	Miten metsäojitetun suon ennallistaminen toteutetaan käytännössä?	Soiden ennallistamisen suunnittelija ja kaivinkoneenkuljettaja
Podcast	Miten metsäojitetun suon ennallistaminen toteutetaan käytännössä?	Soiden ennallistamisen suunnittelija sekä soiden ennallistamisen suunnittelija ja käytännöntoteuttaja

Metsätalouden toimijoiden kouluttamista ja tulosten käytäntöön viestimistä toteutettiin ennallistamisnäytöksen eli -demonstraation ja kahden retkeilyn avulla. Ennallistamisnäytös toteutettiin Pohjois-Karjalassa Lieksan Kontiosuolla syyskuussa 2024. Ennallistamisretkeilyt toteutettiin Kanta-Hämeessä toukokuussa 2024 ja Pohjois-Pohjanmaalla Oulun Sanginjoen Harakkasuolla, Muuraiskankaalla ja Taivalkoskenuolla lokakuussa 2024. Ennallistamisnäytökset ja -retkeilyt toteutettiin yhteistyössä hankkeen yhteistyökumppaneiden kanssa.

Pohjois-Karjalan ennallistamisnäytöksessä tehtiin kierros kolmella kohteella Kontiosuolla. Ensimmäisellä kohteella keskusteltiin suon ennallistamisen suunnittelusta, ennallistamisen tavoitteista ja kohteen valinnasta, toisella kohteella ennallistamisen jäljestä ja seurannasta sekä kolmannella kohteella demonstroitiin ennallistamistoimenpiteiden tekemistä käytännössä. Näytökseen osallistui 25 henkilöä eri organisaatioista, kuten Itä-Suomen yliopistosta, tutkimuslaitoksista, Metsänhoitoyhdistyksestä, Joensuun kaupungilta ja yrityksistä. Ennallistamisnäytöksestä kirjoitettiin blogiteksti, joka julkaistiin Itä-Suomen yliopiston ja TurvaHiilen internet-sivuilla.

Ennallistamisretkeilyt toteutettiin vierailemalla yhteistyökumppaneiden jo toteutuksessa olevilla tai hiljattain ennallistetuilla kohteilla. Pohjois-Pohjanmaan retkeily toteutettiin yhteistyössä Metsähallituksen luontopalveluiden kanssa. Retkeilyllä vierailtiin sekä ennallistetuilla soilla (aikaa toimenpiteestä oli kulunut 1–12 vuotta) että kosteikolla (rakennettu vuosi sitten parantamaan ennallistamisen vesiensuojelua). Näissä kohteissa tehtiin saman tyyppiset kierrokset ja keskusteltiin samoista asioista kuin Pohjois-Karjalan näytöksessä pois lukien ennallistamistoimenpiteiden käytännön toteutus kaivinkoneella. Näytökseen osallistui 11 henkilöä eri organisaatioista, kuten Pohjois-Pohjanmaan maakuntaliitto, Oulun kaupunki, Oulun yliopisto. Ennallistamisnäytöksestä kirjoitettiin blogiteksti TurvaHiilen internet-sivulle. Kanta-Hämeeseen suuntautuneella retkeilyllä vierailtiin Tammelan Torronsuolla ennallistetulla kohteella, jossa oli vertailuparina myös ojittamaton suo. Molemmat olivat TurvaHiili-hankkeen kohteita (Taulukko 1). Tervalamminsuon laiteella, jossa oli ennallistettu rehevä korpikuusikko yli kymmenen vuotta sitten, keskusteltiin mm. erilaisista patorakenteista ja suon hydrologian palautumisesta. Rottasniitynsuo edusti puolestaan tuoretta ennallistamiskohdetta, jossa vasta puusto oli hakattu. Suunnitelma vesitalouden järjestelyistä (mm. ojien täyttäminen, vesien ohjaus) oli kuitenkin valmis keskustelujen pohjaksi.

3.2. Tulosten vieminen käytäntöön

Yksi hankkeen tulosten käytäntöön viemisen keskeinen toimenpide oli koulutuksellisen ja viestinnällisen video- ja podcast sarjan tekeminen ja sen viestiminen mm. hankkeen internet-sivun kautta. Toinen oli ennallistamisdemonstraatioiden järjestäminen yhdessä sidosryhmien kanssa. Video- ja podcast sarjan kohdeyleisöä, eli tulosten hyödyntäjiä, ovat maanomistajat, yliopisto-, ammattikorkeakoulu- ja ammattikouluopiskelijat, ennallistamisen suunnittelijat yrityksissä ja julkisissa organisaatioissa, ennallistamista tekevät kaivinkoneyrittäjät ja -kuljettajat sekä laaja yleisö, jota kiinnostaa ennallistamiseen liittyvät asiat. Video ja podcast sarjasta on uutisoitu mm. Metsälehdessä (20.11.2024) ja Ammattilehdessä (20.11.2024).

3.3. Tulosten merkitys ja jatkotoimenpiteet

Eri työpakettien tulokset ovat sinänsä arvokkaita, mutta suurin arvo tulee tuloksia yhdistämällä. TurvaHiili on tietojemme mukaan ensimmäinen hanke, jossa ennallistamisen vaikutusta metsäojitettujen soiden kasvihuonekaasuvoihin, uuden orgaanisen aineen kertymään ja kasvillisuuden ja maaperäeliöiden toiminnalliseen monimuotoisuuteen on tutkittu samoilla aloilla. Tämän takia odotamme erityisesti näiden tulosten yhdistämisen johtavan kansainvälisesti vaikuttaviin tieteellisiin julkaisuihin.

Työstä on tähän mennessä syntynyt yksi pro gradu työ (Venla Siltavuori, UEF, Karujen ojitettujen soiden ennallistamisen hyvät käytänteet), tekeillä yksi kandidityö (Maria Kosonen, UEF, Ennallistamismenetelmien vaikutukset suokasvillisuuden palautumiseen) ja tekeillä kolme väitöskirjatyötä (Nina Kumpulainen, Brunella Palacios Ganoza ja Noora Rämö, UEF).

Tulokset jalkautetaan podcastien ja videoiden muodossa, jotka ovat katsottavissa ja kuunneltavissa hankkeen internet-sivuilla. Videot ja podcastit tulevat myös pysyvästi saataville Panopto-alustalle sekä Spotify for podcasters -sovellukseen.

Tuloksia tullaan hyödyntämään metsäalan opetuksessa Itä-Suomen ja Helsingin yliopistoissa, ammattikorkeakouluissa ja ammattiopistoissa.

Tämä hanke keskittyi karujen soiden ennallistamiseen eivätkä sen tulokset ole suoraan yleistettävissä reheville soille. Tulevaisuudessa olisi syytä suunnata resursseja rehevien soiden ennallistamisen tutkimiseen; nyt jo tiedetään rehevien soiden ennallistamiseen sisältyvän suurempia riskejä kuin tässä tutkittujen karujen soiden ennallistamisen.

4. Toimintasuositukset ja hankkeen muut tuotokset

Toimintasuositukset on julkaistu *videoiden ja podcastien muodossa* (<https://sites.uef.fi/turvahiili/>). Tämän lisäksi laadimme hyviin ennallistamiskäytänteisiin liittyvän suosituksen tarjottavaksi Suolehteen.

Lähdeviitteet

Kuhry P, Vitt DH (1996) Fossil carbon/nitrogen ratios as a measure of peat decomposition. *Ecology* 77(1):271–275. <https://doi.org/10.2307/2265676>

Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, 82(13), 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>

Laatikainen, A. 2022. Metsäojittettujen soiden ennallistaminen rahkasammalten kasvatustutkimuksena. Pro gradu -tutkielma, 66 s, liitteitä 6. Itä-Suomen yliopisto, Ympäristö- ja biotieteiden laitos.

Laine, A. M., Leppälä, M., Tarvainen, O., Päätaalo, M. L., Seppänen, R., & Tolvanen, A. (2011). Restoration of managed pine fens: Effect on hydrology and vegetation. *Applied Vegetation Science*, 14(3), 340–349. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2011.01123.x>

Leifeld J, Klein K, Wüst-Galley C. 2020. Soil organic matter stoichiometry as indicator for peatland degradation. *Scientific Reports* May 6;10(1):7634. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64275-y>. Erratum in: *Scientific Reports* 2020 Jul 22;10(1):12454. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68763-z>. PMID: 32376905; PMCID: PMC7203203.

Malmer N, Holm E (1984) Variation in the C/N-quotient of peat in relation to decomposition rate and age determination with ²¹⁰Pb. *Oikos* 43:171–182. <https://doi.org/10.2307/3544766>

Masiello CA, Gallagher ME, Randerson JT, Deco RM, Chadwick OA (2008) Evaluating two experimental approaches for measuring ecosystem carbon oxidation state and oxidative ratio, *Journal of Geophysical Research* 113, G03010, <https://doi.org/10.1029/2007JG000534>

Minkkinen, K., Ojanen, P., Koskinen, M., & Penttilä, T. (2020). Nitrous oxide emissions of undrained, forestry-drained, and rewetted boreal peatlands. *Forest Ecology and Management*, 478, 118494.

Ojanen, P., Penttilä, T., Tolvanen, A., Hotanen, J-P., Saarimaa, M., Nousiainen, H. and Minkkinen, K. 2019. Long-term effect of fertilization on the greenhouse gas exchange of low-productive peatland forests, *Forest Ecology and Management* 432: 786–798. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.015>
R ydintiimi (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

Teckner, H., Gao, C., Knorr, K.H. (2022) Electrochemical properties of peat particulate organic matter on a global scale: Relation to peat chemistry and degree of decomposition. *Global Biogeochemical Cycles* 36: e2021GB007160. <https://doi.org/10.1029/2021GB007160>

Turunen, J., Anttila, J., Laine, A.M. et al. Impacts of forestry drainage on surface peat stoichiometry and physical properties in boreal peatlands in Finland. *Biogeochemistry* 167, 589–608 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10533-023-01115-x>