

2.12.2024

Rahkasammalesta ilmastoviisas kasvualusta – mahdollisuudet kokonaiskestäväään korjuuseen (RahKoo) -hankkeen loppuraportti

Anna Laine-Petäjäkangas, Jani Anttila, Liisa Maanavilja, Sari Uusheimo,
Jussi Vuorenmaa, Tanja Myllyviita, Maija Lampela, Jaakko Karvonen,
Alireza Hamedianfar, Oona Allonen, Juha Grönroos, Suvi Lehtoranta, Lauri
Ikkala, Satu Karjalainen, Janne Kivilompolo, Niko Silvan, Heikki Sutinen,
Jukka Turunen

2.12.2024

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

KUVAILULEHTI

Päivämäärä 02.12.2024 / Dnro GTK/265/03.01/2019

Tekijät Anna Laine-Petäjäkangas, Jani Anttila, Liisa Maanavilja, Sari Uusheimo, Jussi Vuorenmaa, Tanja Myllyviita, Maija Lampela, Jaakko Karvonen, Alireza Hamedianfar, Oona Allonen, Juha Grönroos, Suvi Lehtoranta, Lauri Ikkala, Satu Karjalainen, Janne Kivilompolo, Niko Silvan, Heikki Sutinen, Jukka Turunen		Raportin laji Loppuraportti	
		Toimeksiantaja Maa- ja metsätalousministeriö, VN/28333/2021	
Raportin nimi Rahkasammalesta ilmastoviisas kasvualusta – mahdollisuudet kokonaiskestävään korjuuseen (RahKoo) -hankkeen loppuraportti			
Tiivistelmä Rahkasammalesta ilmastoviisas kasvualusta – mahdollisuudet kokonaiskestävään korjuuseen (RahKoo) oli Geologian tutkimuskeskuksen (GTK), Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja Suomen ympäristökeskuksen (Syke) toteuttama hanke. Hanke käynnistyi 1.4.2021 ja päättyi 31.10.2024. RahKoo-hankkeessa tutkittiin rahkasammalen korjuun ja kasvatuksen ympäristövaikutuksia, kuten ilmasto- ja vesistövaikutuksia, sekä sen mahdollisuuksia työllisyyden edistämisessä ja taloudellisessa kestävyudessa. Hankkeen tavoitteena oli tuottaa tietoa rahkasammalen ilmastoystävällisyydestä ja kestävydestä kasvualustana sekä sen soveltuvuudesta kasvuturpeen korvaajaksi. Työpaketeissa keskityttiin rahkasammalen korjuun kasvihuonekaasupäästöihin, uusiutumiseen, vesistövaikutuksiin, potentiaalisten korjuualueiden määrään ja sijaintiin sekä elinkaarianalyysiin ja talousvaikutuksiin.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Rahkasammalen korjuu, viljely, hiilitase, ympäristövaikutus, elinkaarianalyysi, korjuualueet, talous- ja työllistämisaikutukset, kokonaiskestävyys			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Suomi			
Kokonaissivumäärä 90	Kieli suomi	Hinta	Julkisuus
Yksikkö		Projektinumero	
Allekirjoitus/nimen selvennys		Allekirjoitus/nimen selvennys	

2.12.2024

Tiivistelmä

Rahkasammalesta ilmastoviisas kasvualusta – mahdollisuudet kokonaiskestävään korjuuseen (RahKoo) oli Geologian tutkimuskeskuksen (GTK), Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja Suomen ympäristökeskuksen (Syke) toteuttama hanke. Hanke käynnistyi 1.4.2021 ja päättyi 31.10.2024.

RahKoo-hankkeessa tutkittiin rahkasammalen korjuun ja kasvatuksen ympäristövaikutuksia, kuten ilmasto- ja vesistövaikutuksia, sekä mahdollisuuksia työllisyyden edistämiseksi ja taloudellisessa kestävyudessa. Hankkeen tavoitteena oli tuottaa tietoa rahkasammalen ilmastoystävällisyydestä ja kestävydestä kasvualustana sekä sen soveltuvuudesta kasvuturpeen korvaajaksi. Työpaketeissa keskityttiin rahkasammalen korjuun kasvihuonekaasupäästöihin, uusiutumiseen, vesistövaikutuksiin, potentiaalisten korjuualueiden määrään ja sijaintiin sekä elinkaarianalyysiin ja talousvaikutuksiin.

Tulokset osoittivat, että kosteusolosuhteet, kasvillisuuden kehitys ja korjuumenetelmä vaikuttivat merkittävästi kasvihuonekaasupäästöihin. Märillä kohteilla suokasvillisuus valtasi alaa ja hiilinielu oli suurempi kuin kuivilla kohteilla, mutta metaanipäästöt kasvoivat, erityisesti tupasvillan levitessä kohteelle. Kuivemmilla kasvupaikoilla uusiutuminen oli vähäisempää, mutta vanhemmat kanervakasvillisuuden peittämät kohteet olivat kuitenkin hiilen nieluja. Tulosten perusteella sopivan pohjaveden tason ylläpito on tärkeää, jotta hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää tehokkaasti.

Rahkasammalen korjuun jälkeistä sammalen uusiutumista sekä siihen vaikuttavia tekijöitä tutkittiin droonikuvauksen ja koneoppimisen avulla. Menetelmät osoittautuivat käyttökelpoisiksi kasvillisuuden seurannassa, joskin hyvään tulokseen pääseminen edellyttää edelleen koko kohteiden alat kattavaa maastokartoitusta. Uutta rahkasammalta esiintyi paikoitellen märkien kohteiden korjuupinnoilla, mutta vain keskimäärin 7 % alasta, ilman trendiä korjuusta kuluneen ajan suhteen. Rahkasammalen uusiutuminen on syytä varmistaa säätämällä vedenpinta rahkasammalelle suotuisaksi ja huolehtimalla elinkelpoisen rahkasammalen paluusta korjuupinnoille. Tämä voidaan toteuttaa levittämällä rahkasammalainesta korjuun jälkeen tai hyödyntämällä muita sopivia menetelmiä. Rahkasammalen uudistumisen toimivuus edellyttää kuitenkin yhä tutkimusta ja seurantaa.

Rahkasammalen korjuun vesistövaikutuksia koskevat tulokset osoittivat, että korjuu voi merkittävästi lisätä ravinteiden ja kiintoaineen vapautumista maaperästä ja potentiaalista huuhtoutumista vesistöihin, erityisesti kun korjuualueen osuus valuma-alueesta on suuri. Sääolosuhteet vaikuttavat huuhtoutumisen määrään, mutta muutokset sääolosuhteissa tutkimusvuosien välillä eivät olleet ääreviä, eivätkä merkittäviä, joten korjuu ja korjuualueen osuus valuma-alueesta olivat potentiaalisimpia tekijöitä ainekuormille. Epävarmuustekijöinä osalla kohteista oli näytteenottoympäristö, joilla ei ollut ulosvirtausnäytteenottopistettä, vaan näytteet otettiin vesipainanteista, sekä se, ettei hankkeessa voitu mitata todellista valunnan määrää ainekuormituksen määrän arviointiin. Osalla kohteista näytteitä saatiin kuitenkin korjuualueen valuma-alueelta laskuojassa ulos purkautuvasta valumavedestä, jonka korkeat pitoisuustulokset voivat indikoida mahdollista ainekuormitusta alapuolisiin vesistöihin.

Rahkasammaleen korjuun ja kasvatuksen elinkaarianalyysissä arvioitiin ilmastovaikutuksia eri skenaarioissa. Optimaalisissa olosuhteissa, joissa rahkasammal korjataan kostealta turvemalta ja uudistuminen varmistetaan, kasvualustasta tulee hiilinegatiivinen. Kuivilta turvemalta korjattu rahkasammal ilman uudistustoimia sen sijaan voi olla kasvihuonekaasupäästöjen kannalta jopa huonompi vaihtoehto kuin kasvuturve. Tulosten mukaan rahkasammalen viljely metsäojitetuilla soilla voisi vähentää päästöjä ja tuottaa samalla ilmastoystävällisen kasvualustan.

Suomessa on laajasti saatavilla alueita, jotka soveltuvat rahkasammalen korjuuseen, erityisesti Pohjanmaalla ja Kainuussa, ja paikkatietoanalyysin mukaan näitä alueita on noin 241 000 ha. Tarkastelussa korjuun kriteeristö jaettiin neljään luokkaan: 1) sitova sääntely, 2) muu sääntely, 3) rahkasammalen saanto ja 4) tuotantokustannukset. Kasvava kysyntä voi tehdä rahkasammalen korjuusta taloudellisesti merkittävää toimintaa, mutta korjuussa tulee huomioida soiden luonnonarvojen ja vesitalouden säilyttäminen.

Rahkasammalen korjuun taloudellisia ja työllistämisaikutuksia koskeva analyysi osoitti, että rahkasammalen korjuu voi olla ilmastovaikutusten, monimuotoisuuden ja työllisyyden kannalta kestävämpi vaihtoehto kuin kasvuturve, mutta kustannukset ovat toistaiseksi korkeammat. Rahkasammalen tuotannon odotetaan kuitenkin tehostuvan tulevaisuudessa, erityisesti kun uudistumisen varmistamiseen kiinnitetään huomiota.

Rahkasammalen käyttö kasvualustana voi olla ilmaston ja monimuotoisuuden kannalta kestävä ratkaisu, mutta tämä edellyttää vedenpinnan sääntelyä ja rahkasammalen uudistumisen varmistamista korjuualueilla. Taloudellisesti rahkasammalen tuotanto edellyttää edelleen kehitystoimia ja koneistuksen parantamista kustannustehokkuuden saavuttamiseksi.

2.12.2024

Summary

"Climate-Smart Growing Medium from *Sphagnum* Moss – Opportunities for Sustainable Harvesting (RahKoo)" was a project conducted by the Geological Survey of Finland (GTK), the Natural Resources Institute Finland (Luke), and the Finnish Environment Institute (Syke). The project started on April 1, 2021, and ended on October 31, 2024.

The RahKoo project investigated the environmental impacts of *Sphagnum* moss harvesting and cultivation, including climate and water quality effects, as well as its potential for employment promotion and economic sustainability. The project's goal was to provide data on the climate-friendliness and sustainability of *Sphagnum* moss as a growing medium and assess its suitability as an alternative to horticultural peat. The work packages focused on greenhouse gas emissions, regeneration, water quality impacts, the extent and location of potential harvesting areas, and the life cycle analysis and economic impacts of *Sphagnum* moss harvesting.

The results demonstrated that moisture conditions, vegetation development, and harvesting methods significantly affect greenhouse gas emissions. At wetter sites, peatland vegetation expanded, and the carbon (C) sink was greater than in drier areas, although methane (CH₄) emissions increased, especially with the spread of cottongrass (*Eriophorum vaginatum*). Regeneration was lower at drier sites, but older heather-covered areas still acted as C sinks. These results highlight that maintaining appropriate water table levels is crucial for effectively reducing carbon dioxide (CO₂) emissions.

The regeneration of moss after harvesting, along with factors affecting it, was examined using drone imaging and machine learning. These methods proved useful for monitoring vegetation, although comprehensive ground surveys are still required to obtain accurate results. New *Sphagnum* moss sporadically appeared on wet harvesting sites but only covered an average of 7% of the area, with no trend related to the time since harvesting. Water level regulation and the reintroduction of *Sphagnum* moss to harvesting areas are necessary to ensure sustainable regeneration. However, the success of *Sphagnum* regeneration still requires further research and monitoring.

The study on the water impacts of *Sphagnum* moss harvesting revealed that harvesting can significantly increase nutrient and sediment release, especially when the harvested area covers a large proportion of the catchment. While weather conditions influence leaching, the main factors affecting material loads were harvesting and the proportion of the catchment area harvested. Uncertainties included some sites lacking proper outflow sampling points and the inability to measure actual runoff volumes. However, high concentrations in runoff samples from certain sites suggest potential material loading into downstream water bodies.

The life cycle analysis of *Sphagnum* moss harvesting and cultivation evaluated climate impacts under different scenarios. Under optimal conditions, where moss is harvested from moist peat soils and regeneration is ensured, the growing medium becomes carbon-negative. However, moss harvested from dry peat soils without restoration measures could be a less favorable option in terms of greenhouse gas emissions than horticultural peat. According to the results, cultivating *Sphagnum* moss on forestry-drained peatlands could reduce emissions and simultaneously provide a climate-friendly growing medium.

In Finland, large areas are available for *Sphagnum* moss harvesting, especially in Ostrobothnia and Kainuu, with approximately 241,000 ha identified through spatial analysis. The criteria for harvesting suitability were categorized into four classes: (1) regulatory requirements, (2) other regulations, (3) moss yield, and (4) production costs. Rising demand could make *Sphagnum* moss harvesting an economically significant activity, but it must be carried out with consideration for the conservation of peatland ecosystems and hydrology.

Analysis of the economic and employment impacts of *Sphagnum* moss harvesting indicated that it could be a more sustainable option than horticultural peat in terms of climate impacts, biodiversity, and employment, although costs are currently higher. However, production efficiency is expected to improve in the future, especially with a focus on ensuring regeneration.

Using *Sphagnum* moss as a growing medium could be a sustainable solution for both the climate and biodiversity, but it requires water level regulation and ensuring moss regeneration in harvesting areas. Economically, *Sphagnum* production still needs development and improved mechanization to achieve cost-efficiency.

2.12.2024

Sisällysluettelo

1.	Hankkeen esittely	4
1.1	Perustiedot hankkeesta	4
1.2	Hankkeen tavoitteet	4
1.3	Hankkeen rahoitus	5
1.4	Hankkeen aikataulu	6
2.	Hankkeen toteutus	6
2.1	Menetelmät ja aineisto	6
2.1.0	TP0 Hankkeen hallinnointi ja viestintä	7
2.1.1	TP1 Rahkasammalen korjuun ja kasvatuksen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin	7
2.1.2	TP2 Rahkasammalen korjuun jälkeiseen sammalen uusiutumiseen sekä sammalen kasvatukseen vaikuttavat tekijät	7
2.1.3	TP3 Rahkasammalen korjuun vesistövaikutukset	8
2.1.4	TP4 Elinkaarianalyysi rahkasammaleen korjuun ja kasvatuksen ilmastovaikutuksista	9
2.1.5	TP5 Potentiaalisten rahkasammalen korjuusoiden määrän ja sijainnin kartoitus	10
2.1.6	TP6 Rahkasammalen korjuun talous- ja työllistämisaikutukset sekä kokonaiskestävyys	11
2.2	Raportointi, julkaisu ja seuranta	11
3.	Tulokset ja niiden arviointi	14
3.1	TP1. Rahkasammaleen korjuun ja kasvatuksen vaikutus kasvihuonekaasu- päästöihin	14
3.2	TP2. Rahkasammalen korjuun jälkeiseen sammalen uusiutumiseen sekä sammalen kasvatukseen vaikuttavat tekijät	31
3.3	TP3. Rahkasammalen korjuun vesistövaikutukset	46
3.4	TP4. Elinkaarianalyysi rahkasammaleen korjuun ja kasvatuksen ilmastovaikutuksista	56
3.5	TP5. Potentiaalisten rahkasammalen korjuusoiden määrän ja sijainnin kartoitus	69
3.6	TP6. Rahkasammaleen korjuun ja kasvatuksen talous- ja työllistämisaikutukset sekä kokonaiskestävyys	83

2.12.2024

1. HANKKEEN ESITTELY

1.1 Perustiedot hankkeesta

Rahkasammalesta ilmastoviisas kasvualusta – mahdollisuudet kokonaiskestävään korjuuseen (RahKoo) oli Geologian tutkimuskeskuksen (GTK), Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja Suomen ympäristökeskuksen (Syke) toteuttama hanke. Hanke käynnistyi 1.4.2021 ja päättyi 31.10.2024.

Projektipäällikkönä hankkeessa toimi erikoistutkija Anna Laine-Petäjäkangas (10/2023 saakka) ja erikoistutkija Jukka Turunen (11/2023–10/2024). Työpakettien vetäjinä toimivat erikoistutkija Jani Anttila, LUKE (TP1), erikoistutkija Liisa Maanavilja, GTK (TP2), tutkija Sari Uusheimo ja erikoistutkija Jussi Vuorenmaa, Syke (TP3), erikoistutkija Tanja Myllyviita, Syke (TP4), erikoistutkija Maija Lampela, GTK (TP5) ja tutkija Jaakko Karvonen, Syke (TP6).

1.2 Hankkeen tavoitteet

Turve on ylivoimaisesti eniten käytetty kasvualustamateriaali; esimerkiksi Euroopassa n. 90 % puutarhaviljelijöiden käyttämistä kasvualustoista on turvepohjaisia. Toisaalta turve on päästöintensiivinen materiaali ja polttoaine. Maankäyttösektorin ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi tarvitaan tutkittua tietoa turvetta korvaavista kasvualustoista. Energiateollisuuden siirtyessä pois turpeen käytöstä myös kasvuturpeen tuotanto vähenee.

Rahkasammal tarjoaa lupaavan vaihtoehdon kasvuturpeelle: se kasvaa hyvin kosteilla alueilla ilman, että vedenpintaa tarvitsee laskea. Keski-Euroopassa rahkasammalta viljellään kosteikkoviljelymenetelmillä, mutta Suomessa on mahdollista hyödyntää metsäojitettujen soiden kasvualustapotentiaalia kestäväällä tavalla. Lisää tutkimustietoa kuitenkin tarvitaan, jotta voidaan edistää turvetta korvaavien kasvualustojen käyttöä ja siten maankäyttösektorin ilmastotavoitteiden saavuttamista.

Rahkasammalen käyttöön liittyvät potentiaaliset ympäristöedut ovat merkittäviä, ja korjuun jälkeiset tai sitä edeltävät toimenpiteet voisivat samalla auttaa ojitettujen soiden vesitalouden palauttamisessa. Suomessa rahkasammalta käytetään jo pienimuotoisesti, ja aiemmat alustavat tutkimukset viittaavat siihen, että rahkasammalen ilmastovaikutukset voivat olla pienemmät kuin kasvuturpeen. Korvaamalla kasvuturpeen rahkasammalella voitaisiin vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja edistää kestävä viljelyä. Laajempi kaupallinen käyttö kuitenkin edellyttäisi tuotannon sertifiointia ja lisää tutkimusta kestävyiden varmistamiseksi.

Hankkeen päätavoite oli selvittää kasvualustakäyttöön sopivaksi todetun rahkasammalen korjuun ja kasvatuksen, sekä käytön kokonaiskestävyys sisältäen ilmasto-, talous-, ja vesistövaikutukset. Hankkeen yksityiskohtaiset tavoitteet olivat:

1. Määrittää rahkasammalkasvualustan elinkaaren ilmastojalanjälki, huomioiden sekä itse tuotteen elinkaari että korjuu- ja kasvatusalalla rahkasammalkasvuston uusiutumisen aikana tapahtuvat kasvihuonekaasupäästöt/nielut (TP1, TP4).
2. Selvittää rahkasammalen korjuun vesistövaikutukset (TP3).

2.12.2024

3. Määrittää rahkasammalen korjuun jälkeisen uusiutumisen edellytykset, sekä kestävään tuotantoon soveltuvien alueiden kriteerit ja määrä (TP2, TP5).

4. Selvittää rahkasammalkasvualustan tuoton kokonaiskestävyys, taloudelliset mahdollisuudet maanomistajan, tuottajan ja valmistajan näkökulmasta sekä työllistämisaikutukset (TP6).

1.3 Hankkeen rahoitus

Maa- ja metsätalousministeriö myönsi Rahkasammalesta ilmastoviisas kasvualusta – mahdollisuudet kokonaiskestävään korjuuseen (RahKoo) -hankkeelle rahoitusta vuosiksi 2022–2024 yhteensä 1 004 792 euroa (taulukko 1). Hanke kuului Hiilestä kiinni -tutkimus- ja innovaatio-ohjelmaan. Määräraha jakautui määräaikaisen henkilön palkkaamisesta aiheutuvien menojen maksamiseen seuraavasti:

- Geologian tutkimuskeskus (GTK) enintään 23,0 henkilötyökuukautta
- Luonnonvarakeskus (Luke), enintään 24,0 henkilötyökuukautta
- Suomen ympäristökeskus (Syke), enintään 19,2 henkilötyökuukautta

Hankkeen alkuperäinen päättymispäivä oli 30.9.2024 (asianro VN/28333/2021; VN/28333/2021-MMM-2), mutta se muuttui jatkoaikahakemuksen hyväksymisen jälkeen kuukaudella, päättymispäivämäärä 31.10.2024 (asianro VN/28333/2021; VN/28333/2021-MMM-13).

Taulukko 1. Hankkeen kokonaiskustannukset, MMM:n myöntämä rahoitus ja omarahoitus eriteltynä.

Kustannuslaji	2022	2023	2024	Yhteensä, €
Palkkakustannukset	214 879	296 977	223 958	735 814
Matkakulut	30320	24060	12000	66380
Ostopalvelut	2500	15000	4000	21500
Muut Kustannukset	185 279	238 873	183 342	607 494
-Julkaisut		5000	6500	11500
-Tarvikkeet	17123	500		17623
-Laitteet	1000			1000
-Yleiskustannukset	162 156	227 373	169 842	559 371
- muut	5000	6000	7000	18000
Arvonlisävero	3630	240	360	4230
Yhteensä, josta	436 608	575 150	423 660	1 435 418
MMM: rahoitusosuus	305 625	402 605	296 562	1 004 792
Oma rahoitusosuus	130 983	172 545	127 098	430 626

2.12.2024

1.4 Hankkeen aikataulu

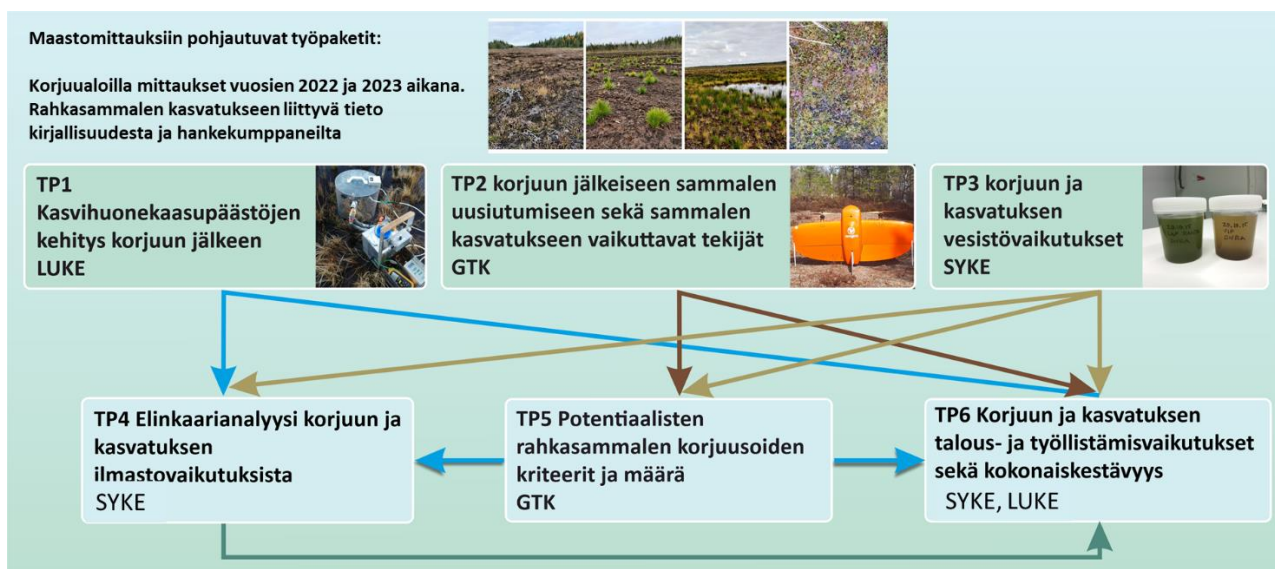
Taulukko 2. Hankkeen aikataulu ajalle 1.4.2022 – 31.10.2024.

		2022	2023	2024
TP0	Projektin hallinta ja viestintä			
TP1	Koalojen perustaminen			
	Mittaukset, data-analyysi, julkaisu			
TP2	Korjuualojen dronekuvaukset			
	Aineistokäsittely ja julkaisu			
TP3	Vedenlaadun mittaus			
	Vedenlaadun analyysi, julkaisu			
TP4	Rahkasammaleen korjuun skenaarioiden laadinta			
	Skenaarioiden ilmastovaikutusten arviointi, julkaisu			
TP5	Korjuukriteeristön laadinta			
	Korjuukohteiden määrän ja sijainnin selvitys, julkaisu			
	Paikkatietopohjaisen aineiston laadinta			
TP6	Talous- ja työllistämisaikutusten arviointi			
	Kokonaiskestävyysarviointi, julkaisu			

2. HANKKEEN TOTEUTUS

2.1 Menetelmät ja aineisto

Hanke jakautui kuuteen keskenään vuorovaikuttavaan työpakettiin (TP1-6) (kuva 1). Työpaketti 0 kautta toteutettiin hankkeen koordinointi. Yksityiskohtaiset kuvaukset työpakettien tavoitteista, menetelmistä, aineistoista ja tuloksista löytyvät kohdasta 3. Tulokset ja niiden arviointi. Alla on lyhyt yhteenveto eri työpakettien tavoitteista ja keskeisistä tuloksista.



Kuva 1. Työpaketit, niiden väliset informaatiovirrat ja hankkeen yhteistyökumppanit. Geologian tutkimuskeskus (GTK), Luonnonvarakeskus (Luke) ja Suomen ympäristökeskus (Syke).

2.12.2024

2.1.0 TP0 Hankkeen hallinnointi ja viestintä

(Anna Laine-Petäjäkangas, Jukka Turunen, GTK)

Työpaketti 0 kautta toteutettiin hankkeen koordinointi, työtehtävien organisointi ja ajanmukainen suorittaminen sekä viestintä.

2.1.1 TP1 Rahkasammalen korjuun ja kasvatuksen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin

(Jani Anttila, Satu Karjainen, Luke, Anna Laine-Petäjäkangas, GTK)

Ymmärrys rahkasammalen korjuun vaikutuksista soiden hiilitaseeseen on ratkaisevan tärkeää, koska ihmisen aiheuttamat maankäytön muutokset voivat vaikuttaa kasvihuonekaasujen päästöihin. Tässä työpaketissa keskityttiin hiilidioksidin nettoekosysteemivaihtoon (NEE) ja metaanipäästöihin (CH₄).

Tulokset osoittivat, että korjuukohteiden kasvihuonekaasupäästöissä oli huomattavaa vaihtelua. Merkittävimmät kaasunvaihtoa säätelevät tekijät olivat kosteusolot, kasvillisuuden kehitys ja korjuumenetelmä.

Märillä korjuukohteilla metaanipäästöt kasvoivat korjuun jälkeen ja tupasvillan peittävyys kasvaessa, kun taas kuivilla kohteilla metaanivuot olivat yleisesti ottaen pienempiä. Nuoremmat (1–2 vuotta korjuun jälkeen) kuivat kasvupaikat olivat merkittäviä hiilidioksidin lähteitä alhaisen fotosynteesin aktiivisuuden vuoksi. Vanhemmat ja kuivat harvan kanervakasvillisuuden karakterisoimat kasvupaikat toimivat hiilidioksidinieluina. Kosteilla kasvupaikoilla oli aluksi alhainen hiilidioksidinielun kapasiteetti, mutta tämä kasvoi tupasvillan levittäytyessä kohteille. Nielu tasoittui ja väheni kasvillisuuden monimuotoisuuden kasvaessa ja etenkin rahkasammalten ilmestyessä. Tulokset korostavat sopivan pohjavedenpinnan tason merkitystä tehokkaan hiilidioksidipäästöjen vähentämisen kannalta.

2.1.2 TP2 Rahkasammalen korjuun jälkeiseen sammalen uusiutumiseen sekä sammalen kasvatukseen vaikuttavat tekijät

(Liisa Maanavilja, Lauri Ikkala, Alireza Hamedianfar, Heikki Sutinen, Anna Laine-Petäjäkangas, GTK)

Tässä työpaketissa määritimme droonikuvauksen ja koneoppimisen avulla rahkasammalen uusiutumisen alueet tutkimuskohteilta ja tutkimme, miten ympäristötekijät - kosteusolot ja etäisyys korjaamattomasta alasta - vaikuttavat sammalen uusiutumisen onnistumiseen. Tavoitteena oli, että tämän tiedon perusteella voidaan kohdentaa sammalenkorjuu oikean tyyppisille kohteille sekä ohjata korjuutekniikkaa ja korjuun jälkeisiä toimenpiteitä uusiutumista edesauttavaan suuntaan.

Droonikuviin perustuva luokittelumenetelmä auttoi tuottamaan pintatyyppikartat ja pinta-ala-arviot eri pintatyypeille. Droonikuvaus yhdistettynä koneoppimismenetelmien hyödyntämiseen on työmme perusteella käyttökelpoinen menetelmä korjuualojen kasvillisuuden seurannassa, joskin kohteiden koko alan kattava maastokartoitus on edelleen välttämätön, jotta kasvillisuus ja maanpeite tulevat oikein luokitelluiksi. Eri kasvillisuustyyppien heijastusspektreissä on usein päällekkäisyyttä, joka

2.12.2024

vaikeuttaa niiden erottamista toisistaan: pintamallin ottaminen mukaan luokittelun perusteeksi auttoi ylittämään ongelman ilman, että tarvitaan monimutkaisia hyperspektrimenetelmiä.

Rahkasammalen uusiutuminen kohteilla oli niin vähäistä, että vastaavalla menetelmällä tehtävää rahkasammalen korjuuta ei voi pitää kestäväenä tapana tuottaa kasvualustamateriaalia. Uusiutuminen oli parasta Nimetönnevenalla, jonne oli jätetty kaistaleina runsaasti korjaamatonta alaa. Nimetönnevan tapaista korjuuta ei kuitenkaan kannattavuusnäkökohtien vuoksi enää myöhemmin tehty. Kivisalmennevan eteläosan uusi rahkasammal viittaa siihen, että kosteusoloja oikein säätelämällä rahkasammalen uusiutuminen on mahdollista myös taloudellisesti tehokkaalla korjuumenetelmällä.

Rahkasammal ei käytössä olevalla kauhakorjuumenetelmällä uusiudu korjuukohteilla riittävästi ilman toimia. Rahkasammalen uusiutuminen on syytä varmistaa säätämällä vedenpinta rahkasammalelle suotuisaksi ja huolehtimalla elinkelpoisen rahkasammalen paluusta korjuupinnoille. Tämä voidaan toteuttaa levittämällä rahkasammalainesta korjuun jälkeen tai hyödyntämällä muita sopivia menetelmiä.

2.1.3 TP3 Rahkasammalen korjuun vesistövaikutukset

(Sari Uusheimo, Jussi Vuorenmaa, Syke, Niko Silvan, Luke)

Rahkasammalen käyttö kasvualustana on arvioitu ilmaston kannalta suotuisammaksi vaihtoehdoksi kuin kasvuturpeen käyttö. Turvetuotannon tapaan myös rahkasammalen korjuu voi kuitenkin aiheuttaa vesistöihin haitallisia vaikutuksia, kuten rehevöitymistä ja veden tummumista. Tämä johtuu turvemaasta vapautuvien ravinteiden (fosfori ja typpi), orgaanisen aineksen (humusyhdisteet, orgaaninen hiili) ja kiintoaineen (epäorgaaninen mineraaliaines ja hiukkasmainen orgaaninen aines) vapautumisesta maaperästä ja huuhtoutumisesta vesistöihin.

Tässä työpaketissa rahkasammalen korjuun vaikutuksia vesien kemialliseen laatuun tutkittiin vuosina 2022–2024 kuudella suokohteella, joista mitattiin maa(huokos)veden ja pintaveden pitoisuuksia kasvukauden aikana (touko–syyskuu). Tulokset osoittivat, että korjuussa vapautuu maaperästä ravinteita ja kiintoainesta, ja erityisesti korjuualueen osuudella valuma-alueesta oli merkittävä vaikutus potentiaalisen ainekuormituksen määrään valuma-alueelta. Esimerkiksi v. 2022–2023, jolloin näyttepisteiden korjuualueen osuus valuma-alueesta oli pieni, ravinteiden ja kiintoaineen pitoisuudet olivat huomattavasti pienempiä verrattuna v. 2024 uudelleen tarkistettuihin näytteenottopisteisiin, joissa korjuualueen osuus valuma-alueesta oli suuri. Epävarmuustekijänä osalla kohteista oli näytteenottoympäristö. Topografialtaan hyvin tasaisilla neva-alueilla on vaikea määrittää alueelta selkeää ulosvirtausnäytteenottopistettä, joten osalla kohteista näytteet otettiin seisovasta vedestä vesipainanteista. Lisäksi hankkeessa ei voitu mitata tarkkaa korjuuvaluma-alueilta ulos purkautuvan valunnan määrää ja so. ainekuormituksen suuruutta valuma-alueelta ei tutkimuksessa voitu mitata. Osalla kohteista näytteet kuitenkin saatiin valuma-alueelta ulos laskuosiin valuvasta vedestä, ja korkeat pitoisuustulokset voivat indikoida potentiaalista kuormitusvaikutusta alapuolisiin vesistöihin. Korjuualoilla havaittiin korkeampia ravinteiden (typpi ja fosfori), orgaanisen aineksen (orgaaninen hiili) ja kiintoaineen pitoisuuksia verrattuna luonnontilaisiin turvemaavaluma-alueisiin, mikä myös viittaisi siihen, että korjuu voi lisätä ainekuormitusta.

2.12.2024

Sääolosuhteilla, kuten lämpötilalla, sadannalla ja valunnalla, on tärkeä rooli ravinteiden biogeokemiallisissa prosesseissa ja huuhtoutumisessa. Vuosien 2022–2024 välillä ei kuitenkaan havaittu merkittäviä eroja lämpötiloissa ja sadannassa kasvukauden aikana, mikä tarkoittaa, että sääolosuhteet eivät selittäneet ainepitoisuuksien vaihtelua tutkimusvuosien välillä.

Rahkasammalen korjuutekniikkaa ja -laitteistoja on kehitetty ympäristövaikutusten vähentämiseksi, mutta kehitystyötä tarvitaan edelleen erityisesti korjuualojen ja reittien suunnittelussa. Tärkeää on myös seurata rahkasammalen uusiutumiskykyä ja ylläpitää suojaavaa kasvipeitettä, jotta voidaan vähentää eroosiota ja lisätä typen sitoutumista kiintoaineen, fosforin ja typen huuhtoutumisen vähentämiseksi.

RahKoo-hankkeessa ei tutkittu raskasmetalleja, mutta aiempien tutkimusten perusteella tiedetään, että turvemaissa on varastoituneena laskeumaperäistä elohopeaa ja muita haitallisia raskasmetalleja, kuten kadmiumia ja lyijyä, jotka voivat huuhtoutua korjuutoimenpiteissä orgaanisen aineksen myötä. Maaperän rikkoutuminen lisää myös elohopean metyloitumista, jolloin siitä muodostuu myrkyllistä metyylielohopeaa. Näin ollen korjuutekniikan kehittämisellä voidaan vähentää myös näitä raskasmetalliriskejä.

Rahkasammalen kestäväen korjuun varmistamiseksi tulisi kehittää ohjauskeinoja, pitää korjuualan osuus valuma-alueesta pienenä ja seurata tarkemmin sen vaikutuksia vesistöihin, ilmastoon ja alueelliseen monimuotoisuuteen. Uusilla suunnitelluilla korjuualueilla tulisi järjestää vesikemiallinen seuranta ennen toimenpiteitä ja korjuun jälkeen vaikutuskoejärjestelyinä. Myös lisää tutkimusta tarvitaan, jotta voidaan syvemmin ymmärtää rahkasammalen korjuun ympäristövaikutuksia ja tukea ekologisesti kestävää käyttöä.

2.1.4 TP4 Elinkaarianalyysi rahkasammaleen korjuun ja kasvatuksen ilmastovaikutuksista (Tanja Myllyviita, Juha Grönroos, Suvi Lehtoranta, Syke; Jani Anttila, Satu Karjalainen, Luke; Jukka Turunen, Anna Laine Petäjäkangas, GTK)

Turpeen energiakäytön vähentyessä kasvuturpeen saatavuus heikkenee. Rahkasammalesta on tunnistettu lupaava korvaaja kasvuturpeelle sen hyvien ominaisuuksien vuoksi. Kasvualustamateriaalien käyttökelpoisuutta arvioitaessa on olennaista huomioida paitsi niiden laatu ja ominaisuudet, myös koko tuotantoketjun elinkaariset ilmastovaikutukset. Tässä tutkimuksessa rahkasammalen korjuun ja käytön ilmastovaikutuksia arvioitiin elinkaariarvioinnin (Life Cycle Assessment, LCA) avulla erilaisille korjuun ja kasvatuksen skenaarioille. Arvioissa huomioitiin rahkasammalen korjuuympäristö (kuivat ja märät turvemaat, joiden luonnontilaisuusluokka on 0–1 tai 2), alueen hydrologisten olosuhteiden optimointi sekä mahdollisuus rahkasammalen palauttamiseen korjuualueelle elpymisen varmistamiseksi. Kasvatetun rahkasammalen ilmastovaikutuksia arvioitiin metsäojitetuilla soilla ja entisillä turpeentuotantoalueilla viljellylle sammalelle.

Tulokset osoittavat, että rahkasammalesta valmistetun kasvualustan ilmastovaikutukset riippuvat vahvasti siitä, minkälaiselta turvemaalta rahkasammal korjataan ja miten sen uudelleenkasvu varmistetaan. Ilmastovaikutusten kannalta parhaimmassa skenaariossa, jossa rahkasammalta kerätään märältä turvemaalta ja sen uudelleenkasvun elpyminen varmistetaan, kasvualustan tuotantoketju on hiilinegatiivinen eli se sitoo enemmän hiilidioksidia kuin vapauttaa. Ilmastovaikutuksiltaan

2.12.2024

heikoimmassa skenaariossa, jossa rahkasammal korjataan kuivalta turvemaalta ilman uudistumisen varmistusta, rahkasammalesta valmistetun kasvualustan tuotantoketjun hiilijalanjälki voi olla jopa suurempi kuin kasvuturpeella.

Rahkasammalen viljely entisillä turpeentuotantoalueilla ja metsäojitetuilla turvemailla osoittautui ilmaston kannalta paremmaksi tuotantomuodoksi kuin kasvuturpeen tuotanto. Erityisesti metsäojitetuilla soilla rahkasammalen viljely tuottaa vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä verrattuna tilanteeseen ilman viljelyä. Rahkasammalen viljely erityisesti metsäojitetuilla soilla tuottaa vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin ilman rahkasammalen viljelyä. Näin ollen puuntuotannon kannalta kannattamattomille metsäojitetuille soille perustetut rahkasammalviljelmät metsäojitetuilla turvemailla voisivat merkittävästi vähentää maankäytön kasvihuonekaasupäästöjä, ja samalla tuottaa kasvualustan raaka-aineeksi soveltuvaa uusiutuvaa materiaalia. Suomessa on runsaasti heikkotuottoisia metsäojitettuja soita, joiden muuttaminen rahkasammalviljelmiksi voisi olla tehokas keino vähentää kasvihuonekaasupäästöjä.

Jotta rahkasammalen korjuu voisi olla ilmaston kannalta kestävä vaihtoehto, uudelleenkasvu tulisi varmistaa esimerkiksi levittämällä osa korjatusta rahkasammalesta takaisin alueelle ja optimoimalla hydrologiset olosuhteet. Rahkasammalen elpymistä voidaan edesauttaa myös jättämällä osa rahkasammalesta korjaamatta sekä välttämällä liian syvää korjuusvyöhytystä. Näin voidaan myös minimoida kasvihuonekaasupäästöt. Rahkasammalen viljely entisillä turvetuotantoalueilla tai metsäojitetuilla soilla tarjoaa mahdollisuuden kestävämpään kasvualustatuotantoon. Tämä voisi tukea ilmastotavoitteita samalla, kun kasvuturvetta korvataan ympäristöystävällisemmällä vaihtoehdolla.

2.1.5 TP5 Potentiaalisten rahkasammalen korjuusoiden määrän ja sijainnin kartoitus

(Maija Lampela, Oona Allonen, Anna Laine-Petäjäkangas, Jukka Turunen)

Tässä työpaketissa tavoitteena oli yhdessä sidosryhmien kanssa määrittää rahkasammalen korjuuseen soveltuvien soiden kriteerit, kartoittaa potentiaalisten rahkasammalen korjuuseen soveltuvien soiden määrä ja sijainti paikkatietanalyysin avulla sekä tarkastella kriteerien raja-arvojen vaihtelun vaikutusta.

Paikkatietanalyysin perusteella Suomessa on noin 241 000 ha rahkasammalen korjuuseen soveltuvaa aluetta, mikä vastaa noin 3 % Suomen suolaista ja on lähellä aiemmin arvioitua 280 000 ha. Rahkasammaleen korjuuseen soveltuvia kohteita on siis runsaasti saatavilla. Korjuuseen soveltuvat alueet keskittyvät erityisesti Pohjanmaan maakuntiin ja Kainuuseen. Kasvava kysyntä ilmasto- ja luontoystävällisille kasvualustoille voisi tehdä rahkasammalen korjuusta ja kasvatuksesta merkittävän taloudellisen toimialan, vaikka toiminta on vielä kehittymässä ja nykyiset korjuupinta-alat ovat pieniä.

Ennen korjuutoiminnan käynnistämistä tulee huomioida paikalliset ja alueelliset luonnonarvot, arvioida rahkasammalen uusiutumisedellytykset sekä ottaa huomioon maanomistus ja muut käyttöön vaikuttavat tekijät. Tutkimuksen pinta-ala-arvio antaa perustan rahkasammalen korjuuseen soveltuvien soiden määrästä ja voi tukea kestävä toiminnan sääntelyä ja maankäytön suunnittelua.

2.12.2024

2.1.6 TP6 Rahkasammalen korjuun talous- ja työllistämisaikutukset sekä kokonaiskestävyys

(Jaakko Karvonen, Tanja Myllyviita Syke; Niko Silvan, Luke)

Työpaketissa verrattiin rahkasammalen korjuun ja viljelyn kokonaiskestävyyttä kasvaturpeeseen monikriteerisen päätösanalyysimenetelmän avulla. Analyysissä tarkasteltiin neljää kriteeriä: ilmastovaikutukset, vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen, työllisyysvaikutukset sekä kustannukset. Tulokset osoittivat, että rahkasammalen korjuu ja viljely olivat kokonaiskestävyyden kannalta parempia vaihtoehtoja kuin kasvaturve kaikissa muissa kriteereissä paitsi kustannuksissa, joissa kasvaturve osoittautui edullisemmaksi. Kasvaturpeen kustannuskilpailukyky näkyi myös pienempänä työllisyysvaikutuksena. Etenkin vaihtoehdot, joissa rahkasammalen uudistuminen varmistetaan, saivat selvästi paremmat kestävyysarvot kuin vaihtoehdot ilman sammalen uudistustoimia. Tämä korostaa rahkasammalen uudistumisen varmistamisen tärkeyttä. Rahkasammalen tuotanto on kuitenkin vasta kehittyvässä, joten sen kustannustehokkuudenkin odotetaan paranevan tulevaisuudessa.

On tarpeen tehdä lisää tutkimuksia tehokkaimmista keinoista turvata rahkasammalen nopea uudistuminen ja palautuminen kustannuksia minimoiden, mukaan lukien korjuumenetelmien ja koneistuksen kehittäminen tätä tavoitetta ajatellen.

2.2 Raportointi, julkaisut ja seuranta

Hankkeessa toimitetut ja/tai valmistelussa olevat julkaisut:

- Allonen, O., Lampela, M., Laine, A.M., Heininen, E. & Turunen, J. Developing criteria for *Sphagnum* moss harvesting through stakeholder engagement and consequent potential *Sphagnum* harvesting area in Finland (julkaisematon käsikirjoitus).
- Hamedianfar, A., Maanavilja, L. & Sutinen, H. Synergistic integration of UAS multispectral data, digital surface model and vegetation indices for mapping vegetation establishment with machine learning algorithms (julkaisematon käsikirjoitus)
- Karjalainen, S., Anttila, J., Maanavilja, L., Hamedianfar, A. & Laine, A.M. 2025. Carbon dioxide and methane gas exchange following *Sphagnum* moss harvesting in boreal peatland. Journal of Environmental Management 373. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123357>
- Karvonen, J., Myllyviita, T. & Silvan, N. 2024. A multi-criteria sustainability assessment of *Sphagnum* moss growing media and horticultural peat (julkaisematon käsikirjoitus).
- Laine-Petäjäkangas, A., Anttila, J., Myllyviita, T., Karjalainen, S., Maanavilja, L., Ikkala, L., Sutinen, H., Uusheimo, S., Vuorenmaa, J., Silvan, N., Lampela, M., Allonen, O., Grönroos, J., Lehtoranta, S., Kivilompolo, J., Karvonen, J. & Turunen J. 2024. Rahkasammalesta ilmastoviisas kasvualusta – mahdollisuudet kokonaiskestävään korjuuseen (RahKoo) -hankkeen loppuraportti.
- Maanavilja, L., Ikkala, L., Hamedianfar, A., Anttila, J., Sutinen, H., Laine, A.M. & Turunen, J. *Sphagnum* re-establishment at sites harvested for moss biomass depends on the wetness, relative topography, and proximity to intact patches (julkaisematon käsikirjoitus).
- Myllyviita, T., Karjalainen, S., Anttila, J., Grönroos, J., Turunen, J., Lehtoranta, S. & Laine, A.M. 2024. Life-cycle analysis of greenhouse gas emissions of *Sphagnum* moss harvesting and use –

2.12.2024

comparison to horticultural peat and effects of fast *Sphagnum* recovery (julkaisematon käsikirjoitus)

- Myllyviita, T., Laine, A.M., Grönroos, J., Anttila, J., Lehtoranta, S., Karjalainen, S. & Turunen, J. 2024. Could *Sphagnum* moss farming on cut-over and forestry drained peatland provide greenhouse gas emissions savings? (vertaisarvioinnissa).

Hankkeen tuloksia esiteltiin useassa työpajassa ja seminaarissa:

- RahKoo-työpaja – potentiaalisten korjuukohteiden kriteeristö (TP5) 29.11.2022
- Suopäivä 5.4.2024. Tanja Myllyviita: Kosteikkoviljelyn rooli kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä maatalouskäytöstä poistetuilla turvepelloilla.
- Suopäivä 5.4.2024. Oona Allonen: Potentiaaliset rahkasammalen korjuusuot kartalle – kriteeristön kehitys ja pinta-alat (TP5). https://www.suoseura.fi/wp-content/uploads/2024/04/Suopaiva2024-ip-esitykset_v2.pdf
- RahKoo-webinaari (TP5) ja työpaja – korjuukohteiden kriteeristön päätökset 23.4.2024
- SERE 2024-ennallistamiskonferenssi, Tartto 26.-30.8.2024. Oona Allonen: Steps from degraded peatlands towards hydrological restoration and paludiculture - recognizing potential *Sphagnum* moss harvesting sites in Finland. <https://sere2024.org/programme-info/>
- Koitajoki-Koitere Foorumi 1.10.2024. Tanja Myllyviita: Kommenttipuheenvuoro. Otsikko: Vaihtoehtoja ympäristöturpeelle
- SERE 2024-ennallistamiskonferenssi, Tartto 26.-30.8.2024. Lauri Ikkala, posteresitys Topographical Wetness Predictions Derived from UAS Mapping for Assessing *Sphagnum* Recovery on Boreal Peatlands
- Findrones -konferenssi 6.-7.11.2024. Lauri Ikkala, posteresitys: Topographical Wetness Predictions Derived from UAS Mapping for Assessing *Sphagnum* Recovery on Boreal Peatlands
- 17.10.2024. MaatalousKonemessut, Innovaatiotori (järjestäjänä Maaseutuverkostot / Ruokavirasto): Maatalouden ilmasto-oivalluksia: RahKoo hankkeen esittely, Maija Lampela ja Liisa Maanavilja.
- RahKoo-projekti osallistui MMM:n ja Motivan järjestämään Hiilestä kiinni - vaikuttavuuskiihdyttämöön vuonna 2024, jossa etsittiin keinoja viedä 'Hiilestä kiinni' - hankkeissa syntyneitä tuloksia ja uusia ideoita eteenpäin.
- Loppuseminaari Suoseuran syysseminaarin yhteydessä 4.12.2024

Opintoretkeilyt:

- Rahkasammalen kosteikkoviljely Saksassa -opintoretkeily, Ala-Saksi, Saksa, 30.5.–31.5. 2022 (Liisa Maanavilja)
- '*Sphagnum* farming, donor sites and natural sites' -retkeily, New Brunswick, Kanada, 11.-15.10. 2022 (Anna Laine Petäjäkangas, Heikki Sutinen)
- Kansainvälinen 'Rahkasammalen viljely/korjuu -retkeily' 5.–6.6.2023 Parkano-Seinäjoki-alueella. Järjestäjä RahKoo hanke yhteistyössä alan toimijoiden kanssa (Biolan, Ecomoss ja Neova), 22 osallistujaa Kanadasta, Saksasta ja Suomesta.

2.12.2024

- Kanadan rahkasammalsiirtomenetelmää esitellyt maastoretkeily 'From horticultural peat extraction to peatland restoration: a journey in the St. Lawrence valley', Québec, Kanada 16.-18.6.2023 (Liisa Maanavilja)

Paikkatietoaineistot:

- GTK:n 'Suot ja turvemaat' -sivulla on julkaistu avoin paikkatietoaineisto olemassa olevista rahkasammalen korjuukohteista: "Rahkasammalen korjuukohteet", osoite: https://gtkdata.gtk.fi/turvevarojen_tilinpito/
- GTK:n 'Suot ja turvemaat' -sivulla on julkaistu TP5:n tuloksiin perustuva avoin paikkatietoaineisto: "Potentiaaliset rahkasammalen korjuukohteet", osoite: https://gtkdata.gtk.fi/turvevarojen_tilinpito/

2.12.2024

3. TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI

3.1 TP1. Rahkasammaleen korjuun ja kasvatuksen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin

Jani Anttila, Satu Karjainen, Luke, Anna Laine Petäjäkangas, GTK

3.1.1 Tiivistelmä

Ymmärrys rahkasammaleen korjuun vaikutuksista suon hiilen kiertoon on ratkaisevan tärkeää, koska ihmisen aiheuttamat maankäytön muutokset voivat vaikuttaa kasvihuonekaasujen päästöihin. Tässä työpaketissa keskityttiin hiilidioksidin nettoekosysteemivaihtoon (NEE) ja metaanipäästöihin (CH₄).

Tulokset osoittivat, että suokasvillisuuden palautumisessa oli huomattavaa, pääosin kosteusolosuhteista johtuvaa vaihtelua, mikä vaikuttaa kasvihuonekaasupäästöihin. Kosteilla korjuualoilla metaanipäästöt kasvoivat korjuun jälkeen, erityisesti tupasvillan peittävyuden kasvaessa, kun taas kuivilla aloilla metaanivuot olivat yleisesti ottaen pienempiä. Vastakorjatut (1–2 vuotta korjuun jälkeen), kuivat korjuukohteet olivat merkittäviä hiilidioksidilähteitä olemattoman kasvipeitteen ja siitä johtuvan alhaisen fotosynteesin aktiivisuuden vuoksi. Vanhemmat ja kuivat, harvan kanervakasvillisuuden karakterisoimat korjuukohteet toimivat hiilidioksidinieluna. Kosteilla kasvupaikoilla oli aluksi alhainen hiilidioksidinielun kapasiteetti, mutta tämä kasvoi voimakkaasti tupasvillan peittävyuden kasvaessa. Nettoekosysteemivaihto (NEE) tasoittui ja kääntyi laskuun lajiston monimuotoisuuden lisääntyessä ja rahkasammalten ilmestyessä kohteille. Tulos korostaa sopivan pohjavedenpinnan tason merkitystä tehokkaan kasvillisuuden ja kasvihuonekaasupäästöjen kehityksen säätelyssä.

3.1.2 Johdanto

Kasvihuoneviljelyssä, jossa vihannestuotanto on suojassa sään ääri-ilmiöiltä, kasvuturve on tällä hetkellä ensisijainen kasvualusta. Turpeen korjuu johtaa kuitenkin hiilidioksidipäästöihin (Upenieks & Rudusāne, 2022), eikä turvetta pidetä uusiutuvana sen hitaan uusiutumisprosessin vuoksi. Turvesuot varastoivat maailmanlaajuisesti noin 500 ± 100 miljardia tonnia hiiltä (Yu, 2012), mutta ihmisen toiminnasta, kuten turpeen korjuusta, johtuen hiilidioksidia karkaa takaisin ilmakehään näistä pitkäaikaisista hiilivarastoista (Leifeld, 2019). Siksi on tärkeää kartoittaa vaihtoehtoisia kasvualustoja, kuten rahkasammalta, ja tutkia niiden ilmastovaikutuksia.

Rahkasammalta on tutkittu vaihtoehtona turvepohjaisille kasvualustoille (Gruda, 2019; Tommila ym., 2022). Rahkasammaleen viljelyn sijaan Suomessa on korjattu olemassa olevia rahkasammalal alueita kuivahtaneilta soilta, joilla turvekerros on liian matala turvetuotantoon, tai ojitus ei ole saanut aikaan tuottavaa puiden kasvua. Tällaisia alueita on Suomessa lähes miljoona hehtaaria (Laiho ym., 2016), joten rahkasammaleen korjuupotentiaali on kokonaisuudessaan suuri. Korjuun vaikutuksia kasvillisuuteen ja kasvihuonekaasujen vaihtoon on kuitenkin tutkittu vasta vähän. Alustavien tutkimusten perusteella korjuun syvyys vaikuttaa kasvihuonekaasuihin: matalan korjuun (rahkasammalta poistetaan <25 cm) kohteilla turvemaista tuli hiilinielua kolmessa vuodessa vähäisillä metaanipäästöillä, kun taas syvemmän korjuun (25–50 cm) kohteilla hiilen sidonta väheni ja metaanipäästöt lisääntyivät (Silvan ym., 2012). Lisäksi myös vuosien välinen olosuhteiden vaihtelu voi muuttaa korjuualan hiilidioksidin nielusta sen lähteeksi (Silvan ym., 2017). Näissä aiemmissa tutkimuksissa keskityttiin ensimmäisiin

2.12.2024

korjuukokeiluihin, joissa korjuu on ollut matalampaa ja alat pienempiä ja epäjatkuvia. Nykyisessä korjuumenetelmässä on käytetty syvempää korjuusyvyyttä (30–50 cm) ja suurempaa pinta-alaa, jolloin rahkasammalta jää uusiutumisen lähteeksi vähemmän.

Nykyisenlainen rahkasammalen korjuu jättää suot kasvipeitteettömiksi ja käynnistää kasvillisuuden sukkessioprosessin, jossa lajit palaavat vähitellen takaisin. Kasvilajikoostumus muuttuu vuosikymmenten kuluessa. Kasvillisuus vaikuttaa merkittävästi ekosysteemin toimintaan, mutta kasvillisuuden sukkessiokehitystä korjuun jälkeen ei ole vielä tutkittu. Rahkasammalen korjuun jälkeiset olosuhteet korjuualueilla muistuttavat turvetuotantoon avattuja soita, joilla on aloitettu puutarhaturpeen nosto. Tämä edellyttää ylemmän, hajoamattoman turvekerroksen poistamista.

Kasvillisuuden uusiutuminen turvetuotannon loputtua soilla riippuu pohjavedenpinnan tasosta, alkuperäisestä kasvillisuuden peittävytydestä, lämpötilasta ja ravinnetilanteesta (Strack ym., 2014). Strack ym. (2014) eivät havainneet spontaania rahkasammalen palautumista hylätyillä turvesoilla, mutta kun tällaiset kohteet ennallistetaan aktiivisesti sammalkerroksen siirtotekniikalla, suokasvillisuuden palautuminen saattaa olla nopeaa (González-Sargas, E. & Rochefort, L., 2019). Kasvihuonekaasujen vuot ovat vahvasti sidoksissa kasvillisuuden rakenteeseen (Peichl ym., 2018; Laine ym., 2022).

Kaasunvaihto muuttuu merkittävästi kasvillisuustyypin mukaisesti esimerkiksi soiden luonnollisen sukkession aikana (Leppälä ym., 2008; Leppälä ym., 2011). Ennallistettut turvekentät voivat siirtyä paljaista turvepinnoista, jotka toimivat nettohiilidioksidipäästöjen lähteinä, täysin kasvipeitteisiksi hiilinieluiksi kymmenen vuoden kuluessa. Tällöin rahkasammalpeitteisillä pinnoilla metaanipäästöt ovat vähäiset tai merkityksettömät, tupasvillapeitteiset pinnat ovat metaanilähteitä, ja molemmat toimivat hiilidioksidinieluina (Nugent ym., 2018, 2021). Näin ollen myös rahkasammalen korjuun jälkeen kasvihuonekaasujen vaihdon voidaan odottaa muuttuvan kasvillisuuden sukkession myötä.

Rahkasammalten, joiden yhteydessä elää metaania hapettavia bakteereja, on osoitettu vähentävän merkittävästi metaanipäästöjä (Kox ym., 2021). Toisaalta taas saramaisten kasvien (erityisesti tupasvillan) peittämien pintojen tiedetään lisäävän merkittävästi metaanipäästöjä ennallistamisen jälkeen, sillä ne voivat lisätä metaanituotantoa tarjoamalla ravintoa hapettomille vyöhykkeille ja kuljettamalla metaania ilmakehään aerenkymaattisen solukon kautta (Greenup ym., 2000; Waddington & Day, 2007).

3.1.3 Materiaalit ja menetelmät

Tutkimus tehtiin kahdeksalla alun perin rahkasammalvaltaisella, oligo- tai ombrotrofisella suokohteella Etelä-Pohjanmaalla ja Pirkanmaalla (taulukko 1). Näiden kohteiden hydrologia oli muuntunut läheisen turvetuotantotoiminnan, tienrakentamisen tai metsätalouden ojituksen vuoksi. Kolme kohteista oli ojitettu metsänkasvatusta varten, mutta puiden kasvatus ei ollut onnistunut. Korjuukohteet olivat erilaisia korjuutyövuoden ja korjuumenetelmän suhteen.

Tutkimusvuosina 2022 ja 2023 kasvukausittaiset (huhti-lokakuu) keskilämpötilat olivat 12,2 °C ja 12,3 °C (Ilmatieteen laitoksen avoin sääasemadata, Seinäjoki Pelmaa). Sekä vuoden 2022 että 2023 kausilämpötilojen keskiarvot olivat lähes 2 °C korkeammat kuin kuluneen 30 vuoden keskiarvo 10,4 °C.

2.12.2024

Vuotuinen sademäärä (Ilmatieteen laitoksen avoin sääasemadata, Seinäjoki Pelmaa) vuonna 2022 oli 703 mm, ja edeltävinä talvikuukausina (joulukuu-helmikuu) satoi 86,7 mm. Vuonna 2023 vuotuinen sademäärä laski 686 mm:iin, vaikka edeltävinä talvikuukausina sademäärä oli suurempi, 109 mm. Molempien vuosien vuotuinen sademäärä oli suurempi kuin 30 vuoden keskiarvo, 561 mm.

Taulukko 1. Koealojen sijainnit, korjuumenetelmät, korjuusta kulunut aika (vuodesta 2022) ja korjattu ja korjaamaton pinta-ala. Asteriski (*) merkitsee metsäojitettua alaa. Täysin korjatuilla aloilla enemmistö suon pinta-alasta on tasaisesti korjattu jättäen laajoja paljaita turvepintoja. Kaistalekorjatuilla aloilla on jätetty korjaamattomia kaistaleita korjatun alan sekaan.

Koeala	Sijainti	Menetelmä	Vuosia korjuusta (korjuuvuosi)	Korjattu ala (ha)	Korjaamaton ala (ha)
Ylimysneva* (Y)	62.148 °N, 22.869 °E	Täysin korjattu	1 (2021)	2,0	0,5
Kivisalmenneva e. (KE)	62.442 °N, 23.266 °E	Täysin korjattu	2 (2020)	14,4	2,1
Tuuranneva* (T)	62.350 °N, 23.342 °E	Täysin korjattu	2 (2020)	3,5	0,2
Liminganneva (L)	62.433 °N, 23.284 °E	Kaistalekorjattu	4 (2018)	5,4	3,8
Kivisalmenneva p. (KP)	62.445 °N, 23.263 °E	Kaistalekorjattu	5 (2017)	0,9	1,1
Peurainneva (P)	62.359 °N, 23.185 °E	Täysin korjattu	5 (2017)	9,1	4,8
Hoikkasuolenneva (H)	62.201 °N, 23.276 °E	Kaistalekorjattu	7 (2015)	3,5	5,4
Nimetönneva* (N)	62.131 °N, 23.516 °E	Kaistalekorjattu	7 (2015)	1,2	2,5

3.1.3.1 Kasvihuonekaasuvuon mittaukset ja ympäristömuuttujien mittaukset

Hiilidioksidin (CO₂) - ja metaanin (CH₄) vuomittaukset tehtiin kammiomenetelmällä kesä-lokakuussa 2022 ja huhti-lokakuussa 2023 2–3 viikon välein. Jokaisessa kohteessa oli kaksi käsittelytyyppiä: korjattu ja kontrolli, joissa molemmissa oli viisi näytepistettä kaasunvaihdon mittausta varten. Kaasuvuo mitattiin läpinäkyvän muovisen sylinterinmuotoisen kammion (40 cm korkea, 40 cm halkaisija) avulla, joka oli liitetty kannettavaan hivenkaasuanalysaattoriin (LI-7810, LI-COR Biosciences, Yhdysvallat).

Jokaisen mittauspisteen kaasumittaussarja koostui neljästä 60–180 sekuntia pitkästä mittauksesta. Vuo mitattiin 3–4 valotasolla: täydessä ympäristön valossa, yhden tai kahden varjostimen alla, ja hupulla peitettynä ilman valoa. Kaasumittausten yhteydessä mitattiin fotosynteesin fotonivirran tiheys (PPFD) sekä ilman lämpötila kammion sisällä. Lisäksi mitattiin maaperän lämpötila 5 cm ja 20 cm syvyydeltä sekä pohjavedenpinnan taso (WTL) kunkin näytepisteen vierestä.

Jokaisena mittausajankohtana näytepisteistä otettiin standardoidusti valokuva fotosynteesin vihreyden kausittaisen kehityksen seuraamista varten. Valokuvista laskettiin jokaiselle pikselille vihreä kromaattinen koordinaatti (GCC) jakamalla vihreän kanavan intensiteetti kaikkien kanavien intensiteettien summalla. GCC keskiarvoistettiin näytepisteen rajaamalle alueella. Tätä menetelmää on käytetty tunnistamaan lehtien kausittaisia fenologisia muutoksia ja lehtien pinta-alaa, ja sitä pidetään hyvänä indikaattorina suokasvillisuuden hiilidioksidin sitomiselle (Peichl, 2018; Sonnentag ym., 2012).

2.12.2024

3.1.3.2 Kasvillisuustutkimus ja koealojen ryhmittely

Kesä-heinäkuussa 2022 määritettiin kaasunvaihdon näytepisteiden putkilokasvien ja sammalten prosentuaalinen peittävyys lajitasolla, sekä paljaan turpeen pinta-ala.

Näytepisteet ryhmiteltiin kasvillisuuden koostumuksen perusteella käyttämällä *t*-SNE-menetelmää (*t*-distributed stochastic neighbour embedding) (van der Maaten & Hinton, 2008). *t*-SNE on dimension redusointitekniikka, joka kartoittaa korkeaulotteiset datapisteet kaksiulotteiseen avaruuteen säilyttäen samalla niiden väliset pareittaiset samankaltaisuudet. *t*-SNE-ryhmittelyä varten koealojen kasvillisuusprosenttitiedot muunnettiin Hellingerin muunnoksella, ja näille laskettiin etäisyydet Bray-Curtisin menetelmällä.

3.1.3.3 Kasvihuonekaasuaineiston käsittely ja tilastollinen analyysi

Hiilidioksidin ja metaanin vuot laskettiin kaasupitoisuuden lineaarisen muutoksen perusteella ajan funktiona. Jokainen mittaus tarkastettiin silmämääräisesti mittauksen onnistumisen varmistamiseksi ja tarvittaessa trimmattiin lyhyemmäksi alusta ja lopusta. Analyysiin otettiin mukaan yhteensä 4531 mittausta, ja alle viisi prosenttia mittauksista hylättiin epäonnistuneina.

Kumulatiiviset kausittaiset estimoitiin jokaiselle näytepisteelle. Metaanivuot laskettiin lineaarisesti mittausten välille interpoloitujen päivittäisten arvojen summana. Tuntikohtaiset nettoekosysteemivaihdon (NEE) arvot saatiin sovittamalla tilastollinen malli fotosynteesin valovastekäyrään. Käyttämämme NEE:n mallinnusmenetelmä vastasi Korrensalo ym. (2020a, 2020b) ja Laine ym. (2019) -julkaisuissa kuvattuja menetelmiä. Näihin aiempiin töihin verrattuna NEE-mallissamme hyödynnettiin GCC:tä selittäjänä lehtipinta-alaindeksi (LAI) sijasta. Mallin sovite tehtiin Bayesilaisen paradigman mukaan käyttäen Stan-ohjelmistoa (Stan Development Team, 2024). Priorijakaumina käytettiin informatiivisia jakaumia, jotka perustuivat aiempiin tutkimuksiin (Korrensalo ym. 2020a, 2020b, Laine ym., 2019).

Sovitetun mallin avulla laskettiin tuntikohtaiset NEE arvot kullekin mittauspisteelle käyttämällä mallissa mukana olevien ympäristötekijöiden (PPFD, ilman lämpötila, GCC, vedenpinnan taso (WTL)) tunneittaisia aikasarjoja. Vuoden 2022 alkupuolelta puuttuvat GCC:n ja WTL:n tiedot ekstrapoloitiin havaittujen muutosten perusteella vuoden 2023 vastaavana ajanjaksona. Ilman lämpötilaa ja PPFD:tä ja mitattiin jatkuvatoimisesti Limingannevalle asennetulla sääasemalla ja puuttuvat tiedot korvattiin Seinäjoen Pelmaan Ilmatieteen laitoksen sääasemalta.

3.1.3.4 Kasvillisuustyyppien pinta-alan normalisointi

Kasvihuonekaasuvaihdon vertailun helpottamiseksi koealojen ja käsittelyjen välillä tehtiin pinta-alan normalisointi, jossa otettiin huomioon vaihtelut eri näytepisteiden edustamien kasvillisuustyyppien (plant community types, PCT) alueellisessa laajuudessa työpaketin 2 luokittelutulosten pohjalta.

Samaa kasvillisuustyyppiä (PCT) edustavien näytepisteiden NEE ja CH₄ -vuot keskiarvoistettiin ja kullekin koealalle laskettiin pinta-alapainotettu keskimääräinen NEE ja CH₄ -vuo kasviyhteisötyyppien

2.12.2024

(PCT) peittämän pinta-alan perusteella. Valitettavasti 10 kaasumittauspistettä kullakin kohteella ei jokaisessa tapauksessa kattanut kaikkia koealalla esiintyviä kasviyhteisötyyppejä ja käsittely-yhdistelmiä. Kun tiettyjä PCT- ja käsittely-yhdistelmiä ei esiintynyt koealan näytepisteillä, näiden sijaan käytettiin muilla kohteilla sijaitsevien samankaltaisten näytepisteiden keskiarvoja.

Lopuksi kasvihuonekaasujen hiilen kokonaistase laskettiin pinta-alaskaalatuista arvoista kasvukaudelle NEE:n ja metaanivuon erotuksena, ja koko vuodelle lisäämällä kasvukauden NEE-arvoon 15 % kasvukauden respiraatiosta, ja vähentämällä tästä vuoden metaanivuo.

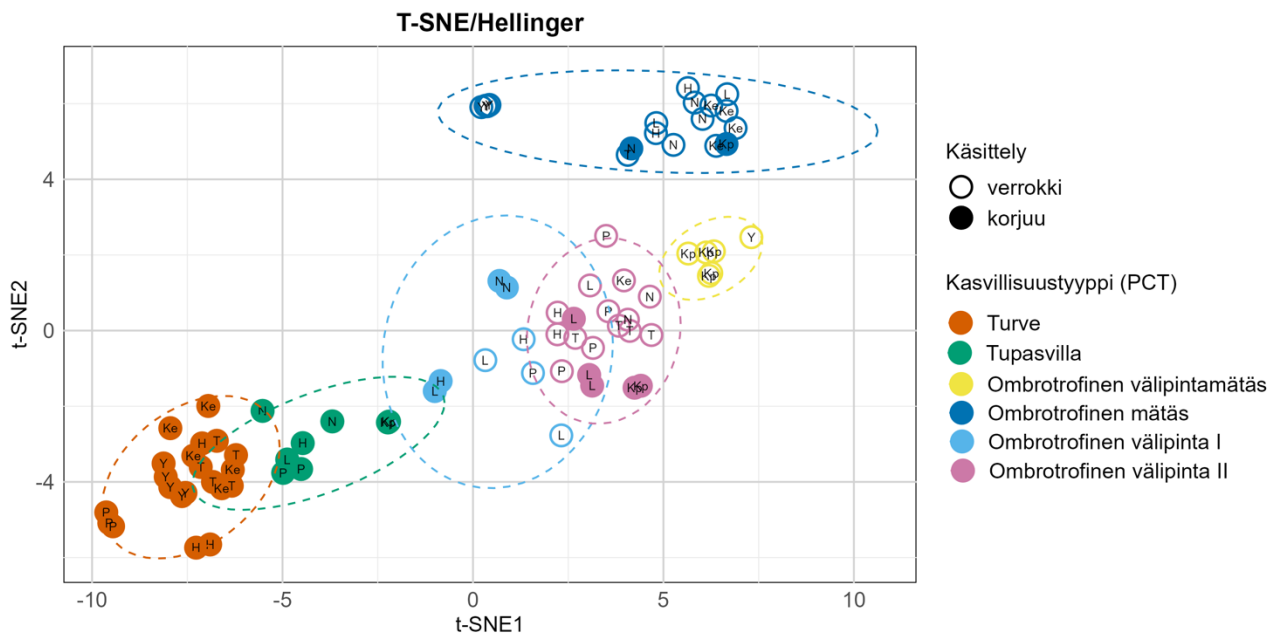
3.1.4 Tulokset

3.1.4.1 Kasvillisuus

t-SNE-klusteroinnin tuloksena identifioitiin kuusi visuaalisesti ja ekologisesti erilaista kasviyhteisötyyppiä (PCT), jotka koostuivat 1) paljaan turpeen hallitsemasta pinnasta, 2) tupasvillan hallitsemasta pinnasta, 3) ombrotrofisesta mättäystä (hummock), 4) ja 5) kahdesta ombrotrofisesta välipinnasta (lawn I ja lawn II) ja 6) ombrotrofisesta korkeasta välipinnasta (high lawn) (kuva 1).

Korjattujen ja kontrollialojen kasvillisuuskoostumukset olivat erilaisia (Mantel-testi Bray-Curtisin erilaisuusmatriiseista ei osoittanut korrelaatiota, $p=0,93$), ja korjuualojen kasvillisuuteen vaikutti korjuusta kulunut aika (permutaatio-ANOVA R-paketin ”vegan” adonis2-funktiolla Bray-Curtisin erilaisuusmatriisien ryhmille korjuuajankohdan jälkeisten vuosien mukaan, $p=0,0002$). Paljas turve- ja tupasvillavaltaisia näytealoja oli vain korjatuilla aloilla, kun taas ombrotrofisia mätäspintoja ja ombrotrofisia välipintoja oli sekä korjatuilla että kontrollialoilla. Ilmakuva-analyysi osoitti kuitenkin, että korjatuilla aloilla kaksi ombrotrofista mätäspintapistettä ja kolme ombrotrofista välipintapistettä sijaitsivat korjuukoneiden reitillä eivätkä varsinaisella korjuualalla. Varsinaiset korjuun jälkeen kehittyneet ombrotrofiset välipintapisteen sijaitsivat vanhemmilla korjuualoilla, ja nämä muistuttivat kasvillisuudeltaan eniten alkuperäistä tyyppiä. Jotkin korjuualojen paljaan turpeen hallitsemat näytepisteet alkoivat muistuttaa tupasvillavaltaisia näytepisteitä tutkimuksen toisena mittausvuonna, mikä viittaa kasvillisuuden sukkessioon.

2.12.2024



Kuva 1. t-SNE ryhmittely mittauspisteistä kasviyhteisötyypin (PCT) ja käsittelyn mukaan. Kirjaimet pisteiden sisällä osoittavat koealan: Y = Ylimysneva, KE = Kivisalmenneva etelä, T = Tuuranneva, L = Liminganneva, KP = Kivisalmenneva pohjoinen, P = Peurainneva, H = Hoikkasuolenneva ja N = Nimetönneva.

Havaitut kasvilajit olivat tavanomaisia niukkaravinteisille oligo- ja ombrotrofisille soille (taulukko 2). Korjuualoilla kasvillisuuden kokonaispeittävyys oli korkein ombrotrofisten mättäiden ja ombrotrofisten välipintojen I ja II näytepisteillä. Korjuualoilla esiintyi runsaammin saramaisia kasveja (yhd. saramaisten kasvien peittävyyskeskiarvojen välinen ero: 15,4 %, permutaatiotesti $p=0,014$, $n=40$), kun taas kontrollialoilla esiintyi runsaammin varpuja (yhd. varpujen peittävyyskeskiarvojen välinen ero: -13,6 %, permutaatiotesti $p=0,00001$, $n=40$).

Korjuualoilla rahkasammalen peittävyys oli suurinta mätäs- ja välipinnoilla, mutta se oli silti vähäisempää kuin kahden välipintatyyppin rahkasammalpeittävyys kontrollialoilla (rahkasammalen peittävyyskeskiarvojen välinen ero: -18,2 %, permutaatiotesti $p=0,0412$) (taulukko 2).

2.12.2024

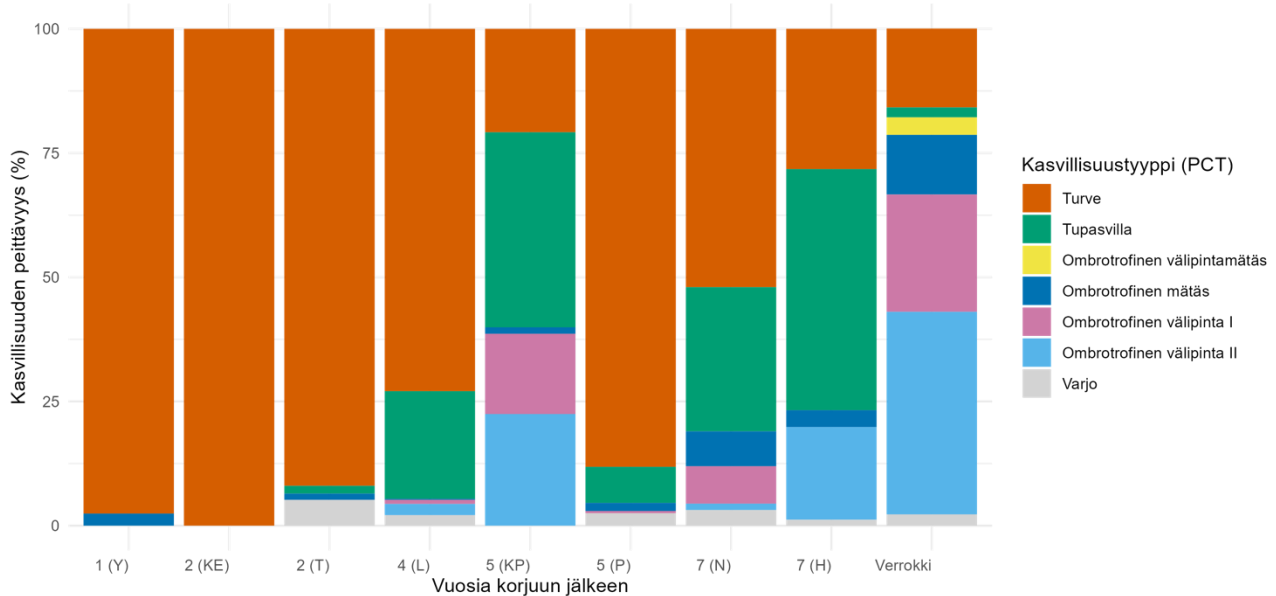
Taulukko 2. Kasviyhteisötyyppien (PCT) karakterisointi eri käsittelyillä. Sarake n kertoo näytepisteiden lukumäärän. Valtalajeista ilmoitetaan kaksi yleisintä sammallajia (S) ja putkilokasvilajia (P).

Kasviyhteisö- tyyppi	Käsittely	n	Valtalajit	Keski- määräinen paljaan turve- pinnan peittävyys (%)	Keski- määräinen rahka- sammalen peittävyys (%)	Keski- määräinen ruoho-kasvien peittävyys (%)	Keski- määräinen varpujen ja pensaiden peittävyys (%)
paljas turve	korjuu	21	S: <i>S. angustifolium</i> , <i>P. strictum</i> P: <i>C. vulgaris</i> , <i>C. rostrata</i>	92	2	3	7
Tupasvilla- valtainen	korjuu	8	S: <i>S. angustifolium</i> , <i>S. fuscum</i> . P: <i>E. vaginatum</i> , <i>C. vulgaris</i>	54	2	65	3
ombrotrofinen mätäs	korjuu	2	S: <i>S. fuscum</i> , <i>S. angustifolium</i> P: <i>E. nigrum</i> , <i>C. vulgaris</i>	2	90	1	52
ombrotrofinen välipinta I	korjuu	5	S: <i>S. angustifolium</i> , <i>S. medium</i> P: <i>C. rostrata</i> , <i>C. vulgaris</i>	4	86	6	3
ombrotrofinen välipinta II	korjuu	4	S: <i>S. angustifolium</i> , <i>S. medium</i> P: <i>E. vaginatum</i> , <i>V. oxycoccus</i>	17	57	38	5
ombrotrofinen korkea välipinta	kontrolli	6	S: <i>S. angustifolium</i> , <i>S. capillifolium</i> P: <i>E. nigrum</i> , <i>R. chamaemorus</i>	4	35	5	50
ombrotrofinen mätäs	kontrolli	16	S: <i>S. fuscum</i> , <i>P. schreberi</i> P: <i>R. chamaemorus</i> , <i>E. nigrum</i>	0	73	1	24
ombrotrofinen välipinta I	kontrolli	14	S: <i>S. angustifolium</i> , <i>S. fuscum</i> P: <i>E. nigrum</i> , <i>C. vulgaris</i>	2	97	6	17
ombrotrofinen välipinta II	kontrolli	4	S: <i>S. angustifolium</i> , <i>S. papillosum</i> P: <i>E. vaginatum</i> , <i>A. polifolia</i>	4	75	26	25

Eri kasviyhteisötyyppien yleisyys vaihteli korjuusta kuluneiden vuosien mukaan. Nuorilla, 1–2 vuotta sitten korjatuilla kohteilla paljaan turpeen peittävyys oli suuri, 90–100 prosenttia, kun taas tupasvillavaltainen pinta-ala oli alkanut laajentua suhteellisen nopeasti, ja vanhemmilla korjuukohteilla tupasvillavaltaisen tyyppin peittämä pinta-ala oli 7–49 % (kuva 2). Tämä varhaisessa sukkessiossa yleinen kasvillisuustyyppi oli harvinainen kontrollialoilla. Rahkasammalen peittämiä alueita oli harvakseltaan (< 20 %) kaikilla korjuualoilla, ja ne muodostuivat pääasiassa ombrotrofisista välipinnoista I ja II, joissa rahkasammalen keskipeittävyys oli 86 % ja 57 % (taulukko 2). Kontrollialoilla yleisimmät

2.12.2024

kasviyhteisötyypit, eli ombrotrofiset välipinnat, korkeat välipinnat ja mättäät, olivat edelleen melko harvinaisia jopa 5–7 vuotta sitten korjatuilla aloilla (kuva 3). Sammalvaltaisten kasviyhteisötyyppien (ombrotrofiset mättäät sekä ombrotrofiset välipinnat I ja II) pinta-alan kasvussa ei ollut selkeää trendiä vanhemmilla kohteilla (4–7 vuotta korjuuajankohdan jälkeen). Kahdella kasvupaikalla sammalvaltaisten kasviyhteisötyyppien peittävyys oli alle 5 %, kun taas lopuilla kolmella kasvupaikalla sammalvaltaisten kasviyhteisötyyppien peittävyys vaihteli 15 ja 40 prosentin välillä (kuva 2).



Kuva 2. Korjuualojen kasviyhteisötyyppien peittävyys koealoittain. Tulkittu ilmakuvista kesä-heinäkuussa 2022. Kirjaimet edustavat koealoja: Y = Ylimysneva, KE = Kivisalmenneva etelä, T = Tuuranneva, L = Liminganneva, KP = Kivisalmenneva pohjoinen, P = Peurainneva, H = Hoikkasuolenneva ja N = Nimetönneva. Ilmakuvat sisälsivät myös varjossa olevia kohtia, joista kasviyhteisöä ei voitu identifioida. Kontrollialojen kasviyhteisöt esitetään yhdistetysti yhdellä pylväällä.

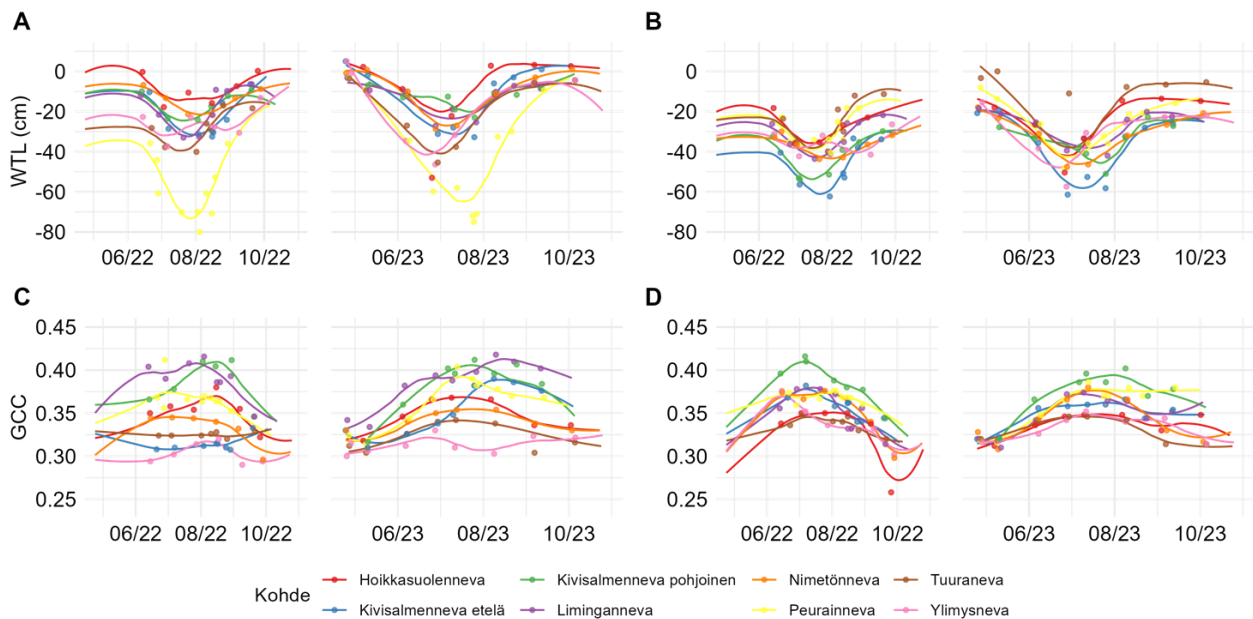
3.1.4.2 Koealan vihreyden ja pohjavedenpinnan tason kausittainen kehitys

Vihreän kromaattisen koordinaatin (GCC) arvot edustivat tässä tutkimuksessa näytepisteiden fotosynteesistä aktiivista lehtipinta-alaa. Nämä olivat korkeimmat 4–5 vuotta aiemmin korjatuilla aloilla sekä vuosina 2022 että 2023, ja alhaisimmat nuorimmilla korjatuilla aloilla 1–2 vuotta korjuun jälkeen (kuva 3). Vanhemmilla korjuukohteilla GCC oli sama tai hieman korkeampi ja nuoremmilla korjuukohteilla matalampi verrattuna kontrollialoihin. Molempina tutkimusvuosina vihreyshuippu nähtiin heinäkuussa kontrollialoilla ja elokuussa korjatuilla aloilla.

Ombrotrofien välipinta I oli keskimäärin, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi, märempä, kun taas kontrollialueiden ombrotrofiset korkeat välipinnat ja korkeat mättäät olivat kuivimpia (keskiarvojen ero -10,3 cm, permutaatio-ANOVA, F-statistiikka $p < 0,0001$, $n=25$ korkeiden välipintojen ja mättäiden pintatyypeissä ja $n=36$ välipinnoilla I ja II). Pohjavedenpinnan tasot olivat korkeammat vuonna 2023, johtuen edellisen talven suuremmista sademääristä. Yleisesti ottaen pohjavedenpinnan tasot olivat samat

2.12.2024

tai korkeammat korjatuilla aloilla kuin kontrollialoilla (permutaatiotestit: kasvupaikan H keskiarvojen ero 18,2 cm $p=0,0026$, KE ero 24,9 cm $p=0,00002$, KP ero 22,6 cm $p=0,00001$, L ero 14,0 cm $p=0,0007$, N ero 22,5 cm $p<0,00001$, Y ero 10,7 cm $p=0,0049$, T ero ei merkitsevä. $n=10$), yhtä poikkeusta lukuun ottamatta: yhdellä kohteella 5-6 vuotta korjuuajankohdan jälkeen, tasot laskivat alle -60 cm:n (permutaatiotesti: P-keskiarvoero -12,9 $p=0,0013$. $n=10$) (kuva 3). Pohjavedenpinnan tason perusteella korjuukohteet luokiteltiin joko kuiviksi (Peurainneva, Tuuranneva ja Ylimysneva) tai märiksi (Hoikkasuolenneva, Kivisalmenneva etelä, Kivisalmenneva pohjoinen, Liminganneva ja Nimetönneva). Pohjavedenpinnan taso oli alimmillaan heinäkuussa korjuussa molempina mittausvuosina (kuva 3).



Kuva 3. Ympäristömuuttujien interpoloidut päivittäiset arvot ja mitatut arvot. Korjuualat esitetään paneeleissa A ja C, ja kontrollialat paneeleissa B ja D. Paneelit A ja B näyttävät vedenpinnan tason (WTL) ja paneelit C ja D vihreän kromaattisen koordinaatin (GCC) arvot kasvukauden aikana (24. huhtikuuta – 30. lokakuuta, 184 päivää).

3.1.4.3 Kasvihuonekaasupäästöjen kehittyminen korjuun jälkeen

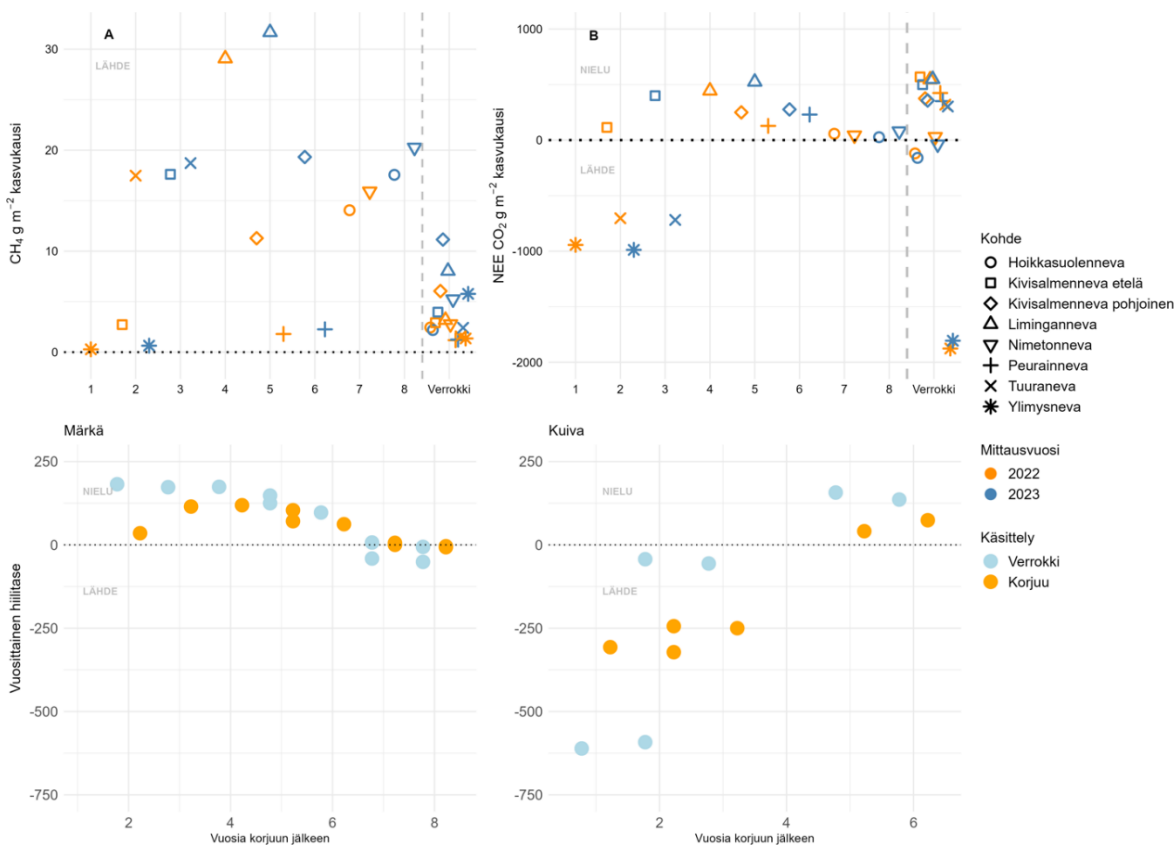
Mitatut metaanivuot vaihtelivat korjuualoilla välillä $-9,7 - 88,1 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ja kontrollialoilla $-0,6 - 21,0 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ kahden vuoden mittausjakson aikana, ja käsittely- ja vuotuiset vuot erosivat toisistaan (permutaatio-ANOVA, $p < 0.00001$ ja $p = 0.0002$). Hiilidioksidivuot vaihteli korjuualoilla välillä $-2,0 - 2,8 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ja kontrollialoilla välillä $-1,5 - 2,2 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, ja vuot erosivat käsittelyjen ja vuosien välillä (permutaatio-ANOVA, $p = 0,0062$ ja $p < 0.00001$, vastaavasti). Pinta-alaskaalattu kausittainen metaanivuot vaihteli välillä $0,3 - 31,7 \text{ g m}^{-2}$ korjatuilla aloilla ja $1,2 - 11,2 \text{ g m}^{-2}$ kontrollialoilla. Korjuualojen suurimmat metaanivuot havaittiin kohteilla, joilla oli korkea pohjavedenpinta ja paljon tupasvillaa (taulukko 2, kuva 4). Pienimmät vuot havaittiin kuivilla paljaan turvepinnan hallitsemilla aloilla. Metaanivuot olivat yleisesti ottaen pienempiä vuonna 2022.

Pinta-alaskaalattu kausittainen hiilidioksidin nettoekosysteemivaihto (NEE) vaihteli positiivisesta (hiilidioksidinielu) negatiiviseen (hiilidioksidin lähde) sekä korjatuilla aloilla että kontrollialoilla (kuva

2.12.2024

5). Korjattujen alojen suurimmat hiilidioksidilähteet olivat kaksi kuivaa nuorta alaa, joilla ei vielä ollut kasvillisuutta. Vastaavasti bruttoprimäärituotanto (GPP) oli pienin näillä alueilla. Korjattujen alojen korkein NEE (hiilidioksidinielu) havaittiin ”keski-ikäisillä” aloilla (kuva 4; taulukko 3), joilla oli myös korkein GCC kaikkina vuodenaikoina (kuva 4). Korjuualojen korkeimmat respiraatiot havaittiin kuivilla aloilla, joilla pohjavedenpinnan taso oli jatkuvasti alhainen. Kuitenkin sekä korkeimmat (voimakkain CO₂ -nielu) että alhaisimmat (voimakkain CO₂ -lähde) vuotuiset NEE arvot mitattiin kontrollialoilla (taulukko 3).

Nuorimmat kuivat korjuualueet (1–2 vuotta korjuun jälkeen) olivat suurimpia hiilen lähteitä ilmakehään, kun taas 4–5 vuotta sitten korjatut kosteat alueet olivat suurimpia hiilinieluja. Tutkimuksen vanhimmilla korjuualoilla hiilitase oli lähellä nollaa (kuva 4, taulukko 3). Lisäksi kontrollialojen hiilitase vaihteli suuresti, ja metsäojitetut kohteet olivat suurimmat hiilen lähteet ilmakehään.



Kuva 4. Kausittaiset kumulatiiviset pinta-alakorjatut A) metaanivuot (CH₄) ja B) nettoekosysteemi-vaihdannat (CO₂, NEE) 1–8 vuotta sitten korjatuilla koealoilla 2022 ja 2023. Molemmissa kasvukausi on 24. huhtikuuta – 30. lokakuuta (184 päivää). Positiiviset NEE-arvot tarkoittavat hiilidioksidinielua ja negatiiviset hiilidioksidilähdettä ekosysteemistä ilmakehään. Vuotuiset hiilitaseet C) kosteilla ja D) kuivilla korjuukohteilla perustuen hiilen määrään hiilidioksidi- ja metaanivuossa. Positiiviset hiilitaseluvut tarkoittavat hiilinielua ja negatiiviset lähdettä. Kosteita kohteita olivat Kivisalmenneva etelä, Liminganneva, Kivisalmenneva pohjoinen, Hoikkasuolenneva ja Nimetönneva. Kuivia kohteita olivat Ylimysneva, Tuuranneva ja Peurainneva.

2.12.2024

Taulukko 3. Vuotuinen metaani ($\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2}$), tilastollisesti mallinnettu nettoekosysteemivaihdanta (NEE, $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2}$) ja kasvihuonekaasujen hiilitase (GGCB, g C m^{-2}). Positiiviset NEE-arvot tarkoittavat hiilidioksidinielua, ja negatiiviset lähdeä. Positiiviset GGCB-arvot tarkoittavat ekosysteemin hiilen sidontaa ja negatiiviset lähdeä. CH_4 -arvot tarkoittavat emissioita ilmakehään. **Päästöt ilmakehään esitetään lihavoituina.**

Koeala	Y	KE	T	L	KP	P	H	N
Kosteusolot	kuiva	kostea	kuiva	kostea	kostea	kuiva	kostea	kostea
Vuosia korjuusta	1–2	2–3	2–3	4–5	5–6	5–6	7–8	7–8
Korjuualat								
CH₄ vuotuinen								
2022	0	3	20	33	13	2	16	18
2023	0,74	20,25	21,3	36,42	22,22	2,60	20,19	23,30
NEE vuotuinen								
2022	-1157	0	-911	301	64	-105	-151	-121
2023	-1216	253	-934	262	58	13	-183	-137
GGCB vuotuinen								
2022	-307	25	-244	82	50	30	2	-3
2023	-322	81	-250	70	41	54	-4	-7
Kontrolli								
CH₄ vuotuinen								
2022	2	3	2	4	7	1	3	3
2023	7	5	3	9	13	1	3	6
NEE vuotuinen								
2022	-2313	411	-322	374	205	253	-289	-246
2023	-2202	391	-363	314	140	192	-332	-269
GGCB vuotuinen								
2022	-611	134	-43	128	91	116	-41	5
2023	-592	127	-56	108	69	100	-51	-6

3.1.5 Tulosten tarkastelu

Tämä tutkimus osoittaa, että kasvillisuuden kehitys korjuun jälkeen ja vastaavasti hiilidioksidin nettovaihto ja metaanipäästöt rahkasammalen korjuun jälkeen riippuvat suuresti suon kosteusolosuhteista. Kuivat olosuhteet johtavat paljaan turpeen ja kanervan sekä varpukasvillisuuden yleistymiseen, kun taas kosteat olosuhteet johtavat tupasvillan yleistymiseen. Kaasunvaihto seuraa läheisesti kasvillisuuden kehitystä.

2.12.2024

3.1.5.1 Kasvillisuuden kehittyminen rahkasammalen korjuualoilla

Rahkasammalen korjuun perusoletuksena on sammalen uusiutuvuus ja se, että korjuu voidaan suorittaa samoilla paikoilla uudelleen tietyn ajan kuluttua. Saatujen tulosten perusteella rahkasammalen spontaani uusiutuminen itsestään on kuitenkin hyvin hidas prosessi. Rahkasammalen uusiutumisessa havaittiin huomattavia eroja kosteiden, kaistaleittain korjattujen alueiden välillä, joilla sammalen peittävyys oli 2–28 %, ja kuivien, kokonaan korjattujen alueiden välillä, joilla sitä ei esiintynyt lähes lainkaan. Vaikka joillakin näytepisteillä vanhemmilla kohteilla rahkasammalen peittävyys oli huomattavasti korkeampi, jopa 95 %, ilmakuviin perusteella nämä näytepisteet osuivat korjuukoneiden kulkureiteille. Rahkasammal ei siis luultavasti ollut uudistunut, vaan säilynyt korjuuprosessin aikana. Tulokset ovat samansuuntaisia kuin hylätyillä turpeenottoalueilla, joilla rahkasammalen peittävyyden on havaittu parhaimmillaan olevan 21 prosenttia (Lavoie *ym.*, 2005; Poulin *ym.*, 2005). Tämä on ristiriidassa Kanadan ”lähdealueiden” havaintojen kanssa, joissa rahkasammalen peittävyyden havaittiin palautuvan täysin 11 vuoden kuluessa siitä, kun suon pinnan ylin 10 cm oli korjattu (Guêné-Nanchen *ym.*, 2019). Ero korjuumenetelmissä ja erityisesti korjuun syvyydessä näyttää olevan ratkaisevaa elpymisen kannalta.

Hydrologiset olosuhteet vaikuttivat korjuun jälkeiseen kasvillisuuden kehitykseen. Kosteilla kasvupaikoilla paljasiin turvepintoihin yleisesti liittyvät pioneerilajit, kuten tupasvilla (Tuittila *ym.*, 2000; Rochefort *ym.*, 2013), vakiintuivat nopeasti ja hallitsivat vanhempia kasvupaikkoja (4–7 vuotta korjuun jälkeen). Tutkimuksemme kesto oli riittämätön, jotta olisimme havainneet usein raportoidun tupasvillan vähenemisen, joka tyypillisesti edistää muiden suokasvien asettumista (Lavoie *ym.*, 2005; Rochefort *ym.*, 2013). Esimerkiksi varpujen ja pensaiden peittävyys oli tutkimuskohteissamme hyvin alhainen. Kanervakasvien tiedetään vaativan pidemmän ajan vakiintumista varten (Gonzalez & Rochefort, 2016), ja yli 20 vuotta kestäneissä tutkimuksissa on raportoitu samankaltaisia peittävyydestä kuin kontrollialoillamme (Poulin *ym.*, 2005). Koska tupasvillan tiedetään helpottavan rahkasammalen uudistumista (Tuittila *ym.*, 2000), on mahdollista, että rahkasammalen vakiintuminen voi tapahtua pitkällä aikavälillä. Seitsemän ensimmäisen vuoden jälkeen tulokset eivät kuitenkaan ole olleet kovin lupaavia käytetyllä keruumenetelmällä. Jos kohteitamme verrataan kanadalaisiin ennallistamiskohteisiin, kohteemme luokiteltaisiin heikoimpaan luokkaan ”vähäpeitteinen monimuotoinen suokasvillisuus” (González *ym.*, 2014). Tämä osoittaa, että palautuminen ei ole onnistunut.

Kuivilla kasvupaikoilla kasvillisuus kehittyi eri suuntaisesti. Vielä viisi vuotta korjuun jälkeen paljaat turvepinnat hallitsivat kasvupaikkaa, ja yleisin laji oli kanerva. Samanlainen kasvillisuuden vähäisyys itsenäinen palautuminen on yleistä hylätyillä turpeenottoalueilla, koska kuivuus (pohjavedenpinnan taso < 40 cm), pakkanen, korkeat lämpötilat paljaalla turpeen pinnalla, hävinneet kasvillisuuden lähteet ja turvekemia vaikeuttavat taimien itämistä ja selviytymistä (Poulin *ym.*, 2005; Triisberg *ym.*, 2013).

3.1.5.2 Kasvihuonekaasujen vuot kosteilla kasvupaikoilla

Kasvihuonekaasujen vuot seurasivat tiiviisti kasvillisuuden koostumuksen kehitystä. Kosteilla nuorilla korjuualoilla pohjavedenpinnan vaihteluiden ja harvan tai puuttuvan kasvillisuuden yhdistelmä johti alhaisiin metaanipäästöihin, luultavasti koska metanogeeneille oli tarjolla niukasti ravintoa. Näissä suhteellisen kosteissa olosuhteissa harvan kasvillisuuden (lähinnä tupasvillaa) bruttofotosynteesi riitti

2.12.2024

tasapainottamaan turpeen hajoamisen, mikä johti nettomääräiseen hiilidioksidisidontaan ja suhteellisen vähäisten metaanipäästöjen vuoksi myös nettona kaasumaisen hiilen sidontaan.

Tupasvillakasvuston nopea lisääntyminen korjuun jälkeen vaikutti merkittävästi sekä metaanin että hiilidioksidin kaasunvaihtoon. Suurimmat metaanipäästöt havaittiin kostealla, tupasvillakasvillisuuden hallitsemalla alueella 4–6 vuotta sammalen korjuun jälkeen, ja ne olivat kymmenkertaiset kontrollialueisiin verrattuna. Tupasvillan aerenkymisolukko kuljettaa tehokkaasti metaania turpeesta ilmakehään (Lai *ym.*, 2014) ja tuottaa lisäksi juurieritteinä vapautuvia fotosynteesituotteita tarjoten ravintoa metaanigeeneille (Dorodnikov *ym.*, 2011). Suurten metaanipäästöjen ohella, tupasvillan tehokas hiilidioksidin sidontakyky korkeissa valo-olosuhteissa johti korkeaan bruttoprimäärituotantoon. Yhdessä vähäisen respiraation kanssa tämä johti voimakkaaseen hiilidioksidin ja kaasumaisen hiilen nettonieluun. Samanlaisia havaintoja on tehty myös muissa tutkimuksissa, joissa tupasvillalla on osoitettu olevan ratkaiseva merkitys hiilidioksidin sidonnassa ennallistamisen jälkeen (Tuittila *ym.*, 1999).

Metaanipäästöt olivat korkeita vanhimmilla korjuualoilla, joille oli ominaista mosaiikkimainen, eri kasviyhteisötyypeistä muodostunut pinta. Näissä kuitenkin hiilidioksidin nettovaihto pysytteli nollan tuntumassa. Märkien korjuukohteiden metaanipäästöt ovat paremmin verrattavissa minerotrofisten soiden kuin ombrotrofisten soiden metaanipäästöihin (Saarnio *ym.*, 2009). On todettu, että metaanipäästöt vähenevät runsaan rahkasammalkerroksen myötä johtuen metaania hapettavista bakteereista (metanotrofiset bakteerit), jotka asuttavat rahkasammalen hyaliinisoluja ja toimittavat kasville metaanin hapettumisesta peräisin olevaa hiilidioksidia (Putkinen *ym.*, 2018). Tällainen tiheä rahkasammalkerros useimmiten vielä puuttui korjuukohteista. Tutkimuksessamme mitatut hiilidioksidin nettoekosysteemivaihdon (NEE) arvot olivat samankaltaisia kuin Riutta *ym.* (2020) raportoivat oligotrofiselle suolle. NEE:n (nielun) väheneminen, joka havaittiin tässä tutkimuksessa, on dokumentoitu myös luonnollisen suokasvillisuuden sukkession aikana (Leppälä *ym.*, 2008) ja ennallistamisen jälkeen (Yli-Petäys *ym.*, 2007), ja se on yhdistetty ruoho- ja saramaistenkasvien peittävyuden vähenemiseen.

3.1.5.3 Kasvihuonekaasujen vuot kuivilla kasvupaikoilla

Ensimmäisinä korjuun jälkeisinä vuosina kuivilla lähes kasvipeitteettömillä kasvupaikoilla vedenpinnan vaihtelu oli voimakasta. Tämä johti tutkituilla korjuualoilla vedenpinnan laskuun ja kuivumiseen sateettomina kausina ja tulvimiseen sateisina kausina (McNeil & Waddington, 2003). Kasvihuonekaasujen vaihdanta kolmella korjatulla kuivalla alalla oli vaihtelevaa. Kahdella näistä kohteista (nuorimmalla ja vanhimmalla) oli hyvin alhaiset metaanipäästöt, mikä vastaa yleistä käsitystä siitä, että kasvillisuuden puute ja matalampi pohjavedenpinta vähentävät metaanipäästöjä tehokkaasti (Tian *ym.*, 2023). Yhdellä alalla metaanipäästöt olivat kuitenkin korkeat. Tähän saattoi vaikuttaa se, että kaksi viidestä näytepisteestä sijaitsi painanteessa. Kun turvepintaisten painanteet olivat märkiä, ei hapettomissa oloissa tuotetun metaanin hapettumista juurikaan tapahtunut, vedenpinnan yläpuolisen hapellisen turvekerroksen ohuuden takia (van Winden *ym.*, 2012).

Ensimmäisinä korjuun jälkeisinä vuosina kuivat kasvupaikat toimivat hiilidioksidin nettolähteinä, koska niiden fotosynteettinen aktiivisuus oli olematonta kasvipeitteen puuttuessa ja tämä ei riittänyt

2.12.2024

kompensoimaan turpeen hajoamisesta vapautuvaa hiilidioksidia. Tämä havainto vastaa aiempia tutkimuksia hylätyiltä turpeenottoalueilta (Strack & Zuback, 2012; Nugent *ym.*, 2021).

Yllättäen myös vanhempi kuiva koeala (P), jolle oli ominaista matala pohjavedenpinta ja pääasiassa paljas turvepinta harvalla kanerva- ja tupasvillakasvillisuudella, oli kasvukausien aikana hiilidioksidinielu. Koska tällaisissa olosuhteissa turpeen odotettiin hajoavan tehokkaasti, tämän kasvillisuustyypin korkea hiilen sidontakyky oli yllättävää. Mahdollinen selitys voisi liittyä kanervakasvustoon ja maaperän mikrobiyhteisön koostumukseen ja aktiivisuuteen. Kanerva on tunnetusti yhteydessä *Ericoid Mycorrhiza* (ErM) -sienijuureen, ja kasvin ja sienien symbioosi parantaa kasvien kasvunopeutta, juurtumista, kuivuuden sietokykyä ja edistää korkeampaa fotosynteesiä ja transpiraatiota (Wei *ym.*, 2022).

3.1.6 Johtopäätökset

Vaikka rahkasammalen kestävä korjuu perustuu oletukseen korjatun materiaalin uusiutumisesta, tutkimuksemme osoittaa, että prosessi on todennäköisesti odotettua hitaampi käytetyllä korjuumenetelmällä. Palautuminen riippuu suuresti myös hydrologisista olosuhteista alalla korjuun jälkeen. Rahkasammalen uusiutuminen vaikuttaa epätodennäköisemmältä kuivilla kasvupaikoilla ja on selvästi hitaampaa kosteillakin kasvupaikoilla verrattuna kokemuksiin Kanadan turvetuotantoalueilta, jotka on ennallistettu sammalen siirtotekniikalla. Ilman uudistamistoimenpiteitä, kuten vesiolosuhteiden korjausta ja suokasvillisuuden uudelleenistutusta, kasvillisuuden uusiutuminen on todennäköisesti hidas prosessi.

Hiilidioksidin ja metaanin kaasunvaihto riippui suuresti kasvillisuudesta, mutta vaikutti kehittyvän 5–7 vuodessa korjuun jälkeen samanlaiselle tasolle kontrollialojen kanssa kasvillisuuden eroista huolimatta. Havaintomme osoittavat, että vaikka korjuu voi johtaa tilapäiseen hiilidioksidin oton lisääntymiseen, siihen liittyy myös kohonneita metaanipäästöjä. Erityisesti märät, tiheiden tupasvillakasvustojen valtaamat korjuukohteet olivat voimakkaita hiilidioksidinieluja 4–6 vuotta korjuun jälkeen. Näillä kohteilla myös metaanipäästöt olivat korkeita, mutta nettovaikutus oli hiilen sidonta ilmakehästä maaperään.

Jatkotutkimusta kannattaisi suunnata kasvillisuuden palautumisen ja tähän liittyvien toimien pitkäaikaisseurantaan, jotta voitaisiin määrittää todellinen kiertoaika rahkasammalen korjuulle, eli aika, jonka jälkeen korjuu voidaan kohteella toistaa. Korjuukäytäntöjä tulisi kehittää rahkasammalen uusiutumista tukeviksi. Ekohydrologisten palautemekanismin parempi ymmärrys on välttämätöntä, jotta rahkasammalen korjuun ilmastovaikutuksia voidaan arvioida ja optimoida paremmin.

2.12.2024

Viitteet

- Dorodnikov, M., Knorr, K.-H., Kuzyakov, Y., & Wilmking, M. (2011). Plant-mediated CH₄ transport and contribution of photosynthates to methanogenesis at a boreal mire: a ¹⁴C pulse-labeling study. *Biogeosciences*, 8(8), 2365–2375. DOI: [10.5194/bg-8-2365-2011](https://doi.org/10.5194/bg-8-2365-2011)
- González, E., & Rochefort, L. (2014). Drivers of success in 53 cutover bogs restored by a moss layer transfer technique. *Ecological Engineering*, 68, 279–290. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2014.03.051](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.051)
- González-Sargas, E., & Rochefort, L. (2019). Declaring success in *Sphagnum* peatland restoration: Identifying outcomes from readily measurable vegetation descriptors. In *Mires and Peat* (Vol. 24). DOI: [10.19189/MaP.2017.OMB.305](https://doi.org/10.19189/MaP.2017.OMB.305)
- Greenup, A. L., Bradford, M. A., McNamara, N. P., Ineson, P., & Lee, J. A. (2000). The role of *Eriophorum vaginatum* in CH₄ flux from an ombrotrophic peatland. *Plant and Soil*, 227(1), 265–272. DOI: [10.1023/A:1026573727311](https://doi.org/10.1023/A:1026573727311)
- Gruda, N. (2019). Increasing Sustainability of Growing Media Constituents and Stand-Alone Substrates in Soilless Culture Systems. *Agronomy*, 9(6), 298. DOI: [10.3390/agronomy9060298](https://doi.org/10.3390/agronomy9060298)
- Guêné-Nanchen, M., Hugron, S., & Rochefort, L. (2019). Harvesting surface vegetation does not impede self-recovery of *Sphagnum* peatlands. *Restoration Ecology*, 27(1), 178–188. DOI: [10.1111/rec.12834](https://doi.org/10.1111/rec.12834)
- Kivimäki, S., Yli-Petäys, M., & Tuittila, E.-S. (2008). Carbon sink function of sedge and *Sphagnum* patches in a restored cut-away peatland. *Journal of Applied Ecology*, 45, 921–929. DOI: [10.1111/j.1365-2664.2008.01458.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01458.x)
- Korrensalo, A., Mehtätalo, L., & Alekseychik, P. (2020a). Varying Vegetation Composition, Respiration and Photosynthesis Decrease Temporal Variability of the CO₂ Sink in a Boreal Bog. *Ecosystems*, 23, 842–858. DOI: [10.1007/s10021-019-00434-1](https://doi.org/10.1007/s10021-019-00434-1)
- Korrensalo, A., Mehtätalo, L., Alekseychik, P., Uljas, S., Mammarella, I., Vesala, T., & Tuittila, E.-S. (2020b). Varying Vegetation Composition, Respiration and Photosynthesis Decrease Temporal Variability of the CO₂ Sink in a Boreal Bog. *Ecosystems*, 23(4), 842–858. DOI: [10.1007/s10021-019-00434-1](https://doi.org/10.1007/s10021-019-00434-1)
- Kox, M. A. R., Smolders, A. J. P., Speth, D. R., Lamers, L. P. M., Camp, H. J. M. O. den, Jetten, M. S. M., & Kessel, M. A. H. J. van. (2021). A Novel Laboratory-Scale Mesocosm Setup to Study Methane Emission Mitigation by *Sphagnum* Mosses and Associated Methanotrophs. *Frontiers in Microbiology*, 12. DOI: [10.3389/fmicb.2021.651103](https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.651103)
- Lai, D. Y. F., Moore, T. R., & Roulet, N. T. (2014). Spatial and Temporal Variations of Methane Flux Measured by Autochambers in a Temperate Ombrotrophic Peatland. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences*, 119(5), 864–880. DOI: [10.1002/2013jg002410](https://doi.org/10.1002/2013jg002410)
- Laiho, R., Tuominen, S., Kojola, S., Penttilä, T., Saarinen, M., & Ihalainen, A. (2016). Heikkotuottoiset ojitetut suometsät – missä ja paljonko niitä on? *Metsätieteen Aikakauskirja*, 2016(2). DOI: [10.14214/ma.5957](https://doi.org/10.14214/ma.5957)
- Laine, A. M., Korrensalo, A., & Tuittila, E.-S. (2019). Impacts of drainage, restoration and warming on boreal wetland greenhouse gas fluxes. *Science of the Total Environment*, 647, 169–181. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.07.390](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.390)
- Laine, A. M., Korrensalo, A., & Tuittila, E.-S. (2022). Plant functional traits play the second fiddle to plant functional types in explaining peatland CO₂ and CH₄ gas exchange. *Science of The Total Environment*, 834, 155352. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.155352](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155352)
- Lavoie, C., Saint-Louis, A., & Lachance, D. (2005). Vegetation Dynamics on an Abandoned Vacuum-Mined Peatland: 5 Years of Monitoring. *Wetlands Ecology and Management*, 13(6), 621–633. DOI: [10.1007/s11273-005-0126-1](https://doi.org/10.1007/s11273-005-0126-1)

2.12.2024

- Leifeld, J., Wüst-Galley, C., & Page, S. (2019). Intact and managed peatland soils as a source and sink of GHGs from 1850 to 2100. *Nature Climate Change*, 9, 1–3. DOI: [10.1038/s41558-019-0615-5](https://doi.org/10.1038/s41558-019-0615-5)
- Leppälä, M., Kukko-Oja, K., Laine, J., & Tuittila, E.-S. (2008). Seasonal dynamics of CO₂ exchange during primary succession of boreal mires as controlled by phenology of plants. *Écoscience*, 15(4), 460–471. DOI: [10.2980/15-4-3142](https://doi.org/10.2980/15-4-3142)
- Leppälä, M., Oksanen, J., & Tuittila, E.-S. (2011). Methane flux dynamics during mire succession. *Oecologia*, 165(2), 489–499.
- McNeil, P., & Waddington, J. M. (2003). Moisture controls on *Sphagnum* growth and CO₂ exchange on a cutover bog. *Journal of Applied Ecology*, 40(2), 354–367. DOI: [10.1046/j.1365-2664.2003.00790.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00790.x)
- Nugent, K. A., Strachan, I. B., Strack, M., Roulet, N. T., & Rochefort, L. (2018). Multi-year net ecosystem carbon balance of a restored peatland reveals a return to carbon sink. *Global Change Biology*, 24(12), 5751–5768. DOI: [10.1111/gcb.14449](https://doi.org/10.1111/gcb.14449)
- Nugent, K. A., Strachan, I. B., Strack, M., Roulet, N. T., Ström, L., & Chanton, J. P. (2021). Cutover Peat Limits Methane Production Causing Low Emission at a Restored Peatland. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 126(12). DOI: [10.1029/2020JG005909](https://doi.org/10.1029/2020JG005909)
- Peichl, M., Gažovič, M., Vermeij, I., de Goede, E., Sonnentag, O., Limpens, J., & Nilsson, M. B. (2018). Peatland vegetation composition and phenology drive the seasonal trajectory of maximum gross primary production. *Scientific Reports*, 8(1), 8012. DOI: [10.1038/s41598-018-26147-4](https://doi.org/10.1038/s41598-018-26147-4)
- Poulin, M., Rochefort, L., Quinty, F., & Lavoie, C. (2005). Spontaneous revegetation of mined peatlands in eastern Canada. *Canadian Journal of Botany*, 83(5), 539–557. DOI: [10.1139/b05-025](https://doi.org/10.1139/b05-025)
- Putkinen, A. (2018). *Sphagnum*-associated methanotrophs – a resilient CH₄ biofilter in pristine and disturbed peatlands. *Dissertationes Forestales*, 2018(252). DOI: [10.14214/df.252](https://doi.org/10.14214/df.252)
- Riutta, T., Korrensalo, A., Laine, A., Laine, J., & Tuittila, E. (2020). Interacting Effects of Vegetation Components and Water Level on Methane Dynamics in a Boreal Fen. *Biogeosciences*, 17(3), 727–740. DOI: [10.5194/bg-17-727-2020](https://doi.org/10.5194/bg-17-727-2020)
- Rochefort, L., Isselin-Nondedeu, F., Boudreau, S., & Poulin, M. (2013). Comparing survey methods for monitoring vegetation change through time in a restored peatland. *Wetlands Ecology and Management*, 21(1), 71–85. DOI: [10.1007/s11273-012-9280-4](https://doi.org/10.1007/s11273-012-9280-4)
- Saarnio, S., Winiwarter, W., Leitao, J. (2009). Methane release from wetlands and watercourses in Europe. *Atmospheric Environment* 43 (7), 1421–1429. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.04.007>
- Silvan, N., Jokinen, K., Näkkilä, J., & Tahvonen, R. (2017). Swift recovery of *Sphagnum* carpet and carbon sequestration after shallow *Sphagnum* biomass harvesting. DOI: [10.19189/MAP.2015.OMB.198](https://doi.org/10.19189/MAP.2015.OMB.198)
- Silvan, N., Silvan, K., Näkkilä, J., Tahvonen, R., & Reinikainen, O. (2012). Renewability, use and properties of *Sphagnum* biomass for growing media purposes. Book of Abstracts. The 14th International Peat Congress, Peatlands in Balance, 3–8.
- Sonnentag, O., Hufkens, K., Teshera-Sterne, C., Young, A. M., Friedl, M., Braswell, B. H., Milliman, T., O’Keefe, J., & Richardson, A. D. (2012). Digital repeat photography for phenological research in forest ecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 152, 159–177. DOI: [10.1016/j.agrformet.2011.09.009](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.09.009)
- Strack, M., Keith, A. M., & Xu, B. (2014). Growing season carbon dioxide and methane exchange at a restored peatland on the Western Boreal Plain. *Ecological Engineering*, 64, 231–239. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2013.12.013](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.12.013)
- Strack, M., & Zuback, Y. C. A. (2013). Annual carbon balance of a peatland 10 yr following restoration. *Biogeosciences*, 10(5), 2885–2896. DOI: [10.5194/bg-10-2885-2013](https://doi.org/10.5194/bg-10-2885-2013)

2.12.2024

- Tommila, T., Kämäräinen, A., Kokko, H., & Palonen, P. (2022). *Sphagnum* moss is a promising growth substrate in arctic bramble container cultivation. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil & Plant Science*, 72(1), 997–1008. DOI: [10.1080/09064710.2022.2138778](https://doi.org/10.1080/09064710.2022.2138778)
- Triisberg, T., Karofeld, E., & Paal, J. (2013). Factors affecting the re-vegetation of abandoned extracted peatlands in Estonia: a synthesis from field and greenhouse studies. *Estonian Journal of Ecology*, 62(3), 192. DOI: [10.3176/eco.2013.3.02](https://doi.org/10.3176/eco.2013.3.02)
- Tuittila, E., Rita, H., Vasander, H., & Laine, J. (2000). Vegetation Patterns Around *Eriophorum Vaginatum* L. Tussocks in a Cut-Away Peatland in Southern Finland. *Canadian Journal of Botany*, 78(1), 47–58. DOI: [10.1139/b99-159](https://doi.org/10.1139/b99-159)
- Tuittila, E.-S., Komulainen, V.-M., Vasander, H., & Laine, J. (1999). Restored cut-away peatland as a sink for atmospheric CO₂. *Oecologia*, 120(4), 563–574. DOI: [10.1007/s004420050891](https://doi.org/10.1007/s004420050891)
- Upenieks, E. M., & Rudusāne, A. (2022). Afforestation as a Type of Peatland Recultivation and Assessment of Its Affecting Factors in the Reduction of GHG Emissions. *Rural Development* 2019, 2021(1), 295–300. DOI: [10.15544/rd.2021.052](https://doi.org/10.15544/rd.2021.052)
- van der Maaten, L., & Hinton, G. (2008). Visualizing data using t-SNE. *Journal of Machine Learning Research*, 9(11).
- van Winden, J. F., Reichart, G.-J., McNamara, N. P., Benthien, A., & Damsté, J. S. Sinninghe. (2012). Temperature-Induced Increase in Methane Release from Peat Bogs: A Mesocosm Experiment. *PLoS ONE*, 7(6), e39614. DOI: [10.1371/journal.pone.0039614](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039614)
- Waddington, J. M., & Day, S. (2007). Methane Emissions from a Peatland Following Restoration. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 112(G3).
- Wei, X., Zhang, W., Zulfiqar, F., Zhang, C., & Chen, J. (2022). Ericoid mycorrhizal fungi as biostimulants for improving propagation and production of ericaceous plants. *Frontiers in Plant Science*, 13. DOI: [10.3389/fpls.2022.1027390](https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1027390)
- Tian, W., Hongmei, W., Xing, X., C, L. P., Xuan, Q., Ruicheng, W., Xianyu, H., & H, T. O. (2023). Water table level controls methanogenic and methanotrophic communities and methane emissions in a *Sphagnum*-dominated peatland. *Microbiology Spectrum*, 11(5). DOI: [10.1128/spectrum.01992-23](https://doi.org/10.1128/spectrum.01992-23)
- Yli-Petäys, M., Laine, J., Vasander, H., Tuittila, E.-S. (2007). Carbon gas exchange of a re-vegetated cut-away peatland five decades after abandonment. *Boreal Environment Research* 12 (3), 177–190.
- Yu, Z. C. (2012). Northern peatland carbon stocks and dynamics: a review. *Biogeosciences*, 9(10), 4071–4085. DOI: [10.5194/bg-9-4071-2012](https://doi.org/10.5194/bg-9-4071-2012)

2.12.2024

3.2 TP2. Rahkasammalen korjuun jälkeiseen sammalen uusiutumiseen sekä sammalen kasvatukseen vaikuttavat tekijät

(Liisa Maanavilja, Lauri Ikkala, Alireza Hamedianfar, Heikki Sutinen, Anna Laine-Petäjäkangas, GTK)

3.2.1 Johdanto

Rahkasammalen uusiutuminen sen korjuu- ja viljelykohteilla on kestävä kasvualustakäytön edellytys. Clymon ja Haywardin (1982) tutkimusten perusteella voidaan olettaa, että rahkasammalen uusiutumiseen vaikuttavat erityisesti vedenpinnan korkeus sekä korjuualueelle jäävän, korjaamattoman rahkasammalen määrä ja sijoittelu.

Kun rahkasammalta ryhdyttiin korjaamaan Suomessa kasvualustaksi 2010-luvun puolivälistä alkaen, ajatuksena oli, että rahkasammal uusiutuu kasvullisesti korjuusyvyyden alapuolelle jääneestä sammalesta, sekä lisäksi osa rahkasammalpinnasta jätetään korjaamatta, ja rahkasammal voi levitä sieltä (Silvan ym., 2017). Näkemys perustui Suomessa tehtyihin kenttäkokeisiin (Silvan ym., 2017) ja aiempaan tutkimukseen, jossa Britanniaista soilta kerättyjen rahkasammalten versomista havaittiin laboratorio-oloissa 30 cm syvyyteen asti (Clymo & Duckett 1986).

Kenttäkokeet olivat kuitenkin pienialaisempia kuin myöhemmin käyttöön otettu korjuutapa, tai ne toteutettiin talvikorjuuna, jolloin roudan päältä saatiin siististi korjattua vain tavoiteltu hieman alle 30 cm pintakerros (Silvan ym., 2017). Rahkasammal levisi laikkuina korjatuille pinnoille nopeasti ympäröiviltä alueilta ympäristöstä (Silvan ym., 2017). Talvikorjuulle mahdollinen ajankohta on rajallinen, eikä talvikorjuu ole varsinaisessa tuotannollisessa korjuussa muodostunut käytännöksi.

Jos kärkisilmu vaurioituu leikkaamisen tai kuivuuden vuoksi, rahkasammal kykenee lisääntymään kasvullisesti myös alemmaa versosta. Kyky kuitenkin vähenee syvyyden myötä. Sivusilmujen versoamiskyvyn mittausten perusteella vanhojen versojen uudelleenversontaan tukeutuvan korjuun suositeltava syvyys on 5–12 cm (Campeau & Rochefort 1996, Diaz & Silva 2012, Gaudig ym., 2017). Leikkaaminen korjuutapana mahdollistaa rahkasammalen uusiutumisen vanhoista versoista, ja leikkuumenetelmä onkin käytössä Saksan rahkasammalenkasvatusaloilla (Gaudig ym., 2017).

Suomessa rahkasammal on korjattu kauhomalla kaivinkoneella ylin 30 cm kerros. Nytemmin vakiintunut käsitys on, että Suomessa käytössä olleella korjuumenetelmällä rahkasammal ei missään olosuhteissa lähde kasvamaan korjatun pinnan alta vanhoista versoista, vaan rahkasammalen pitää levitä korjatulle pinnalle korjuualueen läheisyydestä tai se pitää tuoda sinne.

Paikka, jossa on kasvanut elinvoimainen rahkasammalkerros, ei välttämättä ole ylimmän elävän kerroksen poistamisen jälkeen enää suotuisa rahkasammalen selviytymiselle. Elävä rahkasammalkerros tasaa kasvupaikallaan vedenpinnan vaihtelua ja pitää yllä kosteita olosuhteita: vesi, kun sitä on saatavilla, nousee rahkasammalkerrokseen kapillaarisesti ja pidättyy sinne. Rahkasammalmättäiden alapuolelta on mitattu 5–14 % suurempia kosteuksia kuin ympäröivästä paljaasta turpeesta (Price & Whitehead 2004). Uusi paljaalle turvepinnalle levinnyt rahkasammal joutuu kohtaamaan ympäristön olot ankarampina kuin olemassa olevassa mättäessä kasvava rahkasammal.

2.12.2024

Siksi uusi rahkasammal sietää huonosti kuivuutta (González & Rochefort 2014), pitkäaikaisen tulvimisen ja kuivuuden vuorottelua (Rochefort ym., 2002) ja syvää tulvimista (Campeau ym., 2004). Maltillinen, matala, ajoittainen tulviminen sen sijaan saattaa edistää uuden rahkasammalen selviytymistä (Rochefort ym., 2002).

Kanadassa kehitetyssä sammalensiirtomenetelmässä rahkasammal tuodaan entisille kasvuturpeen nostokohteille siirtämällä sammalainesta luovuttajakohteelta (Quinty ym., 2020). Siirrossa käytetään samaa ylintä 10 cm kerrosta, jossa sivusilmujen versominen on suurinta (Quinty ym., 2019). Rahkasammal voi kuitenkin palata myös spontaanisti kasvittomien turvekenttien sellaisille alueille, joilla vedenpinnan taso on tarpeeksi korkea ja tason vaihtelu pientä (Lode ym., 2010, González ym., 2013, Lemmer & Graf 2016). Sopivien kosteusolojen syntyminen riippuu, silloin kun vedenpinnan tasoa ei varta vasten säädellä, kohteen topografiasta ja veden virtausreiteistä, alueen ilmastosta, ja säästä kriittisinä ensimmäisinä vuosina (Lode ym., 2010, González ym., 2013, González & Rochefort 2014). Usein uudet rahkasammat ovat määrässä viihtyviä, *Cuspidata*-sektion lajeja paikoilla, joilla aiemmin vallitsivat mätäspinnan rahkasammat (Lode ym., 2010, Lemmer & Graf 2016).

Rahkasammalen korjuu on uutta toimintaa Suomessa. Tiedämme, mitkä tekijät suosivat rahkasammalen selviytymistä ja kasvua, mutta emme, miten nämä tekijät vaikuttavat rahkasammalen korjuualueilla. Tässä työpaketissa määritimme droonikuvauksen ja koneoppimisen avulla rahkasammalen uusiutumisen alueet tutkimuskohteilta ja tutkimme, miten ympäristötekijät - kosteusolot ja etäisyys korjaamattomasta alasta - vaikuttavat sammalen uusiutumisen onnistumiseen. Tavoitteena oli, että tämän tiedon perusteella voidaan kohdentaa sammalenkorjuu oikean tyyppisille kohteille sekä ohjata korjuutekniikkaa ja korjuun jälkeisiä toimenpiteitä uusiutumista edesauttavaan suuntaan. Samalla kehitimme droonipohjaisia menetelmiä rahkasammalen uusiutumisen ja yleisemmin kasvillisuuden kehityksen seurantaan ja tuotimme droonikuvauksella ja koneoppimisella työpaketille 1 eri kasviyhteisötyyppien pinta-alat, joita käytettiin kasvihuonekaasujen kammiomittausten yleistämiseen koko kohteiden alalle.

3.2.2 Aineisto ja menetelmät

3.2.2.1 Tutkimuskohteet

Tutkimuskohteet olivat samat, alun perin mätäsrahkasammalvaltaiset suokohteet kuin työpaketissa 1 sekä näiden lisäksi yksi lisäkohde Peurainnevalta (TP1/taulukko1, taulukko 3). Suurin osa kohteista on suhteellisen matalia, ja vallitseva turpeen syvyys on alle 1,5 metriä. Pohjamaa on hiekkaa tai moreenia (GTK:n turvetietokanta).

3.2.2.2 Droonikuvaukset

Kuvasimme kohteet kiinteäsiipisellä WingtraOne droonilla käyttäen kahta eri kameraa. Kuva-aineistojen käsittely tehtiin Pix4D-ohjelmistolla.

Sony RX1RXII 42 MP-kameran kuvatuista aineistoista tuotettiin kohteista tarkat RGB-ortokuvamosaiikit (kuva 1) ja pintamallit (kuva 2). Kamera oli varustettu PPK-tekniikalla, jonka avulla kuviin tehtiin kinemaattinen paikannuskorjaus WingtraHub-ohjelmistossa. Tekniikka mahdollistaa kuvien erittäin tarkan paikannuksen ilman maastotukipisteitä. Rinex-jälkikäsittelytiedostot saatiin

2.12.2024

ulkopuoliselta palveluntuottajalta. Sony RX1RXII -kameralla tuotetun aineiston maastoresoluutio oli 1,5 cm lentokorkeudesta 120 metriä maanpinnan yläpuolella. Kuvauslennot tehtiin kesäkuussa 2022.

MicaSense Altum -kameralla kuvatuista aineistoista tuotettiin kohteista multispektriortokuvamosaiikit. MicaSense Altum on radiometrisesti kalibroitu kamera, joka kerää tietoa kuudelta spektrikaistalta (taulukko 1). Kuvat näkyvän valon – lähi-infrapunan kaistoilta kalibroitiin heijastuspaneelilla lennon yhteydessä. Lisäksi drooniin asennettu MicaSense DLS 2 (Downwelling Light Sensor 2) -anturi kalibroi lennon aikana ympäröivän valaistuksen voimakkuuden jokaiselle kuvalle. Tuotetun kuva-aineiston pikselikoko oli 5 cm. MicaSense Altum käyttää perinteistä satelliittipaikannusta, joten georeferoimme kuvat jälkikäteen Sony RX1RXII -kameralla otettuihin ortokuvaan saadaksemme multispektrikuviin kasvillisuusluokittelun vaatiman tarkkuuden. Multispektrikuvaus ajoitettiin kasvillisuuden huippuaikaan, heinä-elokuulle 2022.

3.2.2.3 Korjuupintojen luokittelu

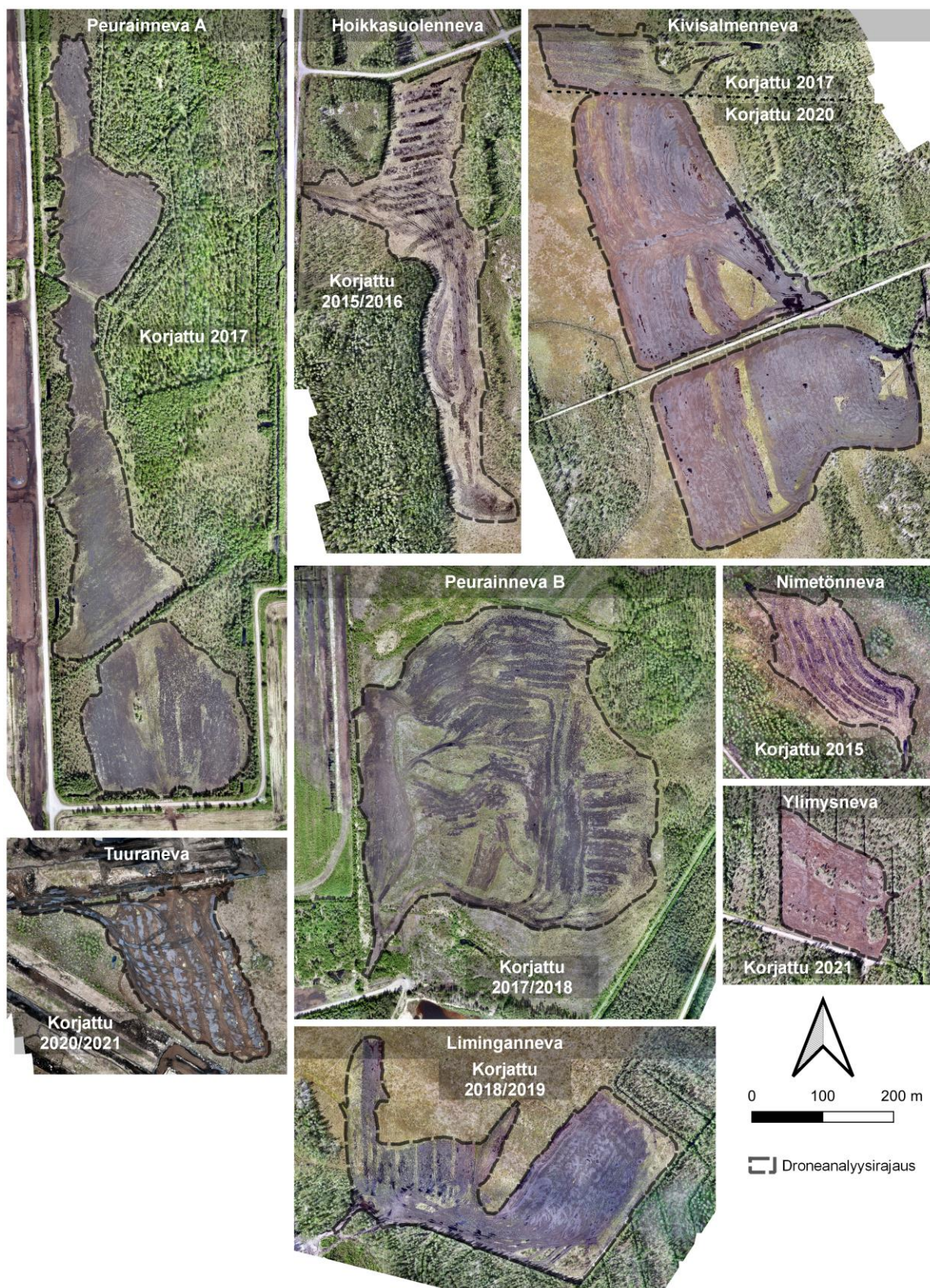
Jokaisen tutkimuskohteen alue jaettiin RGB-ortomosaiikin ja pintamallin avulla kolmeen luokkaan: korjattu, korjaamaton ja ajoura. Lisäksi kuviin digitoitiin työpaketin 1 mittauksen pitkospuiden alueet, jotta ne voitiin poistaa kuvista. Korjatuilta pinnoilta oli poistettu ylin noin 30 cm rahkasammalkerros; korjaamattomilla pinnoilla ei ole tehty toimenpiteitä. Korjaamattoman alueen osuus ja sijoittuminen vaihtelivat kohteen mukaan. Ajouria oli käytetty korjuukoneiden ja rahkasammalalähkion siirtämiseen, mikä vaikuttaa kasvillisuuteen, vaikka sitä ei ollut ajourilta poistettu.

3.2.2.4 Maasto- ja muut varmennuspisteet

Joka kohteelta kerättiin noin 100 maastopistettä Trimble R12i RTK GNSS -laitteella. Pisteille määritettiin vallitseva kasvillisuus ja otettiin valokuva mahdollista uudelleenluokittelua varten. Pisteiden valinnassa keskityttiin löytämään ja tunnistamaan korjatun pinnan uusi rahkasammal ja kasvillisuus, joka on hankala tunnistaa ortokuvasta. Pisteitä lisättiin kirjoituspöytätyönä 100 pisteeseen kasvillisuustyyppiä kohti droonilla tuotettujen ortokuvien perusteella. Pisteet kattoivat koko alueen spatiaalisen edustavuuden varmistamiseksi.

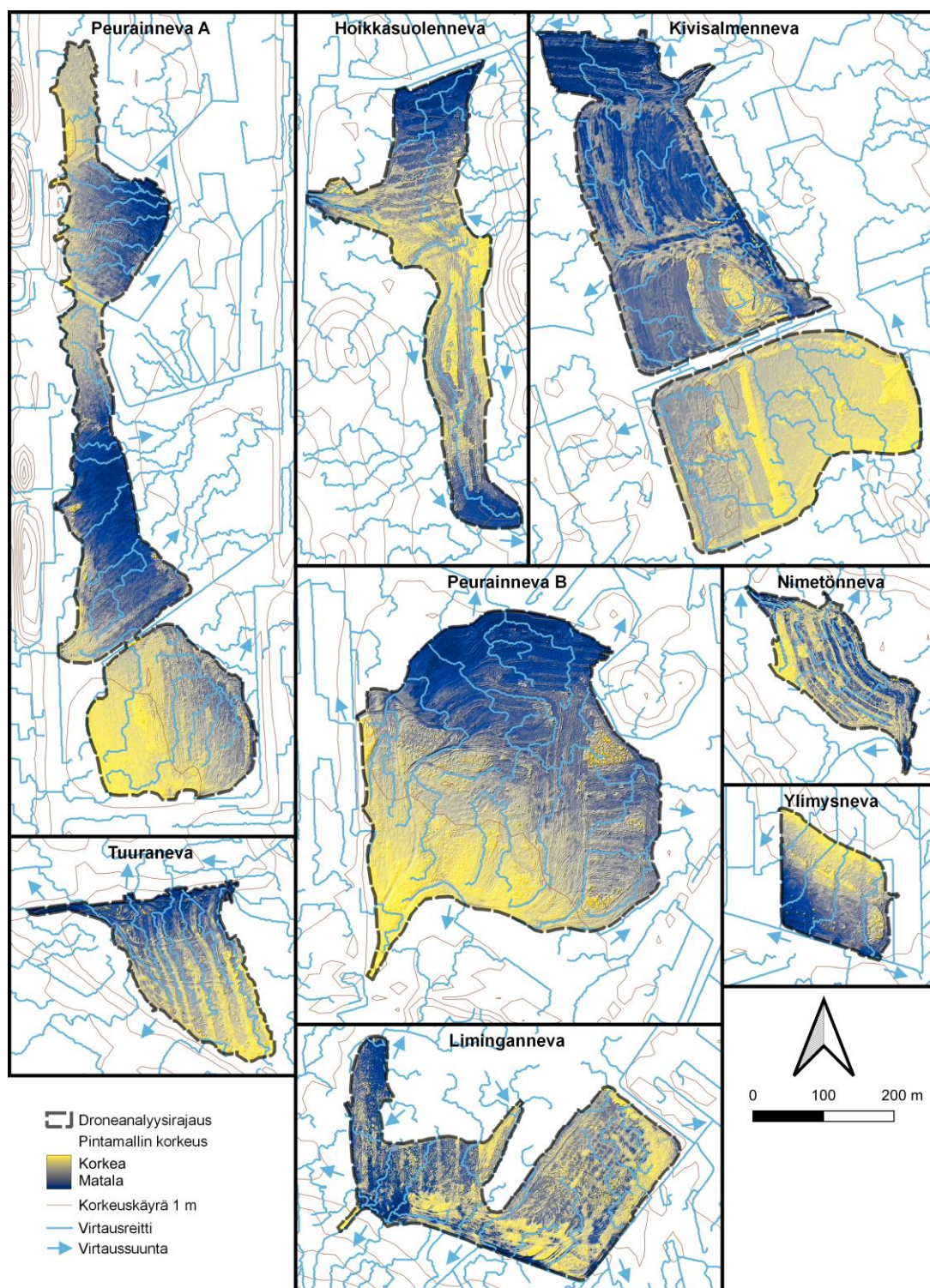
Maastokartoituksen perusteella myös valittiin kohteiden pääasialliset pintatyyppit ohjattua luokittelua varten (taulukko 1). Pisteille maastossa ja ortokuvista määritetty kasvillisuus jaoteltiin näihin tyypeihin. Maastopisteet kerättiin elokuun alussa, kasvillisuuden huippuaikana kuten droonikuvatkin, tosin seuraavana vuonna. Ortokuvista tarkistettiin, että maastopisteiden kasvillisuus oli samalla paikalla kuin kuvauslentojen ajankohtana.

2.12.2024



Kuva 1. Droonivalokuvausaineistoista muodostetut ortomosaiikkikuvat.

2.12.2024



Kuva 2. Droonivalokuvausaineistoista muodostetut pinnankorkeusmallit ja virtausverkostot sekä Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistosta tuotetut korkeuskäyrämallit ympäristöön. Pintamallien korkeuseroja on korostettu vinovalovarjosteen avulla.

2.12.2024

Taulukko 1. Luokittelussa käytetyt pintatyypit.

Pintatyyppi	Selitys
Mätäsrahkasammal	punertava tai rusehtava mätäsrahkasammal: ruskorahkasammal <i>S. fuscum</i> , punarahkasammal <i>S. medium</i>
Välipintarahkasammal	keltainen välipintarahkasammal: <i>S. angustifolium</i>
Varpu	varvut: kanerva, variksenmarja, suopursu, suokukka, myös lakka
Tupasvilla	tupasvilla <i>Eriophorum vaginatum</i> , myös nuoret, kirkkaanvihreät tupasvillan uudet versot (eroteltu osalla kohteista)
Sara JA rahkasammal	sarat ja vihertävä rahkasammal: haprarahkasammal <i>S. riparium</i> , sararahkasammal <i>S. fallax</i>
Sara	sarat <i>Carex</i> , vihvilät <i>Juncus</i> ja luhtavilla <i>Eriophorum angustifolium</i>
Seinäsammas	seinäsammal
Paljas turve	paljas turvepinta
Vesipinta	vesipinta
Puu tai pensas	puut ja pensaat
Puunrunko	puunrunko
Kivi	kivi
Olki	olki
Varjo	varjo

Taulukko 2. Pintatyyppiluokittelussa käytetyt drooniaineistot.

Aineistotyyppi	Aineisto		
Korkeusmalli	Pintakorkeusmalli		
Multispektriikanavan heijastusarvo	Kanava	Keskiaallonpituus (nm)	Kaistaleveys (nm)
	Sininen	475	32
	Vihreä	650	27
	Punainen	668	14
	Punareuna	717	12
	Lähi-infrapuna	842	57
	Lämpöinfrapuna	11 000	6 000
Multispektri-indeksi	NDVI, BGRI, CIGREEN, CIREDEGE, CIVE, DVI, ENDVI, ENGBDI, EVI2, EXGR, EXG, GNDVI, GRRI, KIVU, MS3_BNDVI, MS3_RVI, MSRREG, MSRRE, MSR, NDIG, NDRE, NDVSI, NGBDI, NGRDI, RDVIREG, RGBVI, RGRI, RNDVI, VARICREEN, VDDVI		

2.12.2024

3.2.2.5 Luokittelu pintatyyppeihin

Kohteiden kasvillisuus ja muu maanpeite luokiteltiin (kuva 3) käyttämällä ortokuvamosaiikista tehtyä pintakorkeusmallia sekä multispektrimosaikin kanavia ja niistä laskettuja spektrisiä indeksejä (taulukko 2). Luokittelu toteutettiin käyttäen satunnaismetsäalgoritmiä (*random forest*) Pythonin Scikit-learn ympäristössä (Pedregosa ym., 2011). Kentällä kerättyjä aineistoja (noin 100 pistettä per kohde) ja ortokuvien manuaalisia tulkintoja (noin 100 pistettä per luokka per kohde) käytettiin luokittelumallin kouluttamiseen. Mallin suorituskyky arvioitiin viisinkertaisella ristiinvalidoinnilla.

Yhden kohteista, Kivisalmennevan, kohdalla testattiin eri algoritmien suorituskykyä pintatyyppien luokittelussa. Tarkasteltavina oli useita ensemble-algoritmeja, satunnaismetsän lisäksi XGBoost (Xia ym., 2017), LightGBM (Ke ym., 2017) ja CatBoost (Dorogush ym., 2018). Algoritmien hyperparametrit optimoitiin Optuna-menetelmällä (Akiba ym., 2019). Algoritmien käyttämät luokitteluperusteet identifioitiin SHAP-tekniikalla, jotta saatiin näkyviin, mitkä piirteet olivat määrääviä eri pintatyyppien luokittelussa (Linardatos ym., 2020).

3.2.2.6 Veden virtausreittien määrittäminen

Veden virtausreitit määritettiin QGIS ja SAGA GIS -ohjelmistoilla. Pintamallien, jotka pääasiassa kuvasivat avointa suometsäaluetta, ajateltiin edustavan maan pintamallia. Tarkastelualueella sijainneita yksittäisiä puita kuvaavat pikselit, jotka havaittiin terävinä korkeusprofiileina, poistettiin manuaalisesti QGISin Serval-lisäosan avulla ja interpoloitiin GDAL Fill nodata -toiminnolla ja lopuksi rasteri rajattiin alkuperäiseen laajuuteensa. Myös avoveden aiheuttama korkeuskohina käsiteltiin samalla tavalla. DTM karkeistettiin 1 m tarkkuuteen Warp (Reproject) -työkalun avulla käyttäen cubic-interpolointia.

Droonikartoitukseen pohjautuvat maanpintamallit yhdistettiin Maanmittauslaitoksen LiDAR-maanpinnan korkeuksiin ympäröivältä alueelta SAGA:n Mosaicking -työkalun avulla. Maanmittauslaitoksen LiDAR-aineisto on resoluutioltaan 0,5 m (5 pistettä/m²), ja se perustuu lentokonekartoituksiin vuosilta 2020–2024, lukuun ottamatta Nimetönnevaa, jonka osalta käytettiin vanhempaa 2 metrin (0,5 pistettä/m²) kansallista aineistoa, joka myös skaalattiin resoluutioon 0,5 m. LiDAR-aineisto rajattiin riittävän suureksi tutkimusalueen ulkopuolelle, jotta saapuvan veden virtaus voitiin määrittää koko kohteen yläpuoliselta valuma-alueelta.

Maanpintamallille tehtiin hydrologinen korjaus breaching-algoritmia käyttäen. Virtausverkosto laskettiin käyttämällä tasaisille alueille soveltuvaa monivirtausalgoritmiä (Freeman ym., 1991), joka osaa jakaa ylärinteestä tulevan virtauksen useampaan alapuoliseen soluun.

3.2.3 Tulokset

3.2.3.1 Kasvillisuuden luokittelu pintatyyppeihin

Käytetty satunnaismetsäluokittelumenetelmä tuotti ristiinvalidoinnin perusteella luotettavia tuloksia. Luokittelutarkkuus (accuracy) vaihteli kohteittain välillä 71–88 %. Virheluokituksia ilmeni eniten

2.12.2024

ekologisesti läheisten luokkien välillä. Uusiutuneen rahkasammalen tunnistaminen oli heikointa kohteilla, joissa sitä oli hyvin vähän. Pintamallin ottaminen mukaan luokitteluprosessiin paransi tulosta verrattuna pelkän multispektriaineiston perusteella tehtyyn luokitteluun.

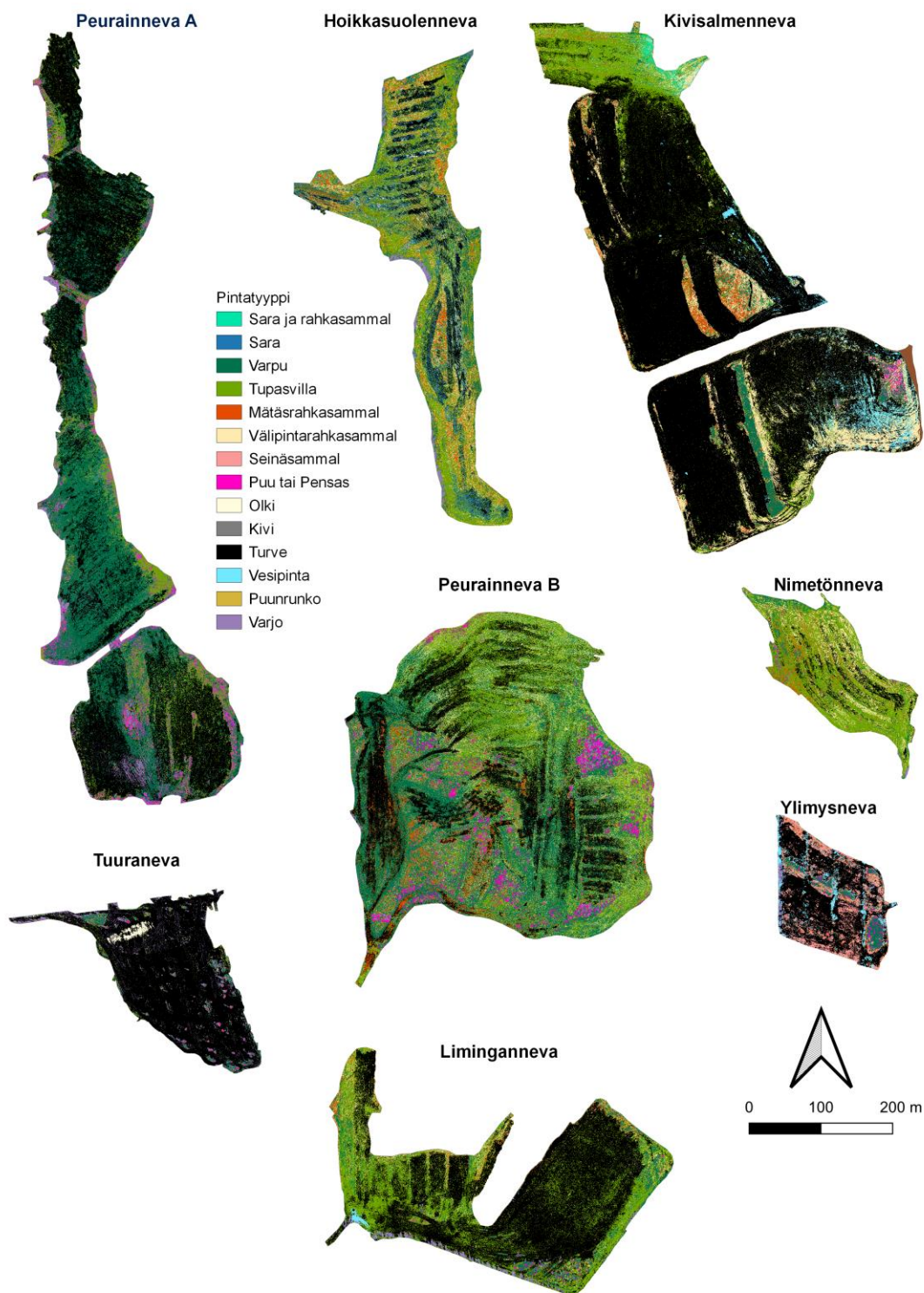
Kivisalmennevan kohteella tutkitut eri algoritmit olivat kaikki suorituskvyyltään hyviä. Pieniä eroja algoritmeissa oli: satunnaismetsä oli hienoisesti muita kvyykkäämpi, XGBoost oli hieman muita parempi rahkasammaltyyppien tunnistamisessa, CatBoost oli hitain. Eri menetelmät tuottivat kuitenkin lähes identtiset luokittelutulokset. Pintamalli ja punareunakanava olivat merkittävimmit piirteet rahkasammalluokkien erottamisessa muista luokista. Luokittelutulos ei ole virheetön: etenkin yksittäiset, alueita muodostamattomat hajapikselit ovat usein luokitteluvirhettä.

Korjaamattomilla pinnoilla pohjakerroksen kasvillisuus koostui alkuperäisistä mätäspinnan rahkasammalista: ruskorahkasammalesta *Sphagnum fuscum*, punarahkasammalesta *S. medium*, rämerahkasammalesta *S. angustifolium* ja rusorahkasammalesta *S. rubellum*. Kenttäkerroksen kasvillisuudessa vallitsivat variksenmarja, lakka, tupasvilla, suokukka, kanerva, vaivaiskoivu ja juolukka. Ylimysneva oli kohteissa poikkeus, koska se oli muista poiketen ollut puustoinen suo. Ylimysnevan korjaamattomien pintojen pohjakerroksessa vallitsivat seinäsammal ja ruskorahkasammal.

Korjattujen pintojen (kuva 5) kasvillisuus koostui useimmilla kohteilla pääosin paljasta turvetta täplittävistä tupasvillatuppaista (kuvat 3, 4 ja 6). Kuivalla Peurainneva A:lla esiintyi paljon myös kanervaa. Kuivimpia kohteita, Peurainneva A:ta, Tuuranevaa ja Ylimysnevaa lukuun ottamatta korjatuilla pinnoilla esiintyi paikoin uutta rahkasammalta, mutta pinta-alat olivat pieniä (taulukko 3, kuva 5). Nimetönnevan korjatuilla pinnoilla uutta rahkasammalta oli eniten, 20 %. Korjattujen pintojen uusi rahkasammal oli enimmäkseen rämerahkasammalta. Rämerahkasammal *S. angustifolium* on kasvupaikkavaatimuksiltaan laaja-alainen laji, jota esiintyy kaikenlaisilla soilla mätäs- ja välipinnoilla (Laine ym., 2018).

Ajourilla alkuperäiset mätäspinnan rahkasammalet olivat korvautuneet rämerahkasammalella. Koneiden painamilla märillä alueilla esiintyi saroja, yleisimpänä pullosara, ja luhtavillaa - Limingannevalla myös vihvilöitä. Kivisalmennevan pohjoisosassa niissä esiintyi myös märkiin virtaavan veden olosuhteisiin sopeutuneita rahkasammallajeja: haprarahkasammalta *S. riparium* ja sararahkasammalta *S. fallax*.

2.12.2024



Kuva 3. Pintatyyppiluokittelutulokset.

2.12.2024

Taulukko 3. Välipintarahkasammalta korjatulla pinnalla, tarkasteluvuosi 2022.

Korjuukohde	Korjuuvuosi	Tekniikka	Vesitilanne	Välipinta- rahasammalta, % korjuupinnasta
Nimetönneva	2015	Kaistalekorjattu	märkä	20 %
Hoikkasuolenneva	2015/2016	Kaistalekorjattu	märkä	6 %
Kivisalmenneva_pohjoinen	2017	Kaistalekorjattu	märkä	2 %
PeurainnevaA_lansi	2017	Täysin korjattu	kuiva	0 %
PeurainnevaB_ita	2017/2018	Kaistalekorjattu	märkä	6 %
Liminganneva	2018/2019	Täysin korjattu	märkä	2 %
Kivisalmenneva_etelä	2020	Täysin korjattu	märkä	8 %
Tuuranneva	2020/2021	Täysin korjattu	kuiva	0 %
Ylimysneva	2021	Täysin korjattu	kuiva	0 %

**Kuva 4.** Rahkasammalen korjuualueetta Kivisalmennevalla.

3.2.3.2 Sukkessiopolut kohteilla

Kohteiden alueet jakautuivat kolmeen sukkessiopolkuun (taulukko 3, kuva 3):

A) Kuivat alueet, joilla rahkasammal ei ollut uusiutunut. Paljas turve, kanerva ja tupasvilla vallitsivat. Tällaisia olivat kokonaisuudessaan Peurainneva A, Tuuranneva ja Ylimysneva. Näistä kaksi ensimmäistä sijaitsivat tehokkaasti ojitettujen turvetuotantoalueiden ympäröiminä.

B) Märät alueet, joilla uutta rahkasammalta oli vähän. Korjatun pinnan kasvillisuudessa vallitsi tupasvilla, ja myös saroja, luhtavillaa ja vihvilöitä esiintyi. Näillä kohteilla tällaisia alueita olivat suurin osa Limingannevaa, Peurainneva B:n länsiosa, Kivisalmenneva pohjoinen ja tien pohjoispuolinen osa Kivisalmenneva etelää.

2.12.2024

C) Rahkasammalen uusiutumiselle suotuisat alueet. Näillä kohteilla tällaisia olivat Nimetönneva ja Kivisalmenneva etelän eteläosa (kuva 6) sekä Limingannevan luoteisosa ja Hoikkasuolenneva.

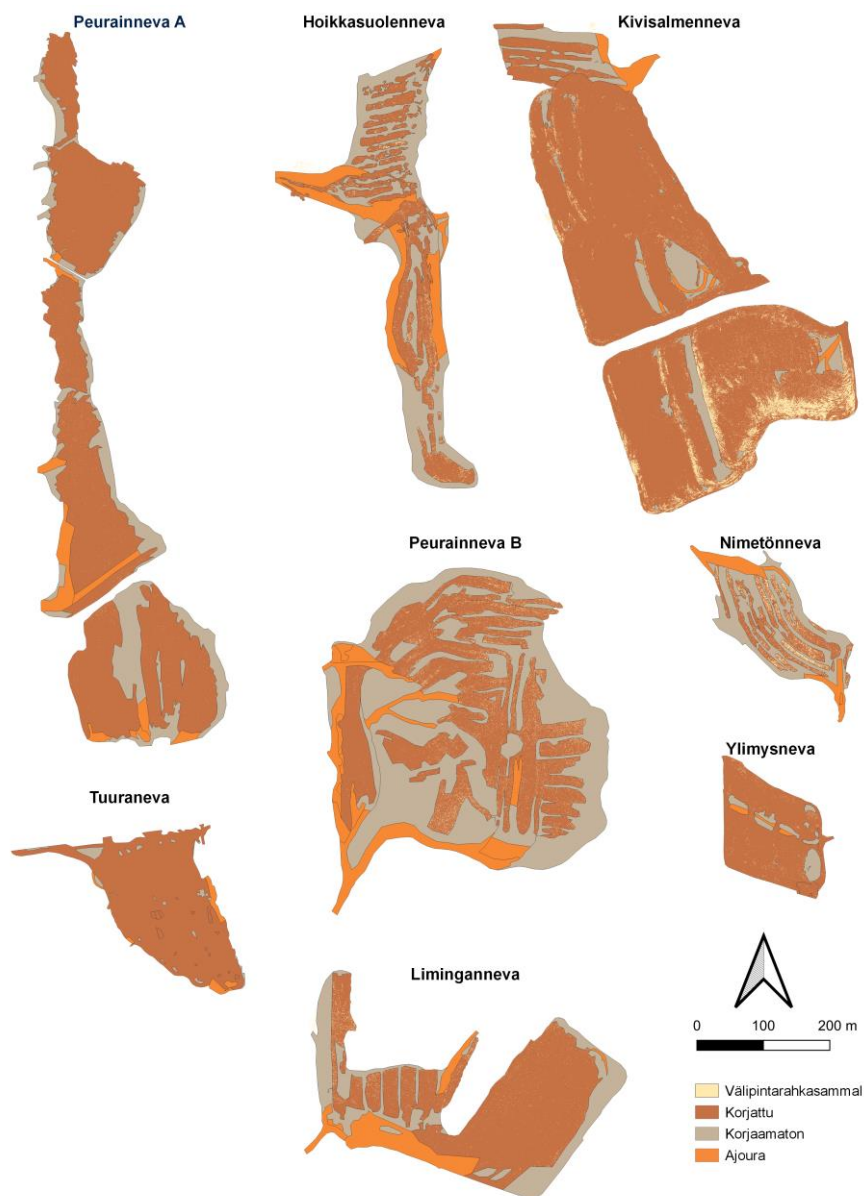
3.2.3.3 Rahkasammalen uusiutumiseen vaikuttavat tekijät

Määrittelimme tässä hankkeessa rahkasammalen uusiutumisen uuden rahkasammalen ilmaantumisena korjatulle pinnalle. Emme löytäneet yhteyttä rahkasammalen esiintymisen ja ympäristötekijöiden välillä. Ympäristötekijöistä tutkimme topografian määräämää kosteutta ja etäisyyttä korjaamattomista alueista.

Rahkasammalen uusiutumista esiintyi erityisesti keskimärillä, tasaisilla alueilla alle 30 m etäisyydellä korjaamattomista alueista. Tämä on yhteensopivaa sen kanssa, mitä tiedämme rahkasammalen elinympäristövaatimuksista. Kuitenkin tällaista aluetta oli suuri osa kohteiden korjatusta alasta, mutta uutta rahkasammalta esiintyi vain paikoin. On mahdollista, että rahkasammal menestyisi paljon suuremmallakin alueella, jos sitä alueelle siirrettäisiin, tai että rahkasammalle ovat merkityksellisiä muut ympäristötekijät, kuten vedenpinnan vaihtelun ääritilanteiden kesto.

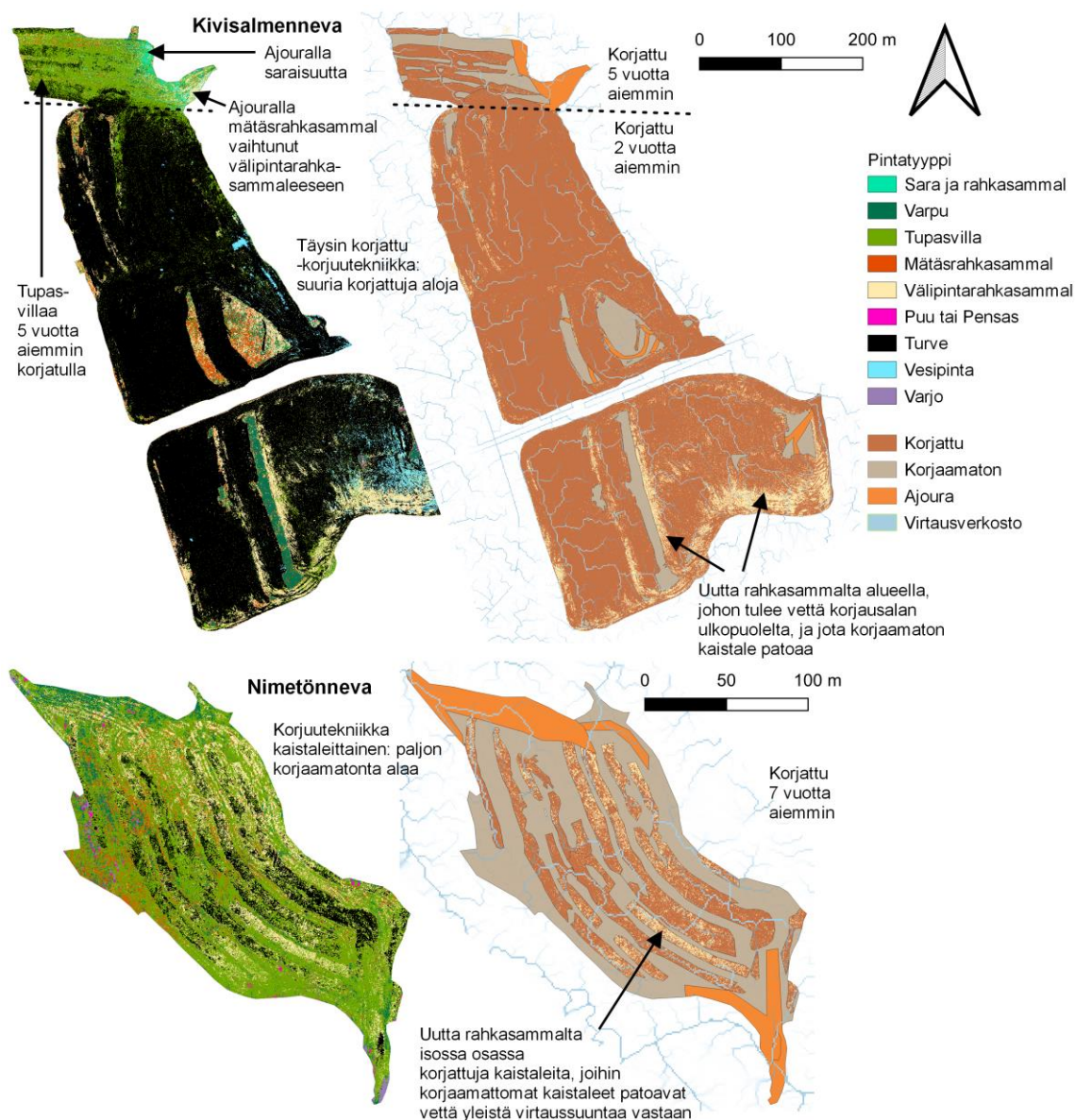
Rahkasammalen uusiutuminen oli suurinta Nimetönnevalle ja Kivisalmennevan eteläreunassa (kuvat 5 ja 7). Näille oli yhteistä hydrologiset olosuhteet, joissa vettä tulee korjuukohteen ulkopuolelta alueelle, jossa korjaamattomat, veden virtaussuuntaan nähden poikittaiset korjaamattomat kaistaleet, Kivisalmennevalle myös tiepenger, toimivat patoina hidastaen veden virtausta (kuva 6).

2.12.2024



Kuva 5. Korjatuilla pinnoilla esiintyneet välipintarahkasammalet satunnaismetsäluokittelun perusteella. Merkityksellistä uusiutumista tulkittiin tapahtuneen Nimetönnevilla, Hoikkasuolennevilla, Kivisalmennevilla, Limingannevilla ja Peurainneva B:llä.

2.12.2024



Kuva 6. Esimerkkikohteet molemmista korjuutavoista, täysin korjattu Kivisalmenneva ja kaistalekorjattu Nimetönneva.

2.12.2024

3.2.4 Johtopäätökset

Droonikuviin perustuva luokittelumenetelmä auttoi tuottamaan pintatyypikartat ja pinta-ala-arviot eri pintatyypeille. Droonikuvaus yhdistettynä koneoppimismenetelmien hyödyntämiseen on työmme perusteella käyttökelpoinen menetelmä korjuualojen kasvillisuuden seurannassa, joskin kohteiden koko alan kattava maastokartoitus on edelleen välttämätön, jotta kasvillisuus ja maanpeite tulevat oikein luokitelluiksi. Droonikuvista koneoppimisen avulla lasketut pinta-alat eivät myöskään välttämättä vastaa maastossa visuaalisesti arvioituja pinta-aloja. Toistettavuus on droonimenetelmän etu: jatkossa samojen kohteiden kehitystä voidaan seurata ilman uutta maastokartoitusta. Eri kasvillisuustyyppien heijastusspektreissä on usein päällekkäisyyttä, joka vaikeuttaa niiden erottamista toisistaan. Pintamallin ottaminen mukaan luokittelun perusteeksi auttoi ylittämään ongelman ilman, että tarvitaan monimutkaisia hyperspektrimenetelmiä.

Rahkasammalen uusiutuminen kohteilla oli niin vähäistä, että vastaavalla menetelmällä tehtävää rahkasammalen korjuuta ei voi pitää kestäväenä tapana tuottaa kasvualustamateriaalia. Kestävää olisi korjuu, jossa rahkasammalen uusiutuminen käynnistyisi valtaosalla korjuualasta kuten Kivisalmennevan eteläosassa parissa vuodessa (Kuva 7). Uusiutuminen oli parasta Nimetönnevalle, jonne oli jätetty kaistaleina runsaasti korjaamatonta alaa. Nimetönnevan tapaista korjuuta ei kuitenkaan kannattavuusnäkökohtien vuoksi enää tehdä. Kivisalmennevan eteläosan uusi rahkasammal antaa toivoa, että kosteusoloja oikein säätelämällä rahkasammalen uusiutuminen on mahdollista myös taloudellisesti tehokkaalla korjuumenetelmällä.



Kuva 7. Uutta rahkasammalta Kivisalmennevan eteläosassa.

3.2.5 Toimintasuositukset

Rahkasammal ei käytössä olleella kauhakorjuumenetelmällä uusiudu korjuukohteilla ilman toimia. Uusiutuminen on syytä varmistaa säätämällä vedenpinta rahkasammalelle suotuisaksi säätelämällä

2.12.2024

veden tuloa ja poistumista ja varmistamalla elinkelpoisen rahkasammalen paluu korjuupinnoille levittämällä rahkasammalainesta korjuun jälkeen tai hyödyntämällä muita sopivia menetelmiä.

Viitteet

- Akiba, T., Sano, S., Yanase, T., Ohta, T. & Koyama, M. 2019. Optuna: a next-generation hyperparameter optimization framework. In Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining 2623–2631. <https://doi.org/10.1145/3292500.3330701>
- Campeau, S. & Rochefort, L. 1996. Sphagnum regeneration on bare peat surfaces: field and greenhouse experiments. *Journal of Applied Ecology* 33, 599–608. <https://doi.org/10.2307/2404988>
- Campeau, S., Rochefort, L. & Price, J. S. 2004. On the use of shallow basins to restore cutover peatlands: plant establishment. *Restoration Ecology* 12, 471–482. <https://doi.org/10.1111/j.1061-2971.2004.00302.x>
- Clymo, R.S. & Duckett, J.G. 1986. Regeneration of Sphagnum. *New Phytologist* 102, 589–614. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1986.tb00834.x>
- Clymo, R.S. & Hayward, P.M. 1982. The ecology of Sphagnum. *Bryophyte Ecology*, Chapter 8, 229–289. https://doi.org/10.1007/978-94-009-5891-3_8
- Dorogush, A. V., Ershov, V. & Gulin, A. 2018. CatBoost: gradient boosting with categorical features support. arXiv preprint arXiv1810.11363. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.11363>
- Freeman, T.G. 1991. Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. *Computers & Geosciences* 17(3), 413–422. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(91\)90048-I](https://doi.org/10.1016/0098-3004(91)90048-I)
- Gaudig, G., et al. 2017. Sphagnum farming from species selection to the production of growing media: a review. 20(13), 130. <http://www.doi.org/10.19189/MaP.2018.OMB.340>
- González, E., Rochefort, L. & Poulin, M. 2013. Trajectories of plant recovery in block-cut peatlands 35 years after peat extraction. *Applied Ecology and Environmental Research* 11, 385–406. http://www.ecology.kee.hu/pdf/1103_385406.pdf
- González, E. & Rochefort, L. 2014. Drivers of success in 53 cutover bogs restored by a moss layer transfer technique. *Ecological Engineering*, 68, 279–290. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.051>
- GTK (Geologian tutkimuskeskus) (2024) Digitaalinen turvetietokanta, joka sisältää turvekartoitusten tulokset aikaväliltä 1980–2024.
- Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., Ye, Q. & Liu, T.-Y. 2017. LightGBM: a highly efficient gradient boosting decision tree. *Advances in Neural Information Processing Systems* 30. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/3294996.3295074>
- Laine, J., Flatberg, K.I., Harju, P., Timonen, T., Minkkinen, K.J., Laine, A., Tuittila, E.-S. & Vasander, H.T. 2018. Sphagnum Mosses: The Stars of European Mires. Department of Forest Sciences, University of Helsinki, Sphagna Ky.
- Lemmer, M., Graf, M. 2016. Wie erfolgreich verläuft die Renaturierung abgebauter Hochmoore? Sphagnum-Vorkommen auf 19 wiedervernässten Flächen in Niedersachsen. *Telma* 46, 109–124. <https://doi.org/10.23689/fidgeo-2948>
- Linardatos, P., Papastefanopoulos, V. & Kotsiantis, S. 2020. Explainable AI: a review of machine learning interpretability methods. *Entropy* 23(1), 18. <https://doi.org/10.3390/e23010018>

2.12.2024

- Lode, E., Lundin, L. & Ilomets, M. 2010. Self-Recovery of Cut-over Bogs: Summary from Case Studies. In: Eiseltová, M. (eds.) Restoration of Lakes, Streams, Floodplains, and Bogs in Europe. Wetlands: Ecology, Conservation and Management, vol 3. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9265-6_14
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R. & Dubourg, V. 2011. Scikit-Learn: Machine Learning in Python. Journal of Machine Learning Research 12, 2825–2830. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1953048.2078195>
- Price, J.S. & Whitehead, G.S. 2004. The influence of past and present hydrological conditions on Sphagnum recolonization and succession in a block-cut bog, Québec. Hydrological Processes, 18, 15–328. <https://doi.org/10.1002/hyp.1377>
- Quinty, F., LeBlanc, M.C. & Rochefort, L. 2019. Peatland Restoration Guide – Plant Material Collecting and Donor Site Management. PERG, CSPMA and APTHQ. Québec City, Québec.
- Quinty, F., LeBlanc, M.-C. & Rochefort, L. 2020. Peatland Restoration Guide – Spreading Plant Material, Mulch and Fertilizer. PERG, CSPMA and APTHQ. Québec, Québec.
- Rochefort, L., Campeau, S. & Bugnon, J.-L. 2002. Does prolonged flooding prevent or enhance regeneration and growth of Sphagnum? Aquatic Botany 74(4), 327–341. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(02\)00147-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(02)00147-X)
- Silvan, N., Jokinen, K., Näkkilä, J. & Tahvonen, R. 2017. Swift recovery of Sphagnum carpet and carbon sequestration after shallow Sphagnum biomass harvesting. Mires and Peat, 20(01), 1–11. <https://doi.org/10.19189/MaP.2015.OMB.198>
- Xia, Y., Liu, C., Li, Y. & Liu, N. 2017. A boosted decision tree approach using Bayesian hyper-parameter optimization for credit scoring. Expert Systems with Applications 78, 225–241. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.02.017>

2.12.2024

3.3 TP3. Rahkasammalen korjuun vesistövaikutukset

Sari Uusheimo ja Jussi Vuorenmaa, Suomen ympäristökeskus (Syke)

Niko Silvan, Luonnonvarakeskus (Luke)

3.3.1 Johdanto

Rahkasammalen käyttö kasvualustan raaka-aineena on arvioitu olevan ilmaston kannalta myönteisempää kuin kasvuturpeen käyttö. Kuten turvetuotannolla, rahkasammalen korjuulla voi kuitenkin olla haitallisia rehevöittäviä ja veden tummumisen vesistövaikutuksia turvemaaperästä tapahtuvan ravinteiden (fosfori ja typpi), orgaanisen aineksen (humusyhdisteet, orgaaninen hiili) ja kiintoaineen (epäorgaaninen mineraaliaine, hiukkasmainen orgaaninen aine) vapautumisen ja huuhtoutumisen kautta (esim. Silvan 2019). Veden tummumiseen vaikuttavat myös turvemaahan sitoutuneet rauta- ja mangaaniyhdisteet.

Kun suojaava rahkasammalkerros poistetaan, alta paljastunut turvekerros ja maaperä altistuu eroosiolle, mikä yhdistettynä mahdollisesti nousevan veden pinnan ja kasvavan valunnan kanssa saattaa lisätä orgaanisen aineksen, kiintoaineen ja kokonaisfosforin ja -typen kuormitusta korjuualueilta. Suojaavan ja ravinteita sitovan kasvipeitteen poistossa muutoksia voi tapahtua myös suoveteen liuenneen fosfaattifosforin ja typpiyhdisteiden pitoisuuksissa. Mikrobiprosessien ammonifikaation, nitrifikaation ja denitrifikaation keskinäiset suhteet voivat muuttua ympäristöolosuhteiden muuttumisen myötä, ja tämä vaikutus voi heijastua suon valumaveteen ja sen sisältämään epäorgaaniseen tyypeen ($\text{NO}_3\text{-N}$ + $\text{NH}_4\text{-N}$).

Muiden tutkimusten perusteella tiedetään, että turvemaahan on varastoitunut runsaasti laskeumaperäisiä haitallisia raskasmetalleja, kuten elohopeaa, kadmiumia ja lyijyä. Orgaaninen aine sitoo raskasmetalleja, ja sen huuhtoutumisen kautta raskasmetalleja kulkeutuu vesistöihin (esim. Mannio 2001, Vuorenmaa ym., 2014). Turvemaassa tapahtuvalla ihmisen toimenpiteillä on lisäävä vaikutus raskasmetallien huuhtoutumiseen. Turvemaassa tehtävillä toimenpiteillä ja maaperän rikkoutumisella on myös todettu olevan vaikutusta elohopean metyloitumiseen ts. eliöstölle myrkyllisen metyylielohopean muodostumiseen ja sen huuhtoutumiseen vesistöihin ja kertymiseen ravintoketjussa (esim. Porvari 2003a, Porvari 2003b).

Rahkasammalen korjuun vaikutuksista ravinteiden, kiintoaineen ja orgaanisen hiilen vapautumiseen ja huuhtoutumiseen on Suomen olosuhteissa toistaiseksi tehty vain yksi tutkimus (Silvan 2019). Tutkimuksessa pieneen otokseen (yksi korjuualue) ja lyhytaikaiseen seurantaan (yksi vuosi) perustuvat tulokset viittaavat siihen, että korjuun haitalliset vesistövaikutukset olisivat vähäisiä. Korjuun vesistövaikutuksien luotettavampi arviointi tarvitsee kuitenkin runsaammin tutkimuskohteita ja pidemmän ajan seurantaa (Silvan 2019). RahKoo-hankkeen vesistövaikutuksien arvioinnissa tutkittiin rahkasammalen korjuun aiheuttamia vaikutuksia ainepitoisuuksiin laajemmalla otoksella ja pidemmän aikavälin seurannalla.

2.12.2024

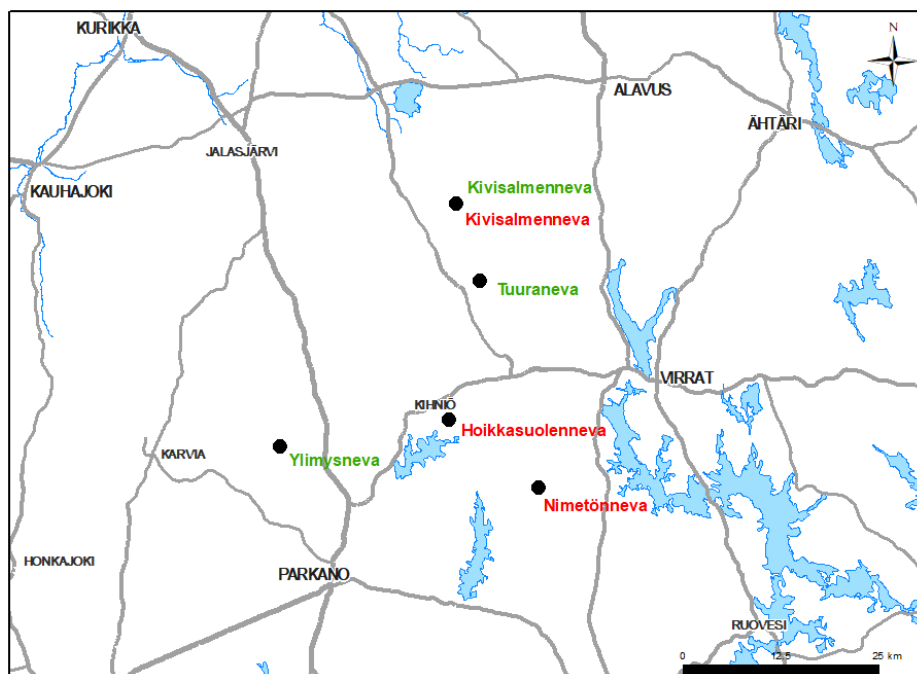
3.3.2 Aineisto

3.3.2.1 Mittaukset

Rahkasammalen korjuun vesikemiallisia vaikutuksia tutkittiin turvemaan maa(huokos)vesinäytteillä ja pintavesinäytteillä kuudella eri korjuunalaisilla nevakohteilla touko-syyskuussa tehdyillä näytteenotoilla vuosina 2022–2024 (kuva 1, kuva 2, taulukko 1). Kohteilla oli tehty korjuutoimenpiteitä eri aikoina. Kohteilla Hoikkasuolenneva, Kivisalmenneva 2017 ja Nimetönneva korjuu tehtiin v. 2015–2017 kaistalekorjauksena. Kohteilla Kivisalmenneva 2020, Tuuranneva sekä Ylimysneva korjuu tehtiin v. 2020–2021 täysin korjattuna. Maa(huokos)vesinäytteet otettiin v. 2022–2023 siiviläputkilla, mitkä oli sijoitettu kasvihuonekaasumittauspisteiden viereen. Putki imettiin alipainepumpulla tyhjäksi ennen varsinaista näytteenkeräystä. Analysoitavat muuttujat olivat kokonaisfosfori (tot P), kokonaistyyppi (tot N), liuennut orgaaninen hiili (DOC), happamuus (pH) ja veden lämpötila. Siiviläputket oli asennettu siten, että kaikilla kuudella kohteella näytteet otettiin sekä korjuualueelta että alueen käsittelemättömältä referenssialueelta.

Pintavesinäytteet otettiin manuaalisesti vesipainanteista tai ulosvirtausojista. Analysoitavat muuttujat olivat kokonaisfosfori (tot P), fosfaattifosfori ($\text{PO}_4\text{-P}$), kokonaistyyppi (tot N), nitraatti-nitriittityppi ($\text{NO}_{23}\text{-N}$, vuodesta 2023 alkaen), ammoniumtyppi ($\text{NH}_4\text{-N}$), liuennut orgaaninen hiili (DOC), kiintoain (SS), happamuus (pH) ja veden lämpötila.

Maa(huokos)vesinäytteet ja pintavesinäytteet otettiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) toimesta v. 2022–2023. Vuonna 2024 otettiin vain pintavesinäytteet Suomen ympäristökeskuksen (Syke) toimesta. Kaikki vesinäytteet analysoitiin Syken Oulun toimipisteen laboratoriossa standardoiduin ja akkreditoiduin menetelmin.

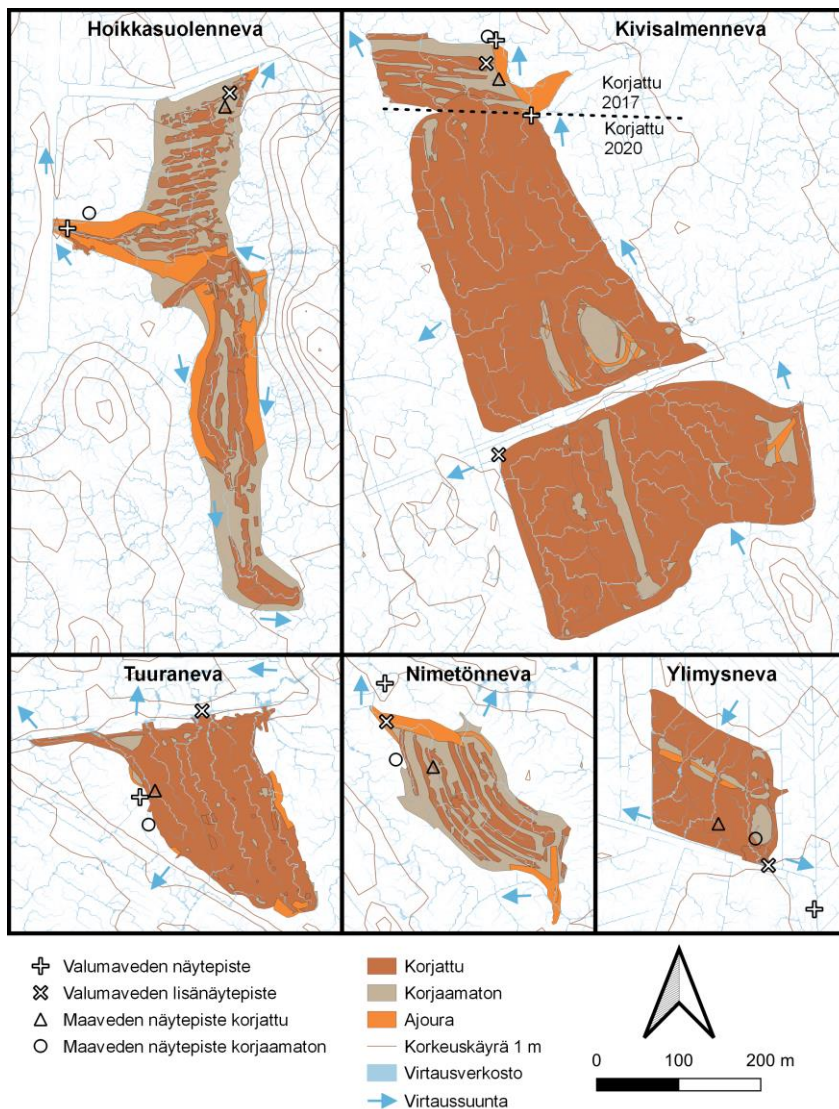


Kuva 1. Rahkoo-hankkeen maa(huokos)veden ja pintaveden tutkimusalueet. Vanhat korjuualueet (2015–2017) merkitty punaisella, uudemmat korjuualueet (2020–2021) merkitty vihreällä.

2.12.2024

Valuma-alueet ja virtaukset mallinnettiin v. 2022–2023 ja v. 2024 tarkennetusti GTK:n toimesta (ks. työpaketti 2). Ensin mallinnettiin Maanmittauslaitoksen (MML) 2 m korkeusmallilla, jonka jälkeen analyysiä tarkennettiin korjuukohteiden alueella droonipintamallin avulla. Lopuksi valuma-alueet ja virtaukset mallinnettiin upottamalla droonikorkeusmalli MML:n 2 m korkeusmalliin peittoalueeltaan kattamalta alueelta.

Valuma-alueanalyysien perusteella vuosien 2022–2023 pintaveden näytepisteet havaittiin heikommin edustaviksi, sillä korjuualan osuus valuma-alueen pinta-alasta oli pieni. Lisäksi kesäaikana joillain kohteilla ei ollut näytevettä saatavilla. Näytepisteet tarkistettiin valuma-alueanalyysiin pohjautuen GTK:n toimesta v. 2024, jolloin saatiin parempi edustavuus ts. suurempi korjuualan osuus valuma-alueesta, paremmin pintavesivaluntaa pintavesinäytteille ja parempi arvio potentiaaliselle ainekuormitukselle (kuva 2, taulukko 1).



Kuva 2. Maaveden (huokosveden) ja valumaveden näytepisteet.

2.12.2024

Taulukko 1. Rahkoo-hankkeen vesikemialliset tutkimusalueet ja maankäyttötiedot ajanjaksoilla 2022–2023 ja 2024.

Paikka	Korjuu-aika	Periodi	Valuma-alue (ha)	Korjuu-alan osuus (%) valuma-alueesta	Kivennäis-maa (%)	Räme (%)	Korpi (%)	Avosuo (%)	Suo yht. (%)	
Hoikkasuolenneva	2015–2017	2022–2023	0,5	40	29	26	47	0	71	
		2024	5,0	47	43	7,3	50	0	57	
Kivisalmenneva 2017	2015–2017	2022–2023	57	16	67	9,1	24	0	33	
		2024	4,7	91	7,1	9,8	83	0	93	
Nimetönneva	2015–2017	2022–2023	2,1	9	63	6,3	30	0	37	
		2024	0,5	80	0	0	100	0	100	
Kivisalmenneva 2020	2020–2021	2022–2023	51	25	72	8,9	19	0	28	
		2024	11,2	69	49	11	41	0	51	
Tuuraneva	2020–2021	2022–2023	<0,1	0	Valuma-alue liian pieni.				0	
		2024	3,1	85	97	0	3,4	0	3,4	
Ylimysneva	2020–2021	2022–2023	27,4	2,5	89	9,8	1,5	0	11	
		2024	2,9	56	67	31	1,9	0	33	

Tutkimusajanjakson v. 2022–2024 säädätänä käytettiin Ilmatieteen laitoksen avoimen sääasemadatan Karvia Alkkian havaintoja (n. 20 km Kihniön taajamasta länteen), ja hankkeessa perustettua automaattista sääasemaa (n. 6 km Kihniön taajamasta pohjoiseen). Ilmatieteen laitoksen asemalta saatiin sadanta, ilman lämpötila ja kosteus, automaattisesta sääasemasta PAR (fotosynteettisesti aktiivinen säteily, 400–700 nm).

3.3.2.2 Referenssiaineisto

Tutkimusalueilta ei ollut referenssinäytteitä ennen korjuutoimenpiteitä, joita olisi voitu verrata korjuun jälkeisinä vuosina otettuihin näytteisiin vaikutuskoejärjestelynä. Referenssiaineistona v. 2024 tuloksiin käytettiin vuosien 2022–2023 pintavesien mittauspisteiden aineistoa, sillä näillä pisteillä korjuualan osuus valuma-alueesta oli huomattavasti alhaisempi verrattuna v. 2024 mittauspisteisiin (taulukko 1). Tällä tarkastelulla oli mahdollista arvioida korjuualan suuruuden/valuma-alueosuuden vaikutuksia ainepitoisuuksiin. Lisäksi referenssiaineistona käytettiin Luken koordinoiman metsätalouden vesistökuormituksen seurantaverkon referenssivaluma-alueita (<https://www.luke.fi/fi/luonnonvaratieto/tiedetta-ja-tietoa/metsatalouden-vesistokuormitus>), joissa valuma-alueella oli suo-/turvemaata, ja jotka edustavat maantieteellisesti ja so. ilmastollisesti RahKoo-tutkimushankkeen alueita (taulukko 2).

2.12.2024

Taulukko 2. Metsätalouden vesistökuormituksen seurantaverkon RahKoo-hankkeessa käytetyt referenssialueet, niiden maankäyttötiedot ja kokonaistypen (tot N), ammonium-typen (NH₄-N), nitriitti-nitraattityypen (NO₂₃-N), kokonaisfosforin (tot P), fosfaattifosforin (PO₄-P), kiintoaineen (SS), happamuuden (pH) ja kokonaisorgaanisen hiilen (TOC) tilastolliset tunnusluvut (Ka=keskiarvo, Md=mediaani, SD=keskihajonta) vuosilta 2022–2024. Helvetinjärvi ja Susimäki sijaitsevat Ruovedellä, Mustospuro Saarijärvellä. Lähde: Luonnonvarakeskus (Luke) ja Suomen ympäristökeskus (Syke).

Paikka	Valuma-alueen pinta-ala (ha)	Turve-maan osuus (%)		tot N μg/L	NH ₄ -N μg/L	NO ₂₃ -N μg/L	tot P μg/L	PO ₄ -P μg/L	SS mg/L	pH	TOC mg/L
Helvetinjärvi	26	45	Ka	398	9,9	9,0	7,2	2,0	17,3	4,8	25,5
			Md	260	7,0	2,0	4,3	1,0	2,7	4,8	19,0
			SD	332	15,0	22,5	6,7	1,9	3,4	0,2	20,4
Susimäki	5	8	Ka	549	13,0	6,9	15,3	4,4	1,6	4,2	34,0
			Md	480	14,0	2,0	13,0	4,0	1,5	4,2	31,0
			SD	203	15,8	24,7	6,3	3,5	1,4	0,2	13,7
Mustospuro	325	40	Ka	437	13,1	11,3	13,8	2,2	3,2	5,3	27,6
			Md	410	9,0	9,0	13,0	2,3	2,0	5,0	23,0
			SD	132	17,5	8,5	5,5	1,1	3,2	0,8	11,1

3.3.3 Tulokset

Meteorologinen data näytteenottokausilta toukokuu-syyskuu vuosilta 2022–2024 ilmentää, että ilmasto-olosuhteissa (sadanta, lämpötila, kosteus) sekä säteilyssä (PAR) ei esiintynyt toukokuu-syyskuu-periodilla vuosina 2022–2024 ääreviä ilmiöitä pitkän ajan keskiarvosta eikä merkittävää vuosien välistä vaihtelua (taulukko 3).

Taulukko 3. Karvia Alkkian sääasemadatan (sadanta, ilman lämpötila, ilman kosteus) sekä hankkeen PAR-mittauslaitteen arvojen tilastolliset tunnusluvut (Ka=keskiarvo, Md=mediaani, SD=keskihajonta) ajanjaksolla toukokuu-syyskuu vuosina 2022–2024. Lähde: Ilmatieteenlaitoksen avoin säädata.

Vuosi	Sadanta				Ilman lämpötila			Kosteus			PAR		
	Summa mm	Ka mm/kk	Md mm/kk	SD mm/kk	Ka C°/kk	Md C°/kk	SD C°/kk	Ka %	Md %	SD %	Ka μmol/m ² / s	Md μmol/m ² / s	SD μmol/m ² / s
2022	367	73	54,7	42,4	12,7	15,5	4,2	76	79	8,5	334	299	133
2023	442	88	92,8	49,9	13,6	15	2,5	76	81	13,1	324	345	120
2024	421	84	76,9	50,6	14,2	14,8	2,1	77	83	12,5	343	331	122

Maa(huokos)vesituloksissa ei esiintynyt systemaattista eroa referenssipisteiden ja korjuun vaikutuksen alaisten pisteiden välillä (taulukko 4). Pisteillä Nimetönneva, Kivisalmenneva 2020 ja Tuuranneva referenssipisteiden tot P- ja tot N-pitoisuudet olivat korkeammat tai samansuuruisia, kuin korjuun alaisilla pisteillä. Pisteillä Hoikkasuolenneva, Kivisalmenneva 2017 ja Ylimysneva korjuun alaisilla pisteillä tot P- ja tot N-pitoisuudet (osin myös DOC) olivat korkeammat kuin referenssipisteillä.

2.12.2024

Taulukko 4. Maa(huokos)veden näytemäärät (n), kokonaisfosforin (tot P), kokonaistypen (tot N), liuenneen orgaanisen hiilen (DOC), happamuuden (pH) ja veden lämpötilan (T) tilastolliset tunnusluvut (Ka=keskiarvo, Md=mediaani, SD=keskihajonta) korjuun alaisilla pisteillä (korj.) ja referenssipisteillä (ref.) vuosina 2022–2023 RahKoo-hankkeen tutkimusalueilla.

Paikka	Vuodet	n		tot P µg/L	tot N µg/L	DOC mg/L	pH	T C°
Hoikkasuolenneva, korj.	2022–2023	12	Ka	162	3528	52	4,2	12
			Md	97	2350	56	4	12
			SD	180	3197	11,7	0,1	3,3
Hoikkasuolenneva, ref.	2022–2023	11	Ka	126	3511	58	3,9	11
			Md	74	1500	62	4	12
			SD	147	3642	8,3	0,1	3,5
Kivisalmenneva 2017, korj.	2022–2023	11	Ka	241	2325	62	4,2	12
			Md	120	1300	64	4	11
			SD	263	2198	14,4	0,2	3,1
Kivisalmenneva 2017, ref.	2022–2023	9	Ka	71	1262	61	4,0	10
			Md	40	1100	55	4	10
			SD	58,3	370	14,4	0,1	3
Nimetönneva, korj.	2022–2023	12	Ka	144	2803	41	3,9	13
			Md	89	1600	42	4	13
			SD	170	2911	9,8	0,1	3,8
Nimetönneva, ref.	2022–2023	11	Ka	253	2648	40	3,9	11
			Md	130	1500	41	4	10
			SD	286	2528	4,5	0,1	3,6
Kivisalmenneva 2020, korj.	2022–2023	10	Ka	119	2490	53	4	11
			Md	72	1235	51	4	11
			SD	163	2213	13	0	3
Kivisalmenneva 2020, ref.	2022–2023	10	Ka	142	2736	48	4	10
			Md	130	1150	51	4	10
			SD	107	3586	9	0	2
Tuuraneva, korj.	2022–2023	10	Ka	90	2935	59	4,2	11
			Md	84	1800	56	4	11
			SD	64,5	2869	11,6	0,1	3,1
Tuuraneva, ref.	2022–2023	12	Ka	114	2741	58	3,9	11
			Md	72	1550	59	4	11
			SD	101	2621	7,2	0,1	3
Ylimysneva, korj.	2022–2023	12	Ka	1422	5058	143	3,8	11
			Md	335	2250	83	4	11
			SD	1640	4214	98,7	0,2	3,1
Ylimysneva, ref.	2022–2023	12	Ka	124	3450	75	3,8	11
			Md	98	2200	74	4	12
			SD	72,6	3166	13	0,1	3

Ylimysnevan korkeisiin tot P- ja tot N-pitoisuuksiin korjuualueen huokosvedessä lieene vaikuttanut maaperään historiallisesti varastoituneet ravinteet, sillä Ylimysneva oli Metsäntutkimuslaitoksen vanha koealue, missä mittavin koejärjestelyin vertailtiin eri lannoitus-, muokkaus- ja viljelyvaihtoehtoja alun perin puuttomien nevojen metsittämiseksi.

Pintavesituloksia arvioitiin kahdella eri ajanjaksolla (periodit 2022–2023 ja 2024), sillä korjuualueen osuus valuma-alueesta ajanjaksojen välillä erosi merkittävästi. Näytteenottoalueen Hoikkasuolenneva korjuualueen osuus valuma-alueesta v. 2022–2023 (40 %) ei merkittävästi poikennut v. 2024 tarkistetusta näytestä (47 %), mutta muilla viidellä kohteella korjuualueen osuus valuma-alueesta v. 2024 tarkistetuilla näytestä oli selvästi korkeampi (keskiarvo 76 %, vaihteluväli 56–91 %) verrattuna v. 2022–2023 näytestä (keskiarvo 11 %, vaihteluväli 0–25 %) (taulukko 1).

2.12.2024

Vuonna 2024 tarkistettujen näytteenottopisteiden ravinnepitoisuudet (tot P ja tot N) sekä kiintoainepitoisuudet (SS) olivat keskimäärin selvästi v. 2022–2023 näytteenottopisteitä korkeammat (taulukko 5).

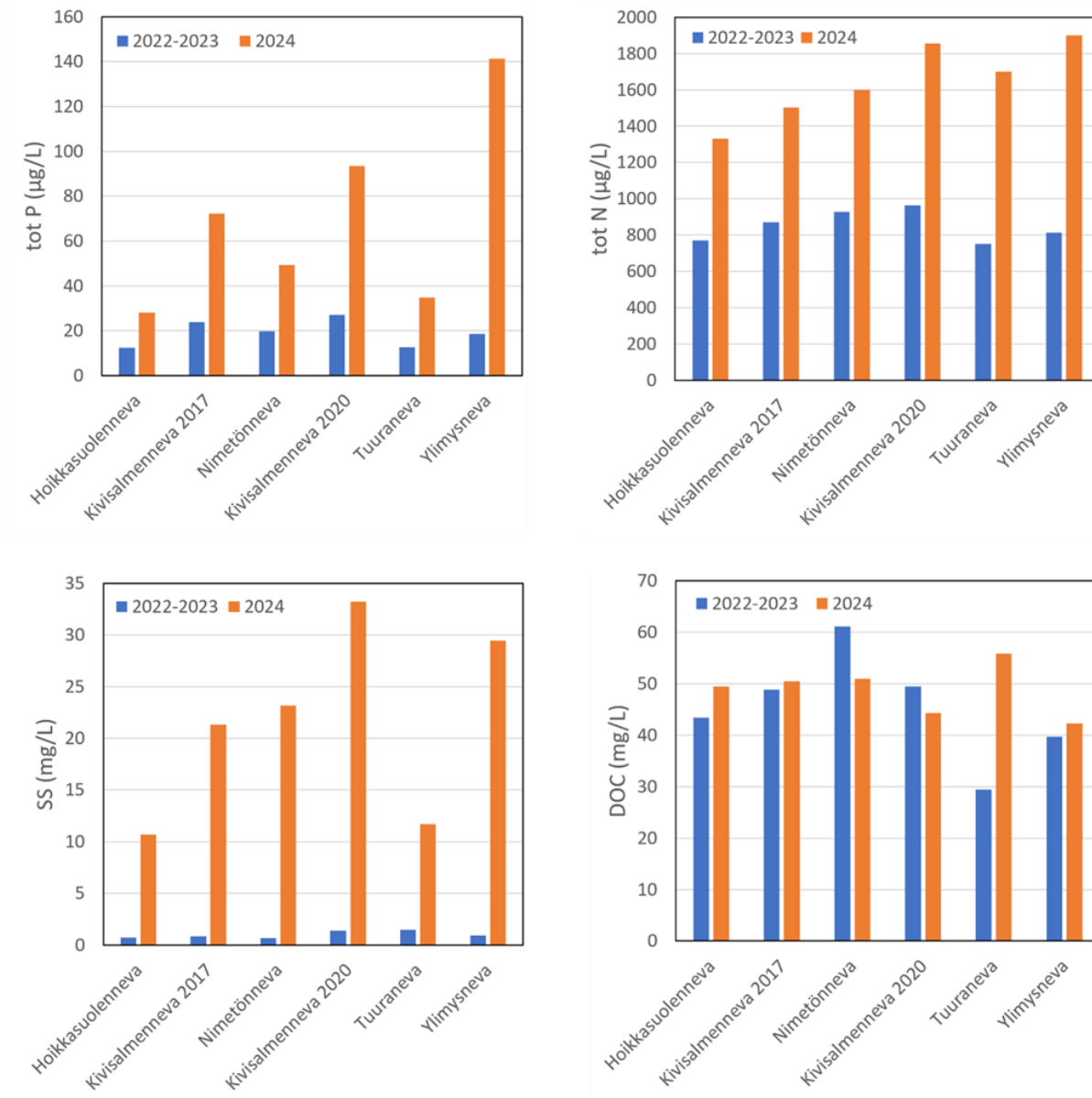
Taulukko 5. Pintaveden näytemäärät (n), kokonaistypen (tot N), ammonium-typen (NH₄-N), nitriitti-nitraattitypen (NO₂₃-N), kokonaisfosforin (tot P), fosfaattifosforin (PO₄-P), kiintoaineen (SS), happamuuden (pH), liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) ja veden lämpötilan (T) tilastolliset tunnusluvut (Ka=keskiarvo, Md=mediaani, SD=keskihajonta) vuosina 2022–2023 ja 2024 RahKoo-hankkeen tutkimusalueilla.

Paikka	Ajanjakso	n		tot N µg/L	NH ₄ -N µg/L	NO ₂₃ -N µg/L	tot P µg/L	PO ₄ -P µg/L	SS mg/L	pH	DOC mg/L	T C°
Hoikkasuolenneva	2022–2023	8	Ka	771	5,7	4,1	12,4	1,9	0,7	4,2	43,4	14,0
			Md	790	5,0	2,5	11,0	1,0	0,5	4,1	45,0	13,9
			SD	181	1,4	3,3	4,0	1,5	0,3	0,2	9,7	5,6
	2024	4	Ka	1330	5,8	4,9	28,0	1,5	10,7	4,2	49,5	16,5
			Md	1090	6,0	2,5	22,5	1,5	5,7	4,2	47,5	16,5
			SD	591	1,5	4,8	15,9	0,6	13,9	0,1	6,6	7,4
Kivisalmenneva 2017	2022–2023	8	Ka	870	4,9	3,9	23,9	2,3	0,9	4,2	48,9	12,0
			Md	860	5,0	2,5	23,5	2,0	0,5	4,3	45,0	11,4
			SD	224	1,4	2,0	5,5	1,4	0,5	0,1	12,9	5,0
	2024	10	Ka	1503	6,6	6,5	72,2	4,3	21,3	4,1	50,5	15,8
			Md	1200	4,0	5,0	37,0	2,0	8,0	4,1	48,5	15,2
			SD	577	7,2	5,5	82,8	4,6	22,9	0,1	10,8	4,5
Nimetönneva	2022–2023	7	Ka	927	6,7	3,6	19,7	2,4	0,7	3,8	61,1	12,7
			Md	950	6,0	2,5	18,0	2,0	0,5	3,8	67,0	13,1
			SD	258	1,5	2,3	5,0	1,7	0,3	0,1	17,8	4,9
	2024	9	Ka	1601	6,0	4,3	49,2	2,6	23,2	3,9	51,0	18,7
			Md	1300	5,0	2,5	28,0	3,0	3,1	4,0	48,0	18,0
			SD	958	2,2	3,5	44,8	1,1	32,0	0,2	13,8	5,4
Kivisalmenneva 2020	2022–2023	6	Ka	963	5,3	3,4	27,2	2,7	1,4	4,1	49,5	12,2
			Md	985	5,5	2,5	27,5	3,0	0,5	4,1	53,0	10,9
			SD	301	1,8	1,8	9,8	1,4	1,5	0,1	10,6	4,8
	2024	10	Ka	1856	19,5	3,9	93,4	4,9	33,2	4,1	44,3	15,3
			Md	1300	4,5	2,5	65,5	3,5	21,5	4,1	44,0	16,0
			SD	1277	24,0	2,2	92,2	4,2	50,1	0,1	3,0	3,4
Tuuraneva	2022–2023	12	Ka	752	4,4	4,6	12,8	1,8	1,5	4,3	29,4	13,7
			Md	730	4,5	2,5	13,0	1,0	1,3	4,3	28,0	14,3
			SD	89	1,4	5,1	3,0	2,0	1,0	0,1	4,9	5,1
	2024	8	Ka	1700	72,8	32,1	34,9	2,1	11,7	4,2	55,9	17,4
			Md	1700	40,5	21,0	33,0	2,0	7,5	4,2	56,5	17,0
			SD	278	83,5	30,9	17,5	1,0	12,0	0,1	6,6	4,3
Ylimysneva	2022–2023	12	Ka	814	12,3	5,6	18,6	3,0	0,9	4,5	39,7	11,6
			Md	870	6,5	4,25	16	3	0,5	4,4	39,5	11,7
			SD	311	12,6	3,7	11,5	1,7	1,3	0,4	16,6	3,7
	2024	6	Ka	1900	313,3	4,9	141	60,8	29,5	4,9	42,3	11,7
			Md	1650	295	4,25	155	57,5	20,5	5	40	11,5
			SD	699	206	3,0	51,3	23,8	27,7	0,6	22,2	2,9

Pitoisuudet olivat keskimäärin v. 2024 kokonaisfosforin (tot P) osalta 70 %, kokonaistypen (tot N) osalta 50 % ja kiintoaineksen (SS) osalta 95 % korkeammat, kuin v. 2022–2023. Liuenneessa orgaanisessa hiilessä (DOC) sekä happamuudessa (pH) merkittäviä eroja ei havaittu (kuva 3, taulukko 5). Ylimysnevan korkeat tot P-pitoisuudet v. 2024 selittynevät suurelta osin historiallisesti maaperään varastoituneesta lannoitefosforista, jota on vapautunut korjuutoimenpiteissä: korjuualan osuus valuma-alueesta v. 2022–2023 näytepisteellä kasvoi n. 3 %:sta lähes 60 %:iin v. 2024 uudella näytepisteellä.

2.12.2024

Verrattaessa metsätalouden vesistökuormituksen seurannan turvemaavaltaisiin pieniin referenssivaluma-alueisiin, RahKoon tutkimusalueilla v. 2024 tot P-pitoisuudet olivat 80 %, tot N-pitoisuudet 70 %, kiintoainepitoisuudet 70 % ja DOC-pitoisuudet 40 % keskimäärin korkeammat, kuin metsätalouden vesistökuormituksen referenssialueilla v. 2022–2024.



Kuva 3. RahKoo-hankkeen pintavesikohteiden kokonaisfosforin (tot P), kokonaistypen (tot N), kiintoaineen (SS) ja liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) keskiarvopitoisuudet ajanjaksoilla 2022–2023 ja 2024.

2.12.2024

3.3.4 Johtopäätökset

Ilmasto-olosuhteilla ja niiden vaihteluilla, erityisesti lämpötilalla, sadannalla ja valunnalla, on tärkeä rooli aineiden biogeokemiallisissa prosesseissa ja aineiden huuhtoutumisessa valuma-alueelta. Säädata ei osoita merkittäviä eroja vuosien 2022–2024 lämpötilassa ja sadannassa ajanjaksolla toukokuu–syyskuu. Näin ollen kevät-syky-valunnassa ei oletettu olleen merkittäviä eroja vuosien välillä, joten ilmasto-olosuhteet eivät selvästi selittäneet pitoisuuseroja ajanjaksojen 2022–2023 ja 2024 välillä.

Rahkasammalen korjuussa vapautuu ravinteita ja kiintoainesta maaperästä, mutta erityisesti korjuualueen osuudella valuma-alueesta voi olla merkittävä vaikutus potentiaaliseen ainekuormitukseen valuma-alueelta. Epävarmuustekijänä osalla kohteista oli vaikea määrittää valuma-alueen ulosvirtausnäytteenottopistettä, joten näytteet otettiin vesipainanteista seisovasta vedestä. Lisäksi hankkeessa ei voitu mitata tarkkaa korjuuvaluma-alueilta ulos purkautuvan valunnan määrää ja so. ainekuormituksen suuruutta valuma-alueelta ei tutkimuksessa voitu mitata. Lisäksi 2022–2023 näytepisteiden näytemäärä oli alhaisempi pintaveden puutteen takia verrattuna v. 2024 pisteisiin, joissa pintavettä näytteisiin oli paremmin saatavilla. Kohteissa oli kuitenkin alueita, joista näytteet otettiin valuma-alueelta ulos virtaavan veden laskuojista, ja korkeat pitoisuustulokset voivat indikoida alapuoliseen vesistöön kohdistuvasta potentiaalisesta ainekuormituksesta. Pitoisuuserot v. 2022–2023 näytteenottopisteiden (alhainen korjuualueen osuus valuma-alueesta) ja v. 2024 näytteenottopisteiden (korkea korjuualueen osuus valuma-alueesta) välillä olivat selvästi havaittavissa. Lisäksi ainepitoisuudet luonnontilaisilla turvemaavaltaisilla verrokkialueilla olivat selvästi alhaisemmat, kuin rahkasammalen korjuualueilla.

Viitteet

- Mannio, J. 2001. Responses of headwater lakes to air pollution changes in Finland. Monographs of the Boreal Environment Research 18, 1–48. <http://hdl.handle.net/10138/39346>
- Porvari, P. 2003a. Sources and fate of mercury in aquatic ecosystems. Monographs of the Boreal Environment Research, 23. Finnish Environment Institute, Helsinki, 2003. <http://hdl.handle.net/10138/39340>
- Porvari, P., Verta, M., Munthe, J. & Haapanen, M. 2003b. Forestry practices increase mercury and methyl mercury output from boreal forest catchments. Environmental Science & Technology 37(11), 2389–2393. <https://doi.org/10.1021/es0340174>
- Silvan, N. 2019. Short-term Effects of Shallow Sphagnum Moss Biomass Harvesting on the Runoff Water Quality. International Journal of Environmental Monitoring and Analysis 7(1), 34–39. <https://doi.org/10.11648/j.ijema.20190701.15>
- Vuorenmaa, J., Salonen, K., Arvola, L., Mannio, J., Rask, M. & Horppila, P. 2014. Water quality of a small headwater lake reflects long-term variations in deposition, climate and in-lake processes. Boreal Environment Research 19, 47–65.

2.12.2024

3.4 TP4. Elinkaarianalyysi rahkasammaleen korjuun ja kasvatuksen ilmastovaikutuksista

Tanja Myllyviita, Juha Grönroos, Suvi Lehtoranta, Syke; Jani Anttila, Satu Karjalainen, Luke; Jukka Turunen, Anna Laine Petäjäkangas, GTK

3.4.1 Johdanto

Turpeen energiakäytön vähenemisen myötä myös kasvuturpeen saatavuus heikkenee. Rahkasammalen on arvioitu olevan erinomaisten laatuominaisuuksien ansiosta lupaava kasvuturpeen korvaaja. On kuitenkin tärkeää varmistaa, että vaihtoehtoiset kasvualustamateriaalit täyttävät sekä laatuvaatimukset, että ovat myös ilmastovaikutuksiltaan myönteisiä. Rahkasammalta voidaan Suomessa korjata maanomistajan suostumuksella ilman ympäristölupaa. Vaihtoehtoisesti rahkasammalta voidaan viljellä esimerkiksi entisillä turpeentuotantoalueilla tai metsäojitetuilla soilla.

Rahkasammalen korjuun ilmastovaikutuksia on arvioitu aikaisemmissa tutkimuksissa (Punkka 2019; Lehtoranta ym. 2021). Punkka (2019) arvioi, että korjuun kasvihuonekaasupäästöt olivat korjatusta korjuukohteesta riippuen alle 0,5 kg CO₂-ekv./kg korjattua sammalta, kun puolestaan turpeen kasvihuonekaasupäästöt olivat nelinkertaiset. Lehtorannan ym. (2021) mukaan ojitetuilta soilta korjatun rahkasammalen päästöt olivat keskimäärin 0,46 kg CO₂-ekv./kg, mutta vaihteluväli on suuri korjuukohteesta riippuen. Näissä kahdessa tutkimuksessa oletettiin, että korjuualueet toipuivat luontaisesti ilman erityisiä toimenpiteitä kohtalaisen lyhyessä ajassa. On kuitenkin nähtävissä, että erityisesti intensiivisen korjuun jälkeen ei korjuualue enää palaudu korjuuta edeltävään tilaan, vaan kasvillisuus saattaa muuttua pysyvästi (Punkka 2019). Rahkasammalen elpymistä korjuun jälkeen voidaan edistää levittämällä osa korjatusta sammalesta takaisin korjuualueelle ja varmistamalla, että korjuualueen olosuhteet ovat suotuisat sammalen kasvua ajatellen. Rahkasammalen takaisinistutuksen ansiosta on mahdollista edistää korjuualueen hiilensidontaa ja lyhentää korjuusykliä.

Kasvuturvetta korjataan turpeentuotantoalueelta ylemmistä suokerroksista (ns. vaalea turve), kun puolestaan energiaturvetta kerätään syvemmistä kerroksista (musta turve). Kasvuturpeen hiilijalanjäljen on usein oletettu olevan samansuuruinen energiaturpeen hiilijalan kanssa (mm. Lehtoranta ym., 2021). On kuitenkin oletettavaa, että kasvualustaturpeen hiilijalanjälki eroaa energiaturpeen hiilijalanjäljestä, sillä kasvualustaturpeena käytetty turve hajoaisi osittain ilman korjuuta, kun puolestaan energiaturpeen käytössä vapautetaan ilmakehään stabiilimpaa hiiltä, joka ei ilman turpeen energiakäyttöä ilmakehään vapautuisi. Lisäksi energiaturpeen sisältämä hiili vapautuu ilmakehään välittömästi polton yhteydessä, kun puolestaan kasvualustakäytössä on mahdollista pidentää hiilen säilymisaikaa hyödyntämällä käytettyä kasvualustaa esim. maanparannusaineena.

Tuotteiden ilmastovaikutusten arvioinnissa tulisi huomioida maankäytön ilmastovaikutuksen lisäksi tuotteiden valmistuksen, kuljetuksen, käytön ja loppukäytön aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt. Huomattava osa kasvualustaturpeen ilmastovaikutuksista aiheutuu käytetyn kasvialustan hajotessa, jolloin sen sisältämä hiili vapautuu hiilidioksidina ilmakehään. Myös raaka-aineen korjuu ja kuljetus aiheuttavat päästöjä.

Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin elinkaariarviointia rahkasammalen korjuun ja käytön ilmastovaikutusten arvioinnissa. Elinkaariarviointi on standardoitu menetelmä, jonka avulla on mahdollista tarkastella erilaisten tuotteiden ympäristövaikutuksia huomioiden niiden koko elinkaari

2.12.2024

kehdosta hautaan. Arviointi suoritettiin olettamalla, että rahkasammal korjataan joko kuivalta tai märältä turvemaalta (luonnontilaisuusluokka 0–1 tai 2). Lisäksi arvioitiin, miten rahkasammalen korjuun ja käytön ilmastovaikutukset muuttuisivat, jos korjuualueen uudistumisesta varmistettaisiin siirtämällä osa korjatusta rahkasammalesta takaisin korjuualueelle, ja varmistettaisiin, että korjuualueen hydrologiset ominaisuudet olisivat optimaaliset rahkasammalen kasvua ajatellen. Korjatun rahkasammalen lisäksi arvioitiin viljellyn rahkasammalen ilmastovaikutuksia. Rahkasammalen viljelyn oletettiin tapahtuvan joko entisellä turpeentuotantoalueella tai metsäojitetulla suolla. Lisäksi arvioitiin kasvuturpeen elinkaariset ilmastovaikutukset kahdella eri lähestymistavalla. Ensimmäinen lähestymistapa ei huomioi kasvualusta- ja energiaturpeen eroavaisuuksia, kun puolestaan jälkimmäisessä tavassa huomioidaan, että kasvualustaturve korjataan turpeentuotantoalueen pintakerroksista.

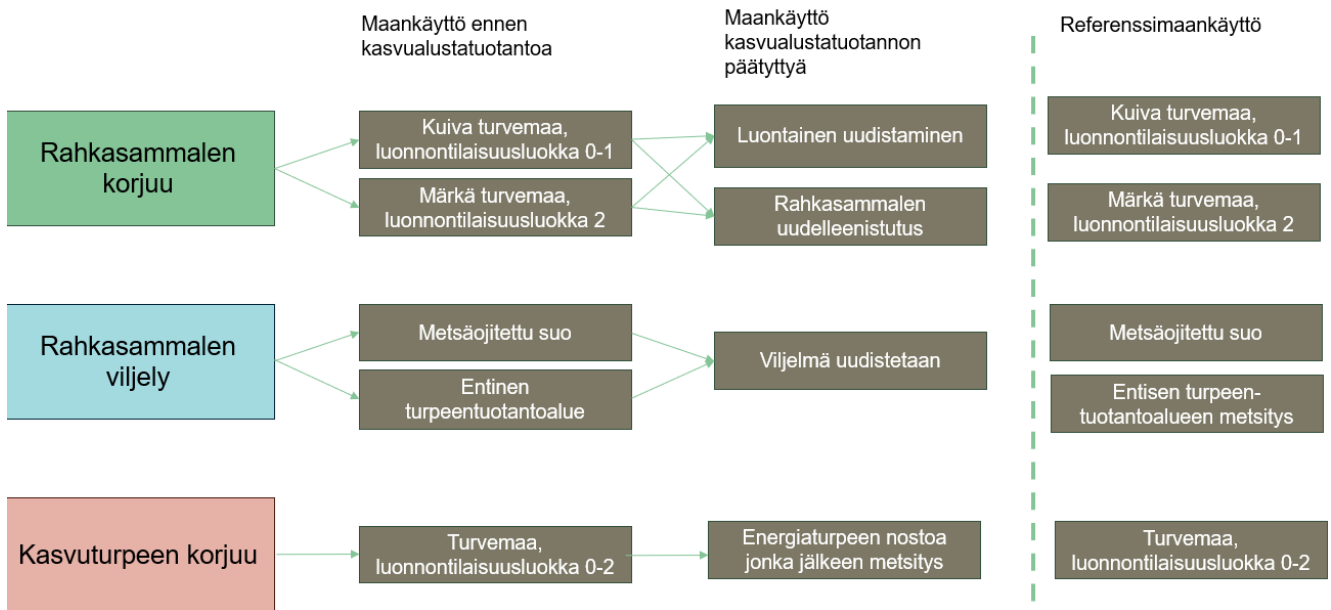
3.4.2 Aineisto

Rahkasammalen viljelyn/korjuun sekä kasvualustaturpeen keruun ja käytön ilmastovaikutusten arvioinnissa hyödynnettiin elinkaariarviointia. Arviointiin sisällytettiin korjuualueen päästöt korjuun jälkeen 20 vuoden ajalta, sekä ns. vältetyt referenssimaankäytön päästöt. Lisäksi huomioitiin korjuutyön ja kuljetuksen aiheuttamat päästöt. Myös käytettyjen kasvualustojen kompostoinnin ja jälkikäytön päästöt huomioitiin. Kasvualustojen käyttöiän oletettiin olevan yksi vuosi, jonka jälkeen niitä kompostoitiin puoli vuotta ja käytettiin pelloilla maanparannusaineena. Rahkasammalviljelmillä kasvatetun kasvualustan sisältämän hiilen vapautumista ei sisällytetty hiilijalanjäljen laskentaan, sillä viljellyn rahkasammalen sisältämän hiilen vapautuminen ei ole päästölähde vaan kuvaa viljelmälle sitoutuvan hiilen vapautumista (Myllyviita ym., 2024a).

Tutkimuksessa kasvihuonekaasupäästöissä huomioitiin hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄) ja typpioksiduuli (N₂O). Toiminnallinen yksikkö, jota kohden kasvihuonepäästöt laskettiin, oli yksi kuutio rahkasammalta (tiheys 270 kg/m³, kosteus 85 %) tai kasvuturvetta (tiheys 150 kg/m³, kosteus 50 %). Rahkasammalen korjuusyvyyden oletettiin olevan 25 cm sekä kuivilla että märillä turvemailla. Korjuusyvyyys metsäojitetuilla soilla viljellylle rahkasammalelle oletettiin olevan 15 cm. Oletuksena oli myös, että puolet pinta-alasta jätetään korjaamatta rahkasammalen uudistumisen tehostamiseksi ja korjuutyön helpottamiseksi. Entiselle turpeentuotantoalueelle perustetulta viljelmältä oletettiin kuitenkin korjattavan 80 % viljelmän pinta-alasta.

Rahkasammalen korjuualueen nettopäästöt koostuvat sekä korjuun jälkeisistä päästöistä että ns. referenssimaankäytön päästöistä. Referenssimaankäytön päästöt toteutuisivat siinä tapauksessa, että rahkasammalta tai kasvuturvetta ei korjattaisi. Korjuualueen nettopäästöt lasketaan vähentämällä referenssimaankäytön päästöt korjuualueen päästöistä. Korjuualueen nettopäästöt riippuvat siitä, millaiselta turvemaalta kasvualustaa tuotetaan, ja mitä toimenpiteitä alueella tehdään kasvialustatuotannon päätyttyä (kuva 1).

2.12.2024



Kuva 1. Eri kasvualustojen tuotantovaihtoehtojen maankäyttö.

Elinkaariarvioinnissa käytetyt tiedot korjuualueiden päästöistä pohjautuivat hankkeessa toteutettuihin kasvihuonekaasumittauksiin (TP1: Rahkasammaleen korjuun ja kasvatuksen vaikutus kasvihuonekaasu- päästöihin, taulukko 1). Koska mittaustuloksia oli saatavilla vain 1–8 vuotta korjuun jälkeen, ja elinkaaritarkastelussa käytetty tarkastelujakso oli maankäytön osalta 20 vuotta, mallinnettiin vuosien 9–20 päästöt käyttämällä arvioita eri kasvilajien (rahkasammalet, puuntaimet ja varvut, tupasvilla ja sarat, muut putkilokasvit) ja paljaan turpeen peittävydestä. Mallit tuotettiin erikseen CH₄-päästöille ja hiilidioksidin nettoekosysteemivaihdolle (NEE) (Myllyviita ym., 2024b). Kasviryhmien peittävyys kehitys 9–20 vuotta korjuun jälkeen perustui tieteellisestä kirjallisuudesta saatuihin arvioihin (Myllyviita ym., 2024b).

Rahkasammalen korjuun referenssimaankäytön päästöt arvioitiin hyödyntämällä kasvihuonekaasujen päästömittaustuloksia korjuualueen vieressä sijaitsevilta, korjaamattomilta alueilta (taulukko 2). Koska N₂O-päästöjä ei tämän hankkeen aikana mitattu, käytettiin Jauhiaisen ym. (2023) päästöarvoja.

2.12.2024

Taulukko 1. Korjuualueen CO₂ ja CH₄ päästöt (g/m²/a), positiivinen luku kuvaa kasvihuonekaasun päästöä, negatiivinen luku sidontaa.

		Kuiva turvemaa, ei rahkasammalen uudistamista		Märkä turvemaa, ei rahkasammalen uudistamista		Kuiva tai märkä turvemaa, rahkasammalen uudistaminen	
		CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄
Vuosia korjuusta	1	1085	0	-130	0,09	-670	0,84
	2	1137,5	0	-460	0,75	-670	0,84
	3	810	0,75	-460	0,28	-670	0,84
	4	827,5	0,84	-377,5	0,47	-670	0,84
	5	-152,5	0,09	-287,5	0,47	-1437,5	0,75
	6	-270	0,09	-197,5	0,84	-1475	0,75
	7	447,5	0,37	-175	1,03	-1267,5	0,75
	8	400	0,28	-307,5	0,94	-1267,5	0,75
	9	352,5	0,28	-382,5	0,94	-1515	0,75
	10	307,5	0,28	-460	0,94	-1515	0,75
	11	260	0,28	-535	0,94	-1737,5	0,75
	12	212,5	0,28	-610	0,94	-1795	0,75
	13	167,5	0,28	-687,5	0,94	-1855	0,75
	14	120	0,28	-762,5	0,94	-1912,5	0,75
	15	72,5	0,28	-840	0,84	-1972,5	0,75
	16	25	0,28	-915	0,84	-2030	0,75
	17	-20	0,28	-992,5	0,84	-2090	0,75
	18	-67,5	0,19	-1067,5	0,84	-2147,5	0,75
	19	-115	0,19	-1227,5	0,84	-2207,5	0,66
	20	-160	0,19	-670,0	0,84	-2105	0,75

Taulukko 2. Sammalen korjuualueiden referenssimaankäytön kasvihuonekaasupäästöt (g/m² /a).

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Kuiva turvemaa	-511,3	2,3	0,13
Märkä turvemaa	261,6	4,8	0,13

2.12.2024

Rahkasammalviljelmien kiertoaika oletettiin olevan 10 vuotta. Rahkasammalviljelmien kasvihuonekaasupäästöissä käytettiin kansainvälisissä tutkimuksissa esitettyjä päästökertoimien keskiarvoja (taulukot 3 ja 4). Tutkimuksessa eriteltiin maahengitys autotrofinen respiraation (kasvinjuurten ja niiden pinnalla elävän mikrobiston soluhengitykseen) ja heterotrofinen respiraation (orgaanisen aineen hajoaminen maaperän mikrobien toimesta). Maahengityksen osuus oletettiin olevan 84 % NEE:stä (Jassey & Signarbieux 2019), josta puolestaan heterotrofisen respiraation osuus on 46 %. Kasvillisuuden netto CO₂-tase (taulukot 3 ja 4 sisältää kasvien sitoman hiilen, josta on vähennetty autotrofinen respiraatio.

Entisellä turpeentuotantoalueella rahkasammal kasvu on viljelmän perustamisen jälkeen maltillinen, mutta kasvu voimistuu muutaman vuoden sisällä, saavuttaen huippunsa jo alle 10 vuoden päästä viljelmän perustamisen jälkeen (Gaudig ym., 2017). On arvoitu, että myös CH₄-päästöissä on vuosittaista vaihtelua (Daun ym., 2023), mutta koska sopivia arvioita CH₄-päästöjen kehityksestä metsäojitetulle suolle perustetulle rahkasammalviljelmälle ei ollut saatavilla, käytettiin samaa lukuarvoa kuvaamaan viljelmän metaanipäästöjä koko tarkastelujaksolle (taulukko 4). Rahkasammalviljelmien N₂O-päästöt ovat aikaisemmissa tutkimuksissa arvoitu vähäisiksi. Turpeentuotantoalueelle perustetun viljelmän pinta-alasta 5 % koostuu vesitalouden ylläpitoon tarvittavista ojista ja padoista, joihin käytettiin erillisiä päästökertoimia (Oestmann ym., 2022).

Entiselle turpeentuotantoalueelle perustetun rahkasammalviljelmän referenssimaankäytöksi oletettiin metsittäminen. Metsittämisen päästöt koostuvat jäännösturpeen hajoamisesta ja puuston ja karikkeen hiilensidonnasta (taulukko 3).

Taulukko 3. Rahkasammalviljelmän kasvihuonekaasupäästölaskennassa käytetyt parametrit (t CO₂ - ekv./ha/a) entisellä turpeentuotantoalueella. Positiivinen lukuarvo kuvaa päästöä, negatiivinen arvo sidontaa.

Rahkasammalviljely entisellä turpeentuotantoalueella	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Lähteet
CH ₄ -päästöt	1,010	0,106	1,915	Oestman ym. (2022); Wilson ym. (2016)
N ₂ O -päästöt	0,355	-	-	Oestmann ym. (2022)
Kasvillisuuden netto CO ₂ -tase, 1. vuosi	-1,146	-0,223	0,699	Pouliot ym, (2015) & Gaudig ym (2017)
Kasvillisuuden netto CO ₂ -tase, 2. vuosi	-5,729	-5,729	-5,729	
Kasvillisuuden netto CO ₂ -tase, 3. vuosi	-2,292	-2,292	-2,292	
Kasvillisuuden netto CO ₂ -tase, 4. vuosi	-5,729	-5,729	-5,729	
Kasvillisuuden netto CO ₂ -tase, 5. vuosi	-6,875	-6,875	-6,875	
Kasvillisuuden netto CO ₂ -tase, 6. vuosi	-2,292	-2,292	-2,292	
Kasvillisuuden netto CO ₂ -tase, 7. vuosi	-8,250	-8,250	-8,250	
Kasvillisuuden netto CO ₂ -tase, 8. vuosi	-10,691	-7,333	-14,048	
Kasvillisuuden netto CO ₂ -tase, 9. vuosi	0,458	0,458	0,458	
Kasvillisuuden netto CO ₂ -tase, 10. vuosi	-3,208	-3,208	-3,208	
Heterotrofisen hengitys, 1. vuosi	0,578	0,477	0,376	

2.12.2024

Heterotrofinen hengitys, 2. vuosi	1,155	0,916	0,677	Jassey & Signarbieux (2019); Järveoja ym. (2018)
Heterotrofinen hengitys, 3. vuosi	2,219	2,888	1,540	
Heterotrofinen hengitys, 4. vuosi	2,888	3,073	3,259	
Heterotrofinen hengitys, 5. vuosi	0,000	2,117	4,234	
Heterotrofinen hengitys, 6. vuosi	3,465	4,721	5,976	
Heterotrofinen hengitys, 7. vuosi	1,155	4,356	7,557	
Heterotrofinen hengitys, 8 vuosi	4,158	3,767	3,375	
Heterotrofinen hengitys, vuodet 9 ja 10	3,696	3,536	3,375	
Ojien CH ₄ -päästöt	8,481	0,143	16,869	Oestmann ym. (2022)
NEE, ojat	4,375	0,334	8,436	
Ojien N ₂ O -päästöt	0,403	0,011	0,789	
Liuennot orgaaninen hiili (DOC, engl. Dissolved Organic Carbon)	0,314	-	-	Ojanen ym. (2020)
Maankäyttötapa referenssitilanteessa: metsäojitettu suo				
Puuston hiilensidonta	-5,20	-1,16	-9,24	Aro and Kaunisto (2003), Statistics Finland (2024), Hagberg & Holmgren (2008)
Jäännösturpeen hajoaminen, 1. vuosi	7,650	5,500	9,800	
Jäännösturpeen hajoaminen, 2. vuosi	7,361	5,071	9,651	
Jäännösturpeen hajoaminen, 3. vuosi	7,090	4,676	9,504	
Jäännösturpeen hajoaminen, 4. vuosi	6,836	4,312	9,360	
Jäännösturpeen hajoaminen, 5. vuosi	6,597	3,976	9,218	
Jäännösturpeen hajoaminen, 6. vuosi	6,372	3,666	9,078	
Jäännösturpeen hajoaminen, 7. vuosi	6,160	3,380	8,940	
Jäännösturpeen hajoaminen, 8. vuosi	5,960	3,117	8,804	
Jäännösturpeen hajoaminen, 9. vuosi	5,772	2,874	8,670	
Jäännösturpeen hajoaminen, 10. vuosi	5,594	2,650	8,538	
Karikkeen hiilensidonta	-2,16	-0,48	-3,83	Seppälä ym. (2010)
Liuennot orgaaninen hiili (DOC, engl. Dissolved Organic Carbon)	0,314	-	-	Ojanen ym. (2020)
CH ₄ -päästöt	$-8,2 \times 10^{-5}$	$-2,45 \times 10^{-4}$	$8,2 \times 10^{-5}$	Grönroos ym. (2013)
N ₂ O -päästöt	0,025	0,001	0,048	

Metsäojitetulle suolle perustetun rahkasammalviljelmän hiilensidonnan arvioinnissa hyödynnettiin Laatikaisen (2023) mittaustuloksia ennallistetuilla, metsäojitetuilla turvemailla (taulukko 4). Tutkimuksessa oletettiin, että vuotuinen kasvu olisi koko tarkastelujakson ajan vakio. Myös CH₄- ja N₂O-päästöjen oletettiin pysyvän muuttumattomina. Metsäojitetulle suolle perustetun viljelmän referenssimaankäytöksi oletettiin metsäojitettu suo (Jauhiainen ym., 2023).

2.12.2024

Taulukko 4. Rahkasammalviljelmän kasvihuonekaasupäästölaskennassa käytetyt parametrit (t CO₂ - ekv./ha/a) metsäojitetulla suolla. Positiivinen lukuarvo tarkoittaa päästöä, negatiivinen arvo tarkoittaa sidontaa.

Metsäojitetulle suolle perustettu rahkasammalviljelmä	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Lähteet
Kasvillisuuden netto CO ₂ -tase	-6,569	-4,598	-8,540	Laatikainen (2023)
Heterotrofinen hengitys	4,304	3,311	2,317	Jassey ja Signarbieu (2019); Järveoja ym. (2018)
Viljelyalueen CH ₄ -päästöt	1,306	0,745	1,850	Strack & Zuback (2013), Höper ym. (2008)
Viljelyalueen N ₂ O -päästöt	0,803	-	-	Jauhiainen ym. (2023)
Liuenut orgaaninen hiili (DOC, engl. Dissolved Organic Carbon)	0,314	-	-	Ojanen ym. (2020)
Maankäyttötapa referenssitilanteessa: karu metsäojitettu suo				
CH ₄ -päästöt	0,059	0,038	0,080	Jauhiainen ym. (2023)
NEE	0,530	-1,200	2,260	
N ₂ O -päästöt	0,803	-	-	
Liuenut orgaaninen hiili (DOC, engl. Dissolved Organic Carbon)	0,314	-	-	Ojanen ym. (2020)

Kasviturpeen CO₂-päästöjen laskennassa hyödynnettiin kahta eri menetelmää. Peruslähestymistavassa oletettiin samat CO₂-päästöt turvekuutiometriä kohti kaikissa turvekerroksissa, kun taas vaihtoehtoinen menetelmä oli ottaa huomioon päästömäärien vaihtelut kunkin kerroksen syvyyden perusteella.

Peruslähestymistavassa maankäytön CO₂-päästöt arvioitiin laskemalla vuodessa tuotetun turvekuution tarvitseman tuotantoalan pohjalta kuutiokohtaiset päästöt olettaen, että CO₂-päästö on sama riippumatta miltä syvyydeltä korjatusta turpeesta on kyse. Turpeen hajoamisesta aiheutuvia CO₂-päästöjä tarkasteltiin sadan vuoden ajan turpeen nostosta.

Vaihtoehtoisessa eli turvekerroskohtaisessa lähestymistavassa turpeentuotantoalueen CO₂-päästöjä tarkasteltiin erikseen kolmelle kerrokselle (pinta-aines, kasviturve ja polttoturve) niiden syvyyden mukaan. Lisäksi oletettiin, että turpeen nostovaiheessa CO₂-päästöt olisivat korkeammat ensimmäisten kuuden vuoden aikana maaperän prosessien takia ja sen jälkeen laskevat (Clark ym., 2023). Pakarisen ym. (1977) tutkimuksen sisältämiä tietoja hyödynnettiin eri turvekerroksen hajoamisnopeuden arvioinnissa ja siten päästöjen kohdentamiseen eri turvekerroksille (taulukko 5). Samoin kuin peruslähestymistavassa, myös tässä turpeen hajoamisesta aiheutuvia CO₂-päästöjä tarkasteltiin sadan vuoden ajan turpeen nostosta.

2.12.2024

Taulukko 5. Turvekerroksen sisältämän hiilen pysyvyys (Pakarinen ym., 1977).

Turvekerroksen syvyys, cm	Turvekerroksen ikä, vuotta	Hiilestä jäljellä, %	Hiiltä jäljellä, g/m ²
3	1	100 %	127,5
4	2	93 %	118,4
5	3	86 %	109,4
6	4	79 %	100,3
7	5	72 %	91,3
8	6	64 %	82,2
9	7	57 %	73,1
10	8	50 %	64,1
11–36	9–75	43 %	55,0
37–50	76–154	27 %	35,0

Kasvuturpeen CO₂-nettopäästöt laskettiin laskemalla yhteen korjuualueen päästöt, korjuukoneiden ja kuljetuksen aiheuttamat päästöt sekä kasvuturpeen hajoamisen aiheuttamat päästöt, ja vähentämällä saadusta summasta referenssitilanteen päästöt.

Kasvualustan keskimääräiseksi käyttöiäksi oletettiin yksi vuosi, minkä jälkeen käytöstä poistettua kasvualustaa kompostoidaan 6 kuukautta. Kompostointivaiheessa oletettiin, että ilmakehään vapautuu 95 g CO₂-ekv./kg käytettyä kasvualustaa (Myllymaa ym., 2008).

Yasso20-mallilla (Viskari ym., 2022) arvioitiin käytettyjen kasvualustojen hajoamisen aiheuttaman hiilen vapautumista. Sademääräksi oletettiin 600 mm/vuosi ja keskilämpötilaksi 8°C. Käytetyn kasvualustan hiilisyöte jaettiin neljään yhdisteryhmään (AWEN) sen mukaan, ovatko ne liukenemattomia (N), liukenevatko ne etanoliin (E), veteen (W) tai happoon (A). AWEN-fraktioiden määrittelyssä käytettiin neljää kasvualustanäytettä, joista kaksi oli rahkasammalesta ja kaksi turpeesta valmistettua (taulukko 6). Kasvualustojen hajoamisessa huomioitiin 100 vuoden aikana tapahtuvat CO₂-päästöt.

Taulukko 6. Kasvuturve- ja rahkasammalnäytteiden AWEN-fraktiot (%).

Kasvualustamateriaali	E	W	A	N
Kasvuturve, näyte 1	1	5	59	35
Kasvuturve, näyte 2	2	4	59	35
Rahkasammal, näyte 1	1	6	78	15
Rahkasammal, näyte 2	1	7	77	15

2.12.2024

3.4.3 Tulokset

Rahkasammalen korjuun ja kasvualustakäytön aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt vaihtelevat huomattavasti riippuen korjuualueen päästöistä (Myllyviita ym., 2024b). Kun rahkasammalen uudelleenkasvu varmistetaan, sitoo korjuualue tehokkaasti hiiltä. Korjuualueen sitoman hiilen määrä on parhaimmillaan niin suuri, että se voi jopa kompensoida korjuutyön ja kuljetuksen aiheuttamat päästöt sekä käytöstä poistetun kasvualustan sisältämän hiilen vapautumisen. Rahkasammalesta valmistetun kasvualustan hiilijalanjälki olisi tällöin negatiivinen ($-37,7 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./m}^3$ rahkasammalta märältä turvemaalta; taulukko 7). Ilman rahkasammalen uudistamista on rahkasammalkasvualustan hiilijalanjälki märältä turvemaalta korjattuna keskimäärin $41,3 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./m}^3$. Märältä turvemaalta korjattaessa korjuualueen valtaavat tupasvillat, jotka lisäävät alueen CH_4 -päästöjä, mutta jotka sitovat tehokkaasti hiiltä (kuva 2). Jos rahkasammalta korjataan kuivalta turvemaalta, eikä rahkasammalen uudelleenkasvua varmisteta, on tuotetun kasvualustan hiilijalanjälki lähes yhtä suuri kuin kasvuturpeen eli $159,2 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./m}^3$. Kuivalta turvemaalta korjattaessa rahkasammal ei tyypillisesti toivu ilman toimenpiteitä, vaan korjuualueen valtaavat varvut, joiden hiilensidonta on vähäisempää. Kun rahkasammalen uudelleenkasvu varmistetaan, on kuivalta turvemaalta korjatun rahkasammalen hiilijalanjälki selvästi pienempi (keskimäärin $32,4 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./m}^3$).



Kuva 2. Liminganneva 7 vuotta rahkasammalen korjuun jälkeen (kuva: Anna Laine-Petäjäkangas)

Rahkasammalen viljely metsäojitetuilla turvemailla oli ilmastovaikutuksiltaan parempi vaihtoehto kuin viljely entisillä turpeentuotantoalueilla (Myllyviita ym., 2024c). Metsäojitetulla suolla viljellyn rahkasammalen hiilijalanjälki oli $2,4 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./m}^3$, kun puolestaan entisellä turpeentuotantoalueella viljellyn rahkasammalen hiilijalanjälki oli $23,0 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./m}^3$. Molempien hiilijalanjälki on siten huomattavasti pienempi kuin kasvuturpeen.

2.12.2024

Taulukko 7. Rahkasammalesta valmistetun kasvualustan ilmastovaikutukset (kg CO₂-ekv./m³).

	Kuiva turvema, ei sammalen uudistumista	Märkä turvema, ei sammalen uudistumista	Kuiva turvema, sammalen uudistaminen	Märkä turvema, sammalen uudistaminen	Rahkasammalen viljely, entinen turpeentuotanto alue	Rahka- sammalen viljely, metsä- ojitettu suo
Yhteensä	159,2	41,3	32,4	-37,7	23,0	2,4
Korjuun jälkeinen CO₂ - tase	21,2	-45	-126,1	-126,1	-5,3	-6,2
Korjuualueen CH₄ -päästöt	16,7	44,2	48,2	48,2	15,7	6,1
Korjuualueen N₂O -päästöt	2,8	2,8	2,8	2,8	0,6	6,5
Referenssimaa nkäytön CO₂ - tase	-54,0	-53,7	17,5	17,3	-3,7	5,3
Referenssimaa nkäytön CH₄	7,8	14,2	7,8	14,2	0,0	0,5
Referenssimaa nkäytön N₂O	3,0	3,0	3,0	3,0	0,2	6,5
Korjuu ja kuljetus	8.2					
Kompostointi ja kasvialustan hajoaminen	81.8				-	

Eri laskentatavat vaikuttavat kasvuturpeen hiilijalanjäljen suuruuteen. Kasvuturpeen hiilijalanjälki oli jonkin verran pienempi, kun laskennassa huomioitiin kasvuturpeen erot polttoturpeeseen nähden (taulukko 8). Kun laskennassa huomioitiin, että kasvuturve nostetaan läheltä turvemaan pintaa, jonka sisältä turve on epästabiilimpaa kuin syvemmissä kerroksissa sijaitseva polttoturve, on kasvuturpeen hiilijalanjälki 122,6 kg CO₂-ekv./m³. Kasvu- ja polttoturpeen eroavaisuudet huomioimatta jättäminen tuottaa hieman suuremman hiilijalanjäljen, 152,2 CO₂-ekv./m³.

Taulukko 8. Kasvuturpeen elinkaariset kasvihuonekaasupäästöt (kg CO₂-ekv./m³).

	Kasvuturve (perustapa)	Kasvuturve (turvekerroksiin perustuva lähestymistapa)
Kaikki päästöt yhteensä	152,2	122,6
Korjuun jälkeinen NEE	28,9	20,2
Korjuualueen CH₄ päästöt		1,4
Korjuualueen N₂O päästöt		0,6
Referenssimaa nkäytön NEE	20,2	44,7
Referenssimaa nkäytön CH₄		0,6
Referenssimaa nkäytön N₂O		2,2
Korjuu ja kuljetus		4,1
Kompostointi ja kasvialustan hajoaminen		138,7

2.12.2024

Korjuukohteen kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi rahkasammalesta valmistetun kasvualustan hajoaminen on merkittävä CO₂ -päästöjen lähde (81,8 kg CO₂-ekv./m³). Tällä ei kuitenkaan ole merkitystä eri rahkasammalen korjuuvaihtoehtojen vertailussa sillä hajoaminen ei eroa eri tuotantotavoissa. Kasvuturpeen sisältämä hiili oli kuitenkin hieman stabiilimpaa kuin rahkasammalen sisältä hiili ja lisäksi kuutiometrissä kasvuturvetta on selvästi enemmän hiiltä kuin kuutiometrissä rahkasammalta, minkä takia kasvualusturpeen sisältämän hiilen hajoaminen aiheuttaa suuremmat päästöt (138,7 kg CO₂-ekv./m³) kuin rahkasammalkasvualustan hajoamisen päästöt 81,8 kg CO₂-ekv./m³.

Korjuun ja kuljetuksen aiheuttamat päästöt osoittautuivat tässä tutkimuksessa kasvualustojen muihin päästölähteisiin nähden vähemmän merkittäviksi.

3.4.4 Johtopäätökset ja suositukset

Tulosten perusteella rahkasammalesta valmistetun kasvualustan ilmastovaikutukset riippuvat siitä, minkälaiselta turvemaalta rahkasammalta korjataan ja varmistetaanko rahkasammalen elpyminen korjuun jälkeen. Optimaalisimmassa skenaariossa, jossa rahkasammalta kerätään märältä turvemaalta, ja rahkasammalen uudelleenkasvu varmistetaan, on tuotetun kasvualustan hiilijalanjälki negatiivinen, eli rahkasammalen käytön myötä hiilidioksidia sidotaan pois ilmakehästä enemmän kuin sitä päästetään ilmakehään. Pahimmassa tapauksessa, jossa rahkasammal korjataan kuivalta turvemaalta, eikä rahkasammalen uudelleenkasvua varmisteta, on rahkasammalesta valmistetun kasvualustan hiilijalanjälki jopa hieman suurempi kuin turpeesta valmistetun kasvualustan. Tässä tapauksessa rahkasammalen käyttö kasvuturpeen sijaan kasvattaa nettopäästöjä.

Rahkasammalen viljely entisillä turpeentuotantoalueilla ja metsäojitetuilla soilla osoittautuivat selvästi kasvuturpeen nostoa paremmiksi vaihtoehtoiksi ilmastomuutoksen näkökulmasta. Rahkasammalviljelmien päästöistä ei kuitenkaan ole pitkän aikavälin tutkimuksia, joten tässä tutkimuksessa hyödynnettiin kansainvälisissä tieteellisissä julkaisuissa hyödynnettyjä päästöarvioita, jotka eivät välttämättä täysin vastaa Suomen olosuhteita.

Rahkasammalen viljely metsäojitetuilla soilla osoittautui entisillä turpeentuotantoalueilla tapahtuvaa viljelyä paremmaksi tavaksi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Metsäojitetuilla soilla rahkasammalviljelmän päästöt olivat referenssimääränsä päästöjä pienemmät, eli rahkasammalviljelmät voisivat tuottaa päästövähennyksiä. Koska Suomessa on paljon metsäojitettuja soita, joissa metsän kasvu on jäänyt heikoksi, olisi näiden alueiden muuttaminen rahkasammalviljelmiksi tehokas keino paitsi vähentää Suomen kasvihuonekaasupäästöjä, myös tuottaa uusiutuvasta materiaalista valmistettuja kasvualustoja.

Rahkasammalen korjuu on ilmaston kannalta kestävä ainoastaan, jos rahkasammalen uudelleenkasvu varmistetaan. Märältä turvemaalta korjatun rahkasammalen hiilijalanjälki on paljon pienempi kuin kasvuturpeen ilman rahkasammalen uudistamistakin, mutta korjuualueen valtaavat erityisesti tupasvillat ja sarat, joten on epätodennäköistä, että alueelta voidaan korjata uudestaan rahkasammalta lähitulevaisuudessa. Rahkasammalen uusiutumisen epävarmuuden vuoksi on tärkeää varmistaa sen palautuminen säätämällä vedenpinta rahkasammalelle suotuisaksi ja huolehtimalla elinkelpoisen

2.12.2024

raahasammalen levittämisestä korjuupinnoille, esimerkiksi hyödyntämällä osaa korjatusta raahasammalesta tai muita sopivia menetelmiä. Raahasammalen elpymistä voidaan edesauttaa jättämällä osa raahasammalesta korjaamatta. Raahasammalen uudistumisen toimivuus edellyttää kuitenkin yhä tutkimusta ja seurantaa. Raahasammalen viljely entisillä turpeentuotantoaleilla tai metsäojitetuilla voi tällöin mahdollistaa ilmastonäkökulmasta kestävän kasvualustamateriaalin tuotannon.

Viitteet

- Aro, L. & Kaunisto, S. 2003. Jatkolannoituksen ja kasvatustiheyden vaikutus nuorten mäntymetsiköiden ravinnetilaan sekä puuston ja juuriston kehitykseen paksuturpeisella suonpohjalla. *Suo* 54(2), 49–68. <http://suo.fi/article/9826>
- Clark, L., Strachan, I. B., Strack, M., Roulet, N. T., Knorr, K.-H. & Teickner, H. 2023. Duration of extraction determines CO₂ and CH₄ emissions from an actively extracted peatland in eastern Quebec, Canada. *Biogeosciences* 20 737–751. <https://doi.org/10.5194/bg-20-737-2023>
- Daun, C., Huth, V., Gaudig, G., Günther, A., Krebs, M. & Jurasinski, G. 2023. Full-cycle greenhouse gas balance of a Sphagnum paludiculture site on former bog grassland in Germany. *Science of The Total Environment* 877 162943. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162943>
- Gaudig, G., et al. 2017. Sphagnum farming from species selection to the production of growing media: a review. *20(13)*, 130. <http://www.doi.org/10.19189/MaP.2018.OMB.340>
- Grönroos, J., Seppälä, J., Koskela, S., Kilpeläinen, A., Leskinen, P., Holma, A. & Martikainen, P. J. 2013. Life-cycle climate impacts of peat fuel: Calculation methods and methodological challenges. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 567–576. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0512-x>
- Hagberg, L. & Holmgren, K. 2008. The climate impact of future energy peat production. IVL raportti. 57 s.
- Höper, H., Augustin, J., Cagampan, J.P., Drösler, M., Lundin, L., Moors, E.J., Vasander, H., Waddington, J.M., & Wilson, D. 2008. Restoration of peatlands and greenhouse gas balances. In M. Strack (Ed.), *Peatlands and Climate Change* (pp. 182–210). International Peat Society. <https://edepot.wur.nl/39508>
- Laatikainen, A. 2023. Metsäojitetettujen soiden ennallistaminen raahasammalten kasvatustimenetelmänä. Master thesis, University of Eastern Finland. <https://erepo.uef.fi/handle/123456789/8272/browse?type=author&value=Laatikainen%2C+Amanda>
- Lehtoranta, S., Johansson, A., Myllyviita, T., Grönroos, J. & Manni, K. 2021. Turvetta korvaavien kuivikemateriaalien ilmastovaikutukset. Suomen ympäristökeskus. <https://helda.helsinki.fi/items/3ec407d1-b888-4c48-a88a-361f7afcad4c>
- Jauhiainen, J., Heikkinen, J., Clarke, N., He, H., Dalsgaard, L., Minkkinen, K., Ojanen, P., Vesterdal, L., Alm, J., Butlers, A., Callesen, I., Jordan, S., Lohila, A., Mander, Ü., Óskarsson, H., Sigurdsson, B. D., Søgaard, G., Soosaar, K., Kasimir, Å. & Laiho, R. 2023. Reviews and syntheses: Greenhouse gas emissions from drained organic forest soils – synthesizing data for site-specific emission factors for boreal and cool temperate regions. *Biogeosciences* 20(23), 4819–4839. <https://doi.org/10.5194/bg-20-4819-2023>
- Jassey, V.E.J. & Signarbieux, C. 2019. Effects of climate warming on Sphagnum photosynthesis in peatlands depend on peat moisture and species-specific anatomical traits. *Global Change Biology* 25(11), 3859–3870. <https://doi.org/10.1111/gcb.14788>

2.12.2024

- Järveoja, J., Nilsson, M.B., Gažovič, M., et al. 2018. Partitioning of the net CO₂ exchange using an automated chamber system reveals plant phenology as key control of production and respiration fluxes in a boreal peatland. *Global Change Biology* 24, 3436–3451. <https://doi.org/10.1111/gcb.14292>
- Myllymaa, T., Moliis, K., Tohka, A., Rantanen, P., Ollikainen, M. & Dahlbo, H. 2008. Jätteen kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28, SYKE, 82 s.
- Myllyviita^a, T., Grönroos, J., Mattila, T., Lång, K. 2024. Climate change mitigation potential of paludiculture in Finland: greenhouse gas emissions of abandoned organic croplands and peat substitution. *Carbon Management* 15 (1), 2365903
- Myllyviita^b, T., Karjalainen, S., Anttila, J., Grönroos, J., Turunen, J., Lehtoranta, S., Laine, A.M. 2024. Life-cycle analysis of greenhouse gas emissions of *Sphagnum* moss harvesting and use – comparison to horticultural peat and effects of fast *Sphagnum* recovery. Julkaisematon käsikirjoitus
- Myllyviita^c, T., Laine, A.M., Grönroos, J., Anttila, J., Lehtoranta, S., Karjalainen, S., Turunen, J. 2024. Could *Sphagnum* moss farming on cut-over and forestry drained peatland provide greenhouse gas emissions savings? Vertaisarvioinnissa.
- Oestmann, J., Tiemeyer, B., Düvel, D. et al. 2022. Greenhouse gas balance of *Sphagnum* farming on highly decomposed peat at former peat extraction sites. *Ecosystems* 25, 350–371. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00659-z>
- Pakarinen, P., & Tolonen, K. 1977. On the growth rate and dating of surface peat (Pintaturpeen kasvunopeudesta ja ajoittamisesta, in Finnish with English summary). *Suo*, 28(1), 19-24.
- Ojanen, P., Minkkinen, K. & Regina, K. 2020. Ojituksen vaikutus maaperän kasvihuonekaasupäästöihin. <https://www.suoseura.fi/ojitettujen-soiden-kestava-kaytto/ojituksen-vaikutus-maaperan-kasvihuonekaasupaastoihin/>
- Pouliot, R., Hugron, S. & Rochefort, L. 2015. *Sphagnum* farming: A long term study on producing peat moss biomass sustainably. *Ecological Engineering* 74, 1. <https://doi.org/10.1139/b05-02510.1016/j.ecoleng.2014.10.007>
- Punkka, E. 2019. Rahkasammalen keruun ilmastovaikutukset, Master's Thesis. Faculty of Agriculture and Forestry, Department of Forest Sciences, 44 p.
- Seppälä, J., Grönroos, J., Koskela, S., Holma, A., Leskinen, P. J. & Liski, J. 2010. Climate impacts of peat fuel utilization chains—a critical review of the Finnish and Swedish life cycle assessments. 69 s. <http://hdl.handle.net/10138/37984>
- Viskari, T., Pusa, J., Fer, I., Repo, A., Vira, J. & Liski, J. 2022. Calibrating the soil organic carbon model Yasso20 with multiple datasets. *Geoscientific Model Development* 15, 1735–1752. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-1735-2022>
- Wilson, D. & Blain, D., Couwenberg, J., Evans, C., Murdiyarso, D., Page, S., Renou-Wilson, F., Rieley, J., Sirin, A., Strack, M. & Tuittila, E.-S. 2016. Greenhouse gas emission factors associated with rewetting of organic soils. *Mires and Peat* 17, 1-28. <http://mires-and-peat.net/pages/volumes/map17/map1704.php>

2.12.2024

3.5 TP5. Potentiaalisten rahkasammalen korjuusoiden määrän ja sijainnin kartoitus

Maija Lampela, Oona Allonen, Janne Kivilompolo, Anna Laine Petäjäkangas, Jukka Turunen, GTK

3.5.1 Johdanto

Työpaketin (TP5) tavoitteena oli yhdessä sidosryhmien kanssa määrittää rahkasammalen korjuuseen soveltuvien soiden kriteerit, kartoittaa potentiaalisten rahkasammalen korjuuseen soveltuvien soiden määrää ja sijainti paikkatietoanalyysin avulla sekä tarkastella kriteerien raja-arvojen vaihtelun vaikutusta. Tulokset on tarkoitettu julkaista tieteellisenä artikkelina sekä avoimesti katseltavana ja ladattavana GTK:n paikkatietoaineistona.

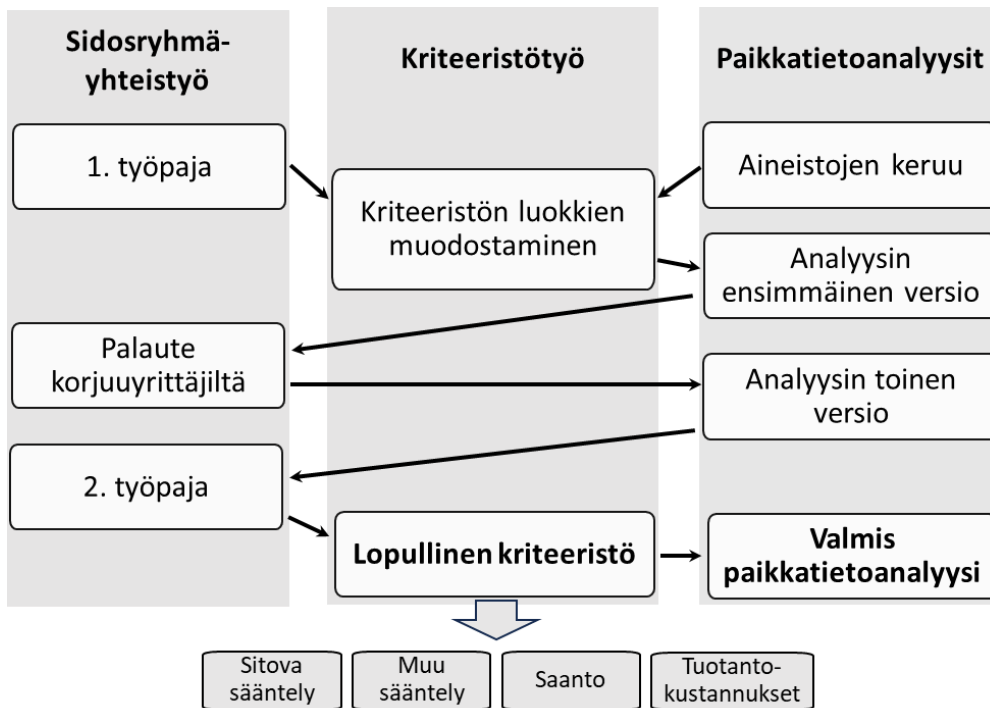
Työpaketin toteuttajien (GTK) lisäksi mukana oli eri sidosryhmien edustajia, jotka osallistuivat kriteeristön laatimiseksi järjestettyihin työpajoihin. Tavoittamiimme sidosryhmiin kuului tutkijoita, ympäristöjärjestöjen ja hallinnon edustajia sekä alan toimijoita: Itä-Suomen Yliopisto, Luonnonvarakeskus, Suomen ympäristökeskus, Suomen luonnonsuojeluliitto, Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus, Ympäristöministeriö, Maa- ja metsätalousministeriö, Bioenergia ry, Ecomoss oy ja Neova oy.

3.5.2 Menetelmät ja aineisto

Rahkasammalen korjuuseen soveltuvien soiden kriteeristön muodostamisen lähtökohtana oli ”Rahkasammalen korjuun ympäristövaikutukset” – yhteistyöryhmän loppuraportti (Ympäristöministeriö 2022), jossa määritettiin tiedon tarpeet ja reunaehdot. Kriteeristön laatimiseksi järjestettiin kaksi työpajaa sidosryhmille: marraskuussa 2022 ja huhtikuussa 2024 (kuva 1). Ensimmäisessä työpajassa saatujen tietojen ja keskustelujen pohjalta muodostettiin kriteerit, joita käytettiin potentiaalisten rahkasammalen korjuukohteiden määrää ja sijaintia selvittävän paikkatietoanalyysin lähtökohtana. Analyysi rajattiin vapaasti saatavilla oleviin paikkatietoaineistoihin. Kriteeristö jaettiin neljään luokkaan: 1) sitova sääntely, 2) muu sääntely, 3) rahkasammalen saanto ja 4) tuotantokustannukset.

Ensimmäinen versio tuloksista esiteltiin korjuuta tekevien yritysten korjuusuunnittelijoille, jotka arvioivat kohteiden korjuukelpoisuutta saannon ja tuotantokustannusten näkökulmasta. Palautteen perusteella näiden kriteeriluokkien joihinkin kriteereihin tehtiin muutoksia. Toisessa työpajassa sidosryhmillä oli vielä mahdollisuus vaikuttaa kriteereihin. Työpajan jälkeen kriteeristö vahvistettiin ja paikkatietoanalyysistä tehtiin lopullinen versio.

2.12.2024



Kuva 1. Rahkasammalen korjuun kriteeristötyön ja paikkatietoanalyysin työn kulku.

3.5.2.1 Kriteeristön luokat

Sitova sääntely ja luonnontilaisuusluokitus. Tässä luokassa huomioitiin valtion ja yksityiset suojelualueet, Natura 2000 -alueet, erämaa-alueet ja pohjavesialueet, metsälain erityisen tärkeät elinympäristöt, Museoviraston kulttuuriympäristöjen suojelukohteet ja avoimet lähteet (taulukko 1).

Suomen suostrategian (Valtioneuvosto 2012) ohjeistuksen mukaan soiden luonnontilaa muuttavat maankäyttömuodot tulisi ohjata jo käytössä oleville ja luonnontilaltaan muuttuneille alueille. GTK on määrittänyt kaikille Suomen yli 5 hehtaarin kokoisille soille suuntaa antavan luonnontilaisuusluokan asteikolla 0–5 (Toivonen ym., 2022), jossa luokka 0 on kokonaan muuttunut ja luokka 5 luonnontilainen. Paikkatietoanalyysissa käytettiin luonnontilaisuusluokkia 0–2.

Muu sääntely. Muista arvokkaista alueista otettiin huomioon Soidensuojelun täydennysehdotuksen vielä suojelemattomat kohteet (Aapala ym., 2021).

Jotta rahkasammalen korjuu kohdentuisi suoaltaan ojitettuihin osiin, analyysi rajattiin ojan läheisyyteen. Ojan etäisyyden huomioivan bufferin kooksi harkittiin kahta vaihtoehtoa, 50 ja 100 metrin etäisyyttä ojista. 50 m:n etäisyyttä on aiemmin käytetty ojan keskimääräisen vaikutusalueen rajaamiseen (Sallinen ym., 2019).

Saanto. Rahkasammalen peittävyttä haluttiin tarkastella suon ravinteisuuden kautta. Koska soiden ravinteisuudesta ei ole kohdekohtaiseen tarkasteluun sopivaa maankattavaa paikkatietoaineistoa, käytimme lopulta vähäistä puuston tilavuutta kertomaan epäsuorasti ojitetun alueen

2.12.2024

vähäravinteisuudesta ja mahdollisesta rahkasammalen korkeasta peittävydestä. Puustoaineistona käytettiin Luken VMI:n koko puuston tilavuutta vuosina 2015 ja 2021 niin, että pystyttiin vertaamaan puuston määrää näinä kahtena vuotena ja rajaamaan mahdolliset hakkuista johtuvat vähäpuustoiset tai puuttomat alat pois. Analyysiin valittiin vähäpuustoisuuden rajaksi kolme vaihtoehtoa: ≤ 10 , ≤ 30 ja ≤ 50 m³/ha.

Tässä luokassa rajasimme pois myös soiden rajausaineistossa mukana olleet maatalousmaat ja turvetuotantoalueet.

Tuotantokustannukset. Otimme huomioon tässä luokassa tuotantokustannuksiin paikallisesti vaikuttavat tekijät, eli etäisyyden tiehen ja korjuualueen koon. Tuotantolaitosten läheisyys jätettiin analyysin ulkopuolelle. Korjuualueen minimikoon rajaamisessa vaikutti koon lisäksi alueen läheisyys toisiin korjuualueisiin niin, että lähekkäiset kuviot voivat olla pienempiä kuin toisistaan kaukana olevat kuviot.

3.5.2.2 Paikkatietoanalyysin kulku

Paikkatietoanalyysi tehtiin ArcGIS Pro 3.2.2. ohjelmistolla. Analyysin ensimmäisen version (kuva 1) lähtökohtana oli vektorimuotoinen polygonidata luonnon tilaluokista 0–5 (Toivonen ym., 2022). Tarkasteluun valittiin luonnon tilaluokat 0–2, joista poistettiin muut ”sitova sääntely” -luokan kohteet. Seuraavaksi poistettiin ”muu sääntely” -luokan kohteista Soidensuojelun täydennysehdotuksen kohteet. Alueet rajattiin 50 m:n etäisyydelle ojista 50 m:n ojabufferin avulla. Jäljelle jäävästä alueesta poistettiin ”saanto” -luokan kohteista maatalousmaat ja turvetuotantoalueet. ”Saanto” -luokassa huomioitiin myös puuston tilavuusrastereista vuosilta 2021 ja 2015 ne alueet, joissa puuston tilavuus oli molempina vuosina ≤ 30 m³/ha. Rasterimuotoinen aineisto muutettiin vektorimuotoon ja sen avulla rajattiin pois ne alueet, joissa puuston tilavuus oli suurempi kuin 30 m³/ha. ”Tuotantokustannukset” -luokan kriteerit huomioitiin poistamalla alueet, jotka olivat liian pieniä tai kaukana tiestöstä. Polygonit, joilla oli yhteinen piste (reuna, kulma) yhdistettiin ja sulautettiin samaksi kuvioksi, ja näille kuvioille laskettiin pinta-ala. Alle 0,5 ha kohteet poistettiin. Aggregate polygons -työkalun avulla tunnistettiin lähekkäin olevat riittävän suuret alueet (aggregation distance 700 m, minimum size 6 ha, minimum hole size 0,5 ha) ja pois rajattiin tämän ulkopuolelle jäävät, yksittäin liian pienet, 0,5–5 ha kokoiset alueet. Lopulta kunkin alueen reunasta laskettiin etäisyys tiehen, ja mukaan valittiin vain ne kohteet, jotka sijaitsivat 500 m:n säteellä tiestä.

Lopullisessa paikkatietoanalyysissä (kuva 1) parametrejä muutettiin vielä niin, että ojitus huomioitiin 100 m:n bufferilla, yksittäin esiintyvien alueiden minimikokoa nostettiin 2 hehtaariin ja minimietäisyys tiehen lyhennettiin 300 metriin.

3.5.2.3 Palaute korjuuyrittäjiltä

Sidosryhmäyhteistyön myötä syntyi ajatus testata paikkatietoanalyysin tuloksia ennen lopullisen kriteeristön muodostamista. Maaliskuussa 2023 pyysimme kahdelta rahkasammalen korjuuta harjoittavalta yritykseltä arviota ensimmäisen paikkatietoanalyysin tuloksena rajattujen alueiden

2.12.2024

soveltuvuudesta korjuuseen (kuva 1). Lähetimme molempien yritysten korjuusta vastaaville henkilöille 30 kpl satunnaisotokset kahden kunnan alueelle sijoittuvista kuvioista (eri kuviot eri yhtiöille). Alueet valittiin Etelä-Pohjanmaan maakunnasta, jossa rahkasammalen korjuuta on harjoitettu jo useita vuosia ja alue on yrityksille tuttu. Pyysimme korjuuvastaavia arvioimaan kuvion soveltuvuutta rahkasammalen korjuuseen asteikolla 1–5 (1 ei lainkaan sopiva – 5 täysin sopiva) ja antamaan tarvittaessa sanallista palautetta. Työ tehtiin ilman maastokäyntejä, ja ohjeistimme korjuuvastaavat käyttämään kaikkia niitä työkaluja ja aineistoja, joita he tavallisesti käyttävät korjuuta suunnitellessaan, mutta jättämään maanomistusolot huomiotta.

Alueet saivat eniten palautetta pienestä koosta. Lisäksi palautetta tuli kuvioiden etäisyydestä tiehen. Palautetta tuli myös liiasta puustoisuudesta, jonka perusteella joiltain kohteilta ei ollut odotettavissa rahkasammalsaantoa. Saadun palautteen perusteella alueen minimikoon rajausta muutettiin 2 hehtaariin (jos lähekkäin muiden alueiden kanssa) ja 5 hehtaariin (yksittäiset alueet) sekä tien maksimietäisyys laskettiin 500 metristä 300 metriin. Puuston osalta pitäydyttiin tilavuudessa $\leq 30 \text{ m}^3/\text{ha}$ eikä mahdollisia 10 ja $50 \text{ m}^3/\text{ha}$ raja-arvoja enää harkittu. Muuta palautetta tuli mm. alueiden muodosta: rajaamalla kuviot ojan läheisyyteen korjuukuvioista tuli ohuita ja suikalemaisista, joka ei vastaa tämän hetken käytännön toimintatapaa. 10 % alueista arvioitiin onnistuneiksi kohdevalinnoiksi arvosanalla 5. Kaikkien alueiden keskimääräinen arvosana oli 2,7. Niiden alueiden, jotka eivät saaneet palautetta kuvion pienestä koosta, tien etäisyydestä tai liiasta puustoisuudesta, keskimääräinen arvosana oli 3,6.

3.5.3 Tulokset

3.5.3.1 Kriteeristö

Sidosryhmille pidetyn ensimmäisen työpajan myötä tunnistettiin ja jaettiin neljään luokkaan ne kriteerit, jotka vaikuttavat rahkasammalen korjuun aluevalintaan (taulukko 1). Korjuuyrittäjiltä saatiin palautetta, jonka avulla teknistaloudellisia raja-arvoja muokattiin. Toisessa työpajassa saavutettiin tyydyttävä yhteisymmärrys kriteereistä, niiden raja-arvoista ja käytettävistä paikkatietoaineistoista.

3.5.3.2 Avoin paikkatietoaineisto ja pinta-ala arvio potentiaalisista rahkasammaleen korjuukohteista Suomessa

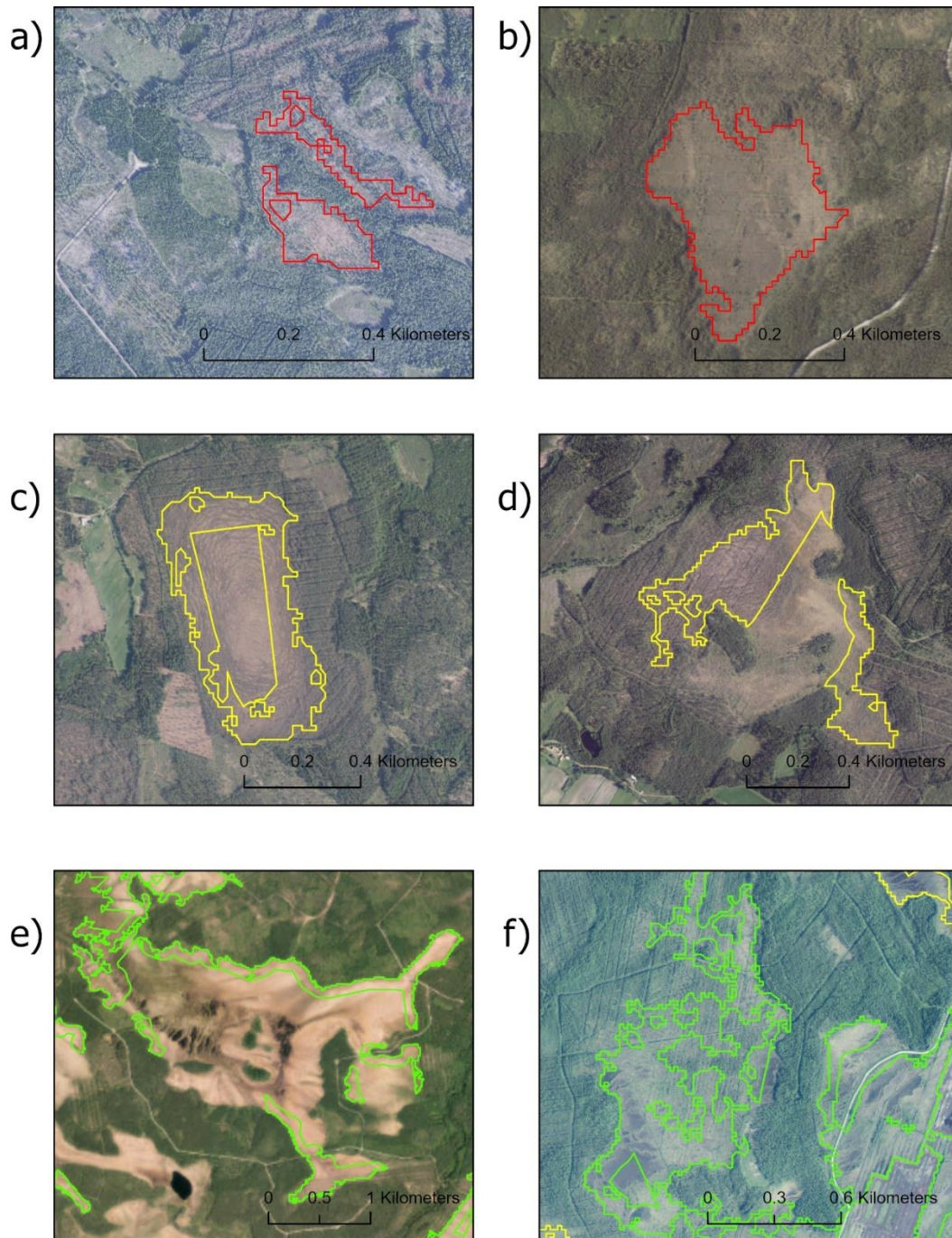
Edellä kuvatun kriteeristön pohjalta toteutettiin paikkatietanalyysi, jonka tuloksena saadut potentiaalisesti rahkasammalen korjuuseen soveltuvat kohteet julkaistaan avoimena paikkatietoaineistona GTK:n ”Suot ja turvemaat” - sekä ”Hakku”-palveluissa.

2.12.2024

Taulukko 1. Kohdevalinnan kriteerit jaoteltuna mukaan otettuihin ("ohjaava") ja poistettuihin ("poissulkeva") alueisiin, sekä kriteereissä käytetty paikkatietoaineisto. Kriteeriluokat ovat: 1. Sitova sääntely ja luonnontilaisuusluokat (maankäyttöä ohjaavat lait ja muu sitova sääntely), 2. Muu sääntely (muut hyvät käytänteet rahkasammalen korjuun maankäyttöä suunnitellessa), 3. Saanto (rahkasammalen kasvuun sopivien paikkojen tunnistaminen: ojitetun suon vähäpuustoisuus ravinteisuuden indikaattorina) sekä 4. Tuotantokustannukset (taloudellisesti toteuttamiskelpoisiksi arvioidut kohteet).

	Ohjaava	Poissulkeva	Käytetty aineisto
Sitova sääntely ja luonnontilaisuusluokat	Luonnontilaisuusluokat 0-2	Luonnontilaisuusluokat 3-5	Toivonen ym. 2022
		Valtion ja yksityiset suojelualueet	Syken metatietopalvelusta
		Natura 2000 -alueet	Syken metatietopalvelusta
		Erämaa-alueet	Syken metatietopalvelusta
		Metsälain erityisen tärkeät elinympäristöt	Metsäkeskuksen avoin metsä- ja luontotieto
		Pohjavesialueet (vedenhankinnalle tai elinympäristölle merkittävät pohjavesialueet: E, 1, I, 1E ja 2E)	Syken metatietopalvelusta
		Muinaismuistot (10 m suojavyöhyke)	Museoviraston kulttuuriympäristökohteet
		Avovetiset lähteet (30 m suojavyöhyke)	Maanmittauslaitoksen maastotietokanta
Muu sääntely	Ojien läheisyys (100 m)		Maanmittauslaitoksen maastotietokanta
		Soidensuojelun täydennysehdotus	Syken metatietopalvelusta
Saanto	Puuston tilavuus $\leq 30 \text{ m}^3/\text{ha}$	Puuston tilavuus $>30 \text{ m}^3/\text{ha}$	LUKE MVMI latauspalvelu
		Maatalousmaat	Maanmittauslaitoksen maastotietokanta
		Turvetuotantoalueet	Maanmittauslaitoksen maastotietokanta
Tuotanto-kustannukset	Etäisyys tiehen enintään 300 m, tieluokat 1-7		Väyläviraston Digiroad
	Alueen koko vähintään 2-5 ha		

2.12.2024



Kuva 2. Esimerkkejä lopulliseen paikkatietoanalyysiin valikoituneista suoaluerajauksista eri luonnontilaisuusluokissa. Luonnontilaisuusluokka 0: a) Mukana on kohteita, joilla rahkasammalen saanto ilman korjuuta edeltäviä toimia voi olla huono sekä b) kohteita, jotka voivat olla sellaisenaan korjattavissa. Luonnontilaisuusluokka 1: c) Mukana on kohteita, joilla on edelleen luonnontilaisen suon rakennepiirteitä, kuten keidassuon topografiaa sekä d) kohteita, jotka ovat muuttuneempia. Luonnontilaisuusluokka 2: e) Mukana on kohteita, joilla on luonnontilaisen suon rakennepiirteitä, kuten aapasuon keskiosan rimpi-jännemorfologiaa sekä f) muuttuneempia kohteita.

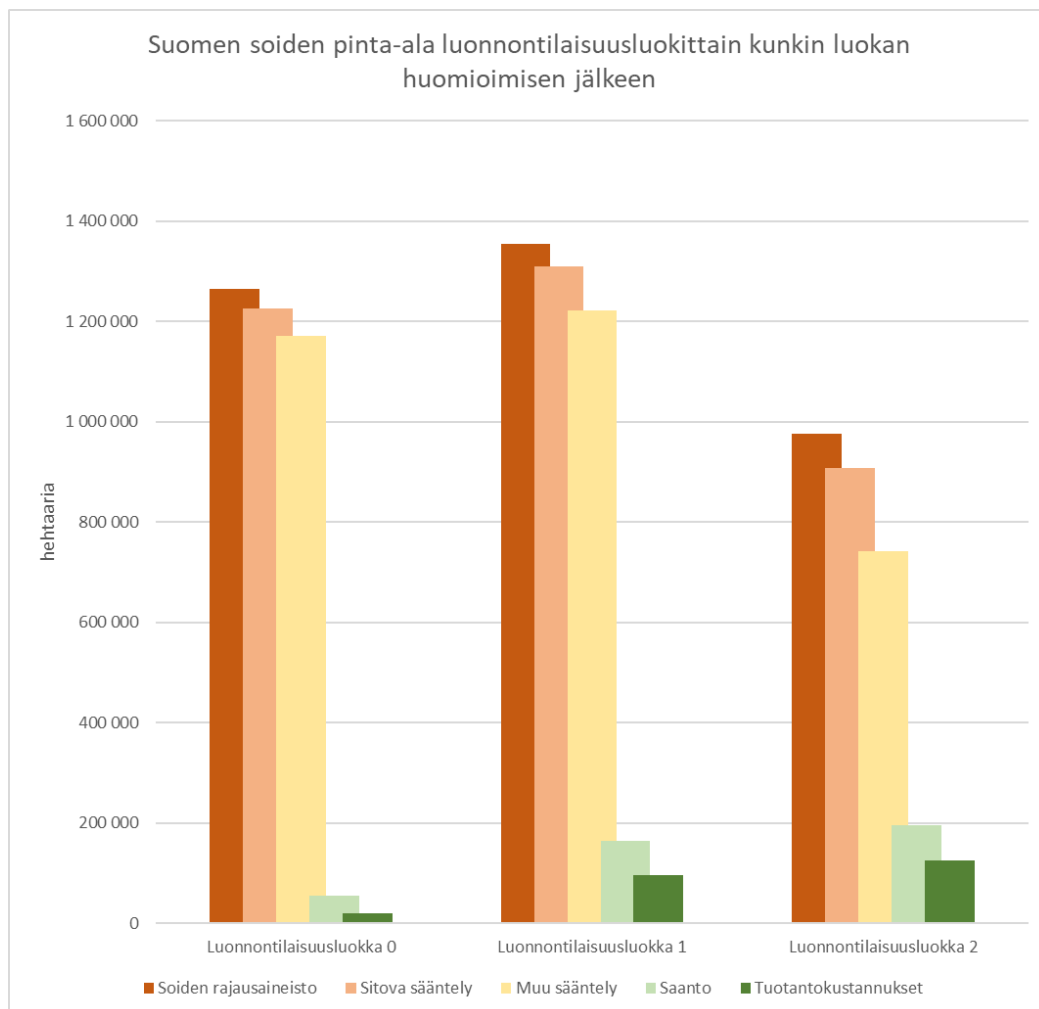
2.12.2024

Kriteeristön mukaan valikoituneita kohteita on Suomessa yhteensä n. 241 000 ha (taulukko 2). Eniten kohteita on luonnontilaisuusluokassa 2 ja vähiten luonnontilaisuusluokassa 0 (kuva 2). Lopulliseen pinta-alaan vaikuttaa eniten ”saanto” -luokka (kuva 3), erityisesti puuston tilavuus. Sitovan sääntelyn ja muun sääntelyn huomioiminen vaikuttaa pinta-alaan verrattain vähän, yhteensä 460 000 ha, kun taas saannon perusteella pois rajaavien kriteerien vaikutus on 2 720 000 ha.

Taulukko 2. Pinta-ala (ha) kunkin kriteeristön luokan huomioimisen jälkeen. Lopullinen pinta-ala eri luonnontilaisuusluokissa ja yhteensä

	Soiden rajausaineisto	Sitova sääntely	Muu sääntely	Saanto	Tuotanto- kustannukset
Luonnontilaisuusluokka 0	1 265 662	1 226 334	1 172 125	55 331	19 536
Luonnontilaisuusluokka 1	1 355 583	1 309 010	1 221 099	165 555	95 591
Luonnontilaisuusluokka 2	976 868	907 104	742 853	195 328	125 517
Yhteensä	3 598 113	3 442 448	3 136 077	416 213	240 644

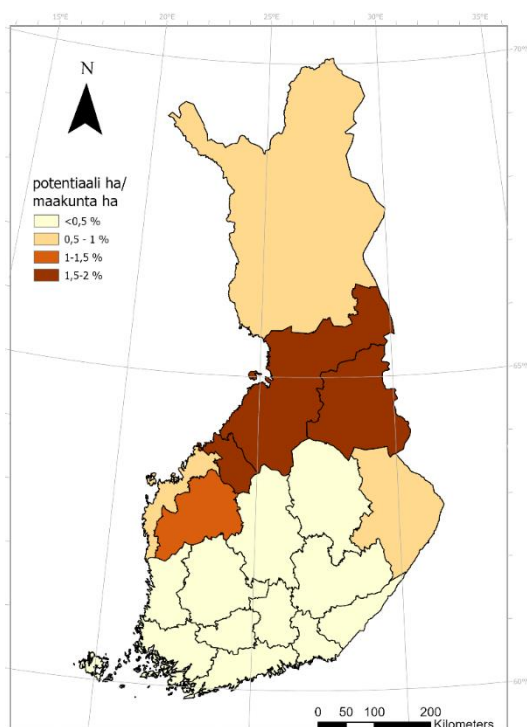
2.12.2024



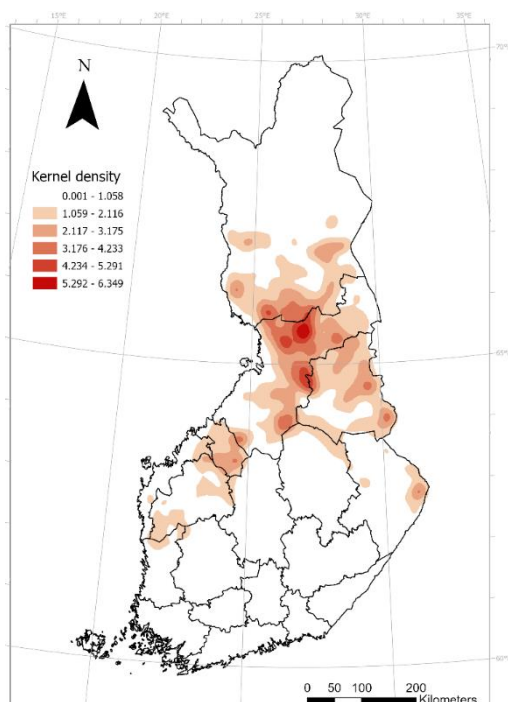
Kuva 3. Kriteeristön luokkien vaikutus muodostuvaan pinta-alaan luonnontilaisuusluokittain soiden rajasaineistosta saatuun alkutilanteeseen nähden. Suurin vaikutus on ”saanto” -luokalla. ”Tuotantokustannus” -luokan yhteenlaskettu pinta-ala vastaa paikkatietoanalyysin tuloksena saatua tulosta eri luonnontilaisuusluokissa (240 644 ha).

Rahkasammalen korjaamiseen potentiaalisia kohteita tunnistettiin ympäri Suomen, mutta selvimmin kohteet painottuvat Pohjois- ja Keski-Pohjanmaalle, Kainuuseen ja Lappiin, sekä länsirannikolle (kuva 4). Suurimpia keskittymiä potentiaalisten korjuukohteiden osalta ovat mm. Pudasjärven, Utajärven, Vaalan ja Ranuan kunnat (kuva 5).

2.12.2024



Kuva 4. Rahkasammalen korjuuseen soveltuva potentiaalinen pinta-ala (%) maakunnan kokonaispinta-alasta.



Kuva 5. Rahkasammalen potentiaalisten korjuukohteiden sijoittuminen Suomessa. Tummimmilla alueilla on eniten kuvioita ja pinta-alaa. Huomioi, että ”kernel density” -luvut eivät kuvaa todellista kuviomäärää tai pinta-alaa, vaan väritys kuvaa kuviomäärän ja -pinta-alan suhteellista määrää alueittain.

2.12.2024

3.5.3.3 Kriteerien raja-arvojen vaihtelun vaikutus pinta-alaan

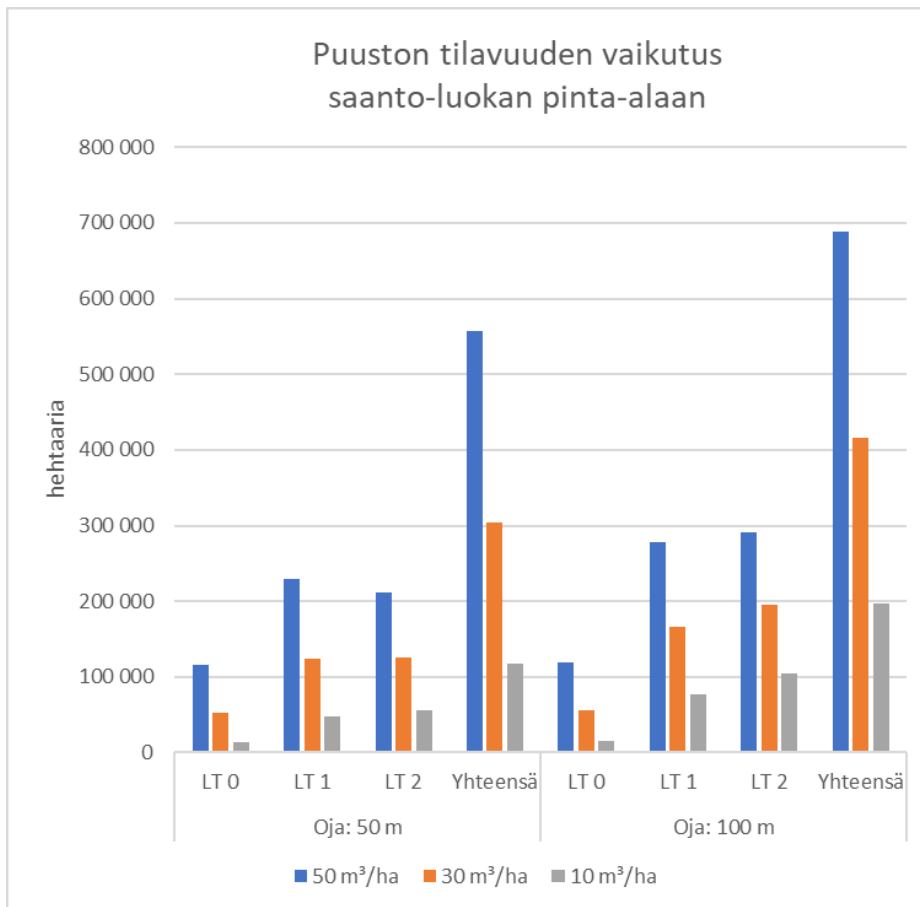
”Sitova sääntely” -luokan kriteerien vaikutusta pinta-alaan ei vertailtu, koska luonnontilaisuusluokitusta lukuun ottamatta näiden kriteerien katsottiin tulevan suoraan lainsäädännöstä, ja niistä oltiin työpajoissa yksimielisiä. Luonnontilaisuusluokitus sen sijaan herätti paljon keskustelua. Tässä työssä päädyttiin esittämään toiminnan suuntaamista luonnontilaisuusluokkiin 0–2. Esitämme tulokset erikseen luonnontilaluokittain 0–2, jotta on mahdollista vertailla erilaisten rajausten vaikutuksia (taulukko 2 ja kuva 3).

”Muu sääntely” -luokan osalta vertailtiin, kuinka paljon kohdevalintaa rajaavan ojabufferin suuruus (50 tai 100 m) vaikuttaa pinta-alaan. Vaikutus potentiaaliseen rahkasammalen korjuualueeseen oli n. 100 000 ha: 241 000 ha 100 m:n ojabufferilla ja 143 000 ha 50 m:n ojabufferilla.

”Saanto”-luokan kriteereistä puuston tilavuus oli merkittävimmin pinta-alaan vaikuttava tekijä (kuva 6). Perustuen GTK:n julkaisemattomiin mittauksiin rahkasammalen peittävyuden ja puuston hehtaartilavuuden suhteesta, päädyimme vertailemaan kolmea eri puuston tilavuutta hehtaarilla: ≤ 10 , ≤ 30 ja ≤ 50 m³/ha. Näistä päädyttiin valitsemaan lopulliseksi raja-arvoksi 30 m³/ha korjuuyrittäjiltä saadun palautteen perusteella ja aiemman tutkimuksen perusteella, jossa heikkotuottoisen ojituksen rajana on pidetty samaa 30 m³/ha (Laiho ym., 2016). Vertailu tehtiin ensin 50 m:n ojabufferilla, ja sitten 100 m:n ojabufferilla, mikä vaikutti pinta-aloihin (kuva 6). 100 m:n ojabufferilla ”Muu sääntely” -luokan pinta-alaa turvetuotantoalueiden ja maatalousmaan huomioimisen jälkeen on 2 903 000 ha. Tästä puuston huomioimisen jälkeen jäljelle jäävä pinta-ala on 688 000 ha ≤ 50 m³/ha raja-arvolla, 416 000 ha ≤ 30 m³/ha raja-arvolla ja vain 197 000 ha ≤ 10 m³/ha raja-arvolla. 50 m:n ojabufferilla muodostuvat pinta-alat ovat vastaavasti 557 000 ha ≤ 50 m³/ha raja-arvolla 303 800 ha ≤ 30 m³/ha raja-arvolla ja vain 118 000 ha ≤ 10 m³/ha raja-arvolla.

”Tuotantokustannukset”-luokan kriteereistä verrattiin tien etäisyyden vaikutusta lopulliseen pinta-alaan. Mikäli tien etäisyyttä ei huomioida, potentiaalista korjuu-alaa on 331 000 ha. Tästä 285 000 ha on sellaisia kuvioita, joiden reunasta on enintään 500 m tielle. Vastaavasti 300 m etäisyydellä on 241 000 ha ja 100 m etäisyydellä 143 000 ha.

2.12.2024



Kuva 6. ”Saanto”-luokan kriteereillä muodostuva pinta-ala eri puuston tilavuuksilla. Vasemmalla on tulokset esitetty 50 m:n ja oikealla 100 m:n ojabufferilla. Tulokset esitetty eri luonnontilaisuusluokissa (LT 0-2).

3.5.4 Toteutusvaiheen arviointi

Kerätessämme aineistoja paikkatietoanalyysiä varten jouduimme soveltamaan joitain itse määrittelemiämme tai sidosryhmäyhteistyön myötä esiin tulleita kriteerejä. Esimerkiksi, soiden ravinteisuutta kuvaavan paikkatietoaineistoa puuttuessa, päädyimme käyttämään puuston tilavuutta, joka kertoo epäsuorasti ravinteisuudesta ja rahkasammalen peittävydestä. Toisaalta jätimme analyysin ulkopuolelle uhanalaisen lajiston, suojellun lajiston, direktiivilajien ynnä muiden huomioitavien lajien esiintymät. Korjuutoimintaa suunniteltaessa ajantasainen lajitieto on selvitettävä ja huomioitava kohdekohtaisesti.

Vallitsevat maanomistusolot jätettiin myös huomiotta tässä tarkastelussa. Soiden käytössä on tärkeää ottaa huomioon hydrologiset kokonaisuudet, jotka eivät usein noudata maanomistuksen rajoja. Maanomistusolot voivat vaikuttaa merkittävästi toiminnan suunnitteluun ja toteutukseen, joten rahkasammalen korjuuta suunniteltaessa ne on huomioitava erikseen joka kohteella.

Tämän tarkastelun ehkä merkittävin puute on, ettei rahkasammalen uudistumispotentiaalia pystytty arvioimaan paikkatietoanalyysissä. Rahkasammalen korjuun kestävyys kannalta kasvuston

2.12.2024

uusiutuminen kohtuullisella aikavälillä (10–30 vuotta) on ensiarvoisen tärkeää.

Uusiutumispotentiaalista on kuitenkin saatu tutkimustietoa Suomessa vasta tämän projektin toisessa työpaketissa (TP2), eikä menetelmää uusiutumispotentiaalin selvittämiseksi koko maan mittakaavassa ole vielä käytössä.

3.5.5 Tulosten arviointi

3.5.5.1 Sidosryhmäyhteistyö

Geologian tutkimuskeskuksessa (GTK) tehty kriteeristötyö ja paikkatietoanalyysi toteutettiin tiiviissä yhteistyössä sidosryhmien kanssa. Kriteeristötyössä etenkin teknistaloudellisten sekä ympäristökriteerien huomioimisen osalta sidosryhmiä pyrittiin osallistamaan laajasti, jotta saavutettaisiin mahdollisimman laaja yhteisymmärrys paikkatietoanalyysiin valittavista kriteereistä.

3.5.5.2 Kriteeristö

Potentiaalisten rahkasammalen korjuusoiden määrän ja sijainnin kartoitus pohjautui Suomen suostrategiaan (Valtioneuvosto 2012) ja ”Rahkasammalen korjuun ympäristövaikutukset” – yhteistyöryhmän työhön. Kriteereistä sitovan sääntelyn, kuten suojelu- ja pohjavesialueiden, osalta saavutettiin laaja hyväksyntä, sillä nämä perustuvat lainsäädäntöön. Sen sijaan soiden luonnontilaisuusluokitus, erityisesti luokat 2 ja 3, herätti keskustelua. Osa sidosryhmistä halusi keskittää korjuun ojitetuille tai luonnontilansa menettäneille soille (luokat 0–1), kun taas toiset korostivat, että rahkasammalen saanto ja uusiutuminen onnistuvat parhaiten alueilla, joilla vesitalous on vähemmän muuttunut, mikä puoltaisi myös luokkien 2 ja 3 sisällyttämistä. Analyysissa kuitenkin noudatettiin suostrategian linjaa, ja korjuualueet rajattiin luonnontilaisuusluokkiin 0–2.

Suomen suostrategiassa soiden käyttöä tarkastellaan suoallastasolla, sillä turvetuotannon vaikutukset ovat haastavia rajata pienemmille alueille. Sammalenkorjuussa vastaavaa käytäntöä pidettiin kuitenkin ylimitoitettuna, sillä korjuualueet ovat pieniä, eikä toiminta vaadi lisäkuivatusta. Pikemminkin korjuun jälkeen on tärkeää varmistaa kohteen riittävä kosteus, jotta suokasvillisuus voi uusiutua. Toiminnan kohdentamiseksi soiden luonnontilaltaan jo muuttuneille osille, harkittiin ojitusbufferiksi 50 m, koska Sallisen ym. (2019) mukaan ojituksen kuivatusvaikutus on noin 50 m. Tämä rajausta kuitenkin tuotti kapeita ja rikkonaisia alueita, eikä kuvastanut sidosryhmien mukaan realistisia teknis-taloudellisia kriteerejä. Tämän seurauksena ojitusbufferia laajennettiin tarkastelussa 100 m ja lopullinen potentiaalisten rahkasammalen korjuukohteiden paikkatietoaineisto tuotettiin 100 m ojitusbufferilla. Muu sääntely -luokan kriteereissä huomioitiin lisäksi Soidensuojelun täydennysehdotus, jonka suojelemattomatkin kohteet rajattiin korjuupotentiaalin ulkopuolelle.

Rahkasammalen saanto osoittautui analyysin kannalta pinta-alan ja korjuurajauksiin olennaisesti vaikuttavaksi kriteeriluokaksi. Rahkasammalen saannon arvioimiseen ei kuitenkaan löytynyt aineistoa, joka olisi suoraan kuvannut rahkasammalen esiintymistä soilla. Sopivaa rahkasammalen saantoa pyrittiin kohdistamaan suon ravinteisuuden perusteella, mutta esimerkiksi GTK:n aineistot (GTK 2024) soiden ravinteisuudesta eivät sovellu kohdekohtaiseen tarkasteluun eikä kasvillisuudesta ole saatavissa kattavaa aineistoa. Sidosryhmien ehdotuksesta vajaan tuottoisten, ojitettujen suoalueiden

2.12.2024

vähäravinteisuuden ja siten rahkasammalsaannon arvioimiseen käytettiin valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) puuston tilavuusaineistoja.

3.5.5.3 Paikkatietoanalyysi ja pinta-ala-arvio

Paikkatietoanalyysin tuloksena saadut rahkasammalen korjuuseen potentiaalisesti soveltuvat alueet painottuvat Pohjanmaan maakuntiin ja Kainuuseen. Analyysin tuloksena saatu pinta-ala, 241 000 ha, on lähellä aiemmin esitettyä karkeaa arviota 280 000 ha (Silvan ym., 2019). Menetelmien eroavaisuuksista huolimatta näiden kahden tutkimuksen perustella voidaan arvioida, että noin 3 % Suomen suoalasta soveltuu rahkasammalen korjuuseen.

3.5.5.4 Johtopäätökset ja suositukset

Rahkasammalen korjuuseen soveltuva pinta-ala-arvio yhdessä kasvavan ilmasto- ja luontoystävällisten kasvualustojen kysynnän kanssa voi mahdollistaa rahkasammalen korjuun ja kasvatuksen kehittymisen merkittäväksi taloudelliseksi toiminnaksi Suomessa. Rahkasammalen korjuu ja tulevaisuudessa myös kasvatusta on kuitenkin toimialana vielä kehittymässä ja nykyiset pinta-alat pieniä. Ennen kuin toimintaa voidaan markkinoida ilmasto- ja luontoystävällisenä, on ratkaistava tutkimuksessa esiin nousseita ongelmia, kuten suokasvillisuuden uusiutumisen varmistaminen korjuukohteilla.

Paikkatietoanalyysin perusteella syntyneet laajennetun 100 m:n ojitusbufferin alueet ulottuvat pidemmälle vähemmän muuttuneille avoimille suoalueille, ja näin rajatut korjuualueet voivat heikentää luontoarvoja. Erityisesti Lapissa ja Pohjois-Pohjanmaalla luonnontilaisuusluokan 2 soille kohdentuvat laajat alueet reunaojien ympärillä voivat vaikuttaa myös suon keskiosan vesitalouteen. Näiden alueiden käyttö vaatii erityistä varovaisuutta, ja toiminta tulisi kohdentaa ensisijaisesti luontoarvoiltaan heikommille kohteille.

Jotkut tässä paikkatietoanalyysissä tunnistetut luonnontilaluokan 0–2 kohteet vaativat vesitalouden korjaamista ennen rahkasammalen korjuuta ja rahkasammalen tulevan kasvun varmistamiseksi. Tällainen käytäntö voisi toimia taloudellisena kannustimena vajaatuottoisten, ojitettujen soiden vettämiseen tulevaa rahkasammalen korjuuta varten.

Potentiaalisia korjuualueita tunnistettiin mm. Etelä-Pohjanmaalta, jossa on kasvualustateollisuutta sekä käynnissä olevaa korjuutoimintaa. Pudasjärvi, Utajärvi ja Vaala Pohjois-Pohjanmaalla voisivat olla luontevia paikkoja toiminnan laajentamiselle. On kuitenkin tärkeää huomata, että tässä tutkimuksessa tunnistetut alueet kertovat potentiaalista koko maan tasolla, eivätkä sovellu suoraan rahkasammalen korjuuseen. Ennen käytännön toteutusta tulee huomioida luonnonarvot, kuten suojellut lajit, arvioida rahkasammalen uusiutumisedellytykset sekä ottaa huomioon maanomistusolot ja muut korjuuseen vaikuttavat tekijät.

Kriteeristön ja paikkatietoanalyysin perusteella tuotettu pinta-ala-arvio on seurausta lukuisista valinnoista, jotka olisi voitu tehdä toisinkin. Uskomme kuitenkin, että tämä arvio kuvaa hyvin rahkasammalen korjuuseen soveltuvaa pinta-alaa Suomessa, ja se voi toimia apuna sääntelyn ja maankäytön suunnittelussa.

2.12.2024

Viitteet

- Aapala, K., Kartano, L., Määttä, A.-M. & Alanen, A. 2021. Soidensuojelun täydennysehdotus—Tilannekatsaus 2015–2020. Ympäristöministeriön julkaisu 2021:16. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-249-5>
- Laiho, R., Tuominen, S., Kojola, S., Penttilä, T., Saarinen, M. & Ihalainen, A. 2016. Heikkotuottoiset ojitetut suometsät – missä ja paljonko niitä on? Metsätieteen Aikakauskirja 2016(2). <https://doi.org/10.14214/ma.5957>
- Sallinen, A., Tuominen, S., Kumpula, T. & Tahvanainen, T. 2019. Undrained peatland areas disturbed by surrounding drainage: a large scale GIS analysis in Finland with a special focus on aapa mires. Mires and Peat 24: 38, 1–22. http://mires-and-peat.net/media/map24/map_24_38.pdf
- Toivonen, T., Herranen, T., Kivilompolo, J., Kujala, H., Laatikainen, M., Suomi, T., Turunen, J., Valo, O., & Vähäkuopus, T. 2022. GTK:n tutkimien soiden tutkimustilanne ja luonnontilaisuusluokitukset maakunnittain. Tutkimusraportti, 40/2022
- Valtioneuvosto 2012. Valtioneuvoston periaatepäätös soiden ja turvemaiden kestävästä ja vastuullisesta käytöstä ja suojelusta. https://mmm.fi/documents/1410837/1516663/mmm-119690-v5-suostrategia_valtioneuvoston_periaatepaatos_v4/005425e8-e3c4-497d-8cff-26f343896c37
- Ympäristöministeriö 2022. Rahkasammalen korjuun ympäristövaikutukset - yhteistyöryhmän loppuraportti. https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/bdefe868-d888-4b4f-8c86-e8820fa18cab/12e369cf-4fb0-47cb-aada-31b87f4dba7c/RAPORTTI_20220221110514.PDF
- Käytetyt paikkatietoaineistot:
- Suomen ympäristökeskus. Syken metatietopalvelu. ”Natura2000 alueet” <https://ckan.ymparisto.fi/fi/dataset/natura2000-alueet>
- Suomen ympäristökeskus. Syken metatietopalvelu. ”Luonnonsuojelu- ja erämaa-alueet” <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/luonnonsuojelu-ja-eramaa-alueet>
- Suomen ympäristökeskus. Syken metatietopalvelu. ”Pohjavesialueet” <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/pohjavesialueet>
- Suomen ympäristökeskus. Syken metatietopalvelu. ”Soidensuojelun täydennysehdotus ja valtionmaan toteutuneet kohteet” <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/soidensuojelun-taydennysehdotus-ja-valtionmaan-toteutuneet-kohteet>
- Suomen Metsäkeskus. ”Metsäluonnon erityisen tärkeät elinympäristöt” <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/luontotietoaineistot/erityisen-tarkeat-elinymparistot>
- Museovirasto. ”Kulttuuriympäristön paikkatietoaineistot”. Haettu 1.2.2023 <https://www.museovirasto.fi/fi/palvelut-ja-ohjeet/tietojarjestelmat/kulttuuriympariston-tietojarjestelmat/kulttuuriympariston-paikkatietoaineistot>
- Maanmittauslaitos. ”Maastotietokanta” <https://www.maanmittauslaitos.fi/en/geopackage>
- Geologian tutkimuskeskus. ”Rahkasammalen korjuukohteet” <https://hakku.gtk.fi/fi/locations?id=232>
- Luonnonvarakeskus. ”Avoimien aineistojen tiedostopalvelu” <https://kartta.luke.fi/index.html>
- Väylävirasto. ”Digiroad” <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Tie/Digiroad>

2.12.2024

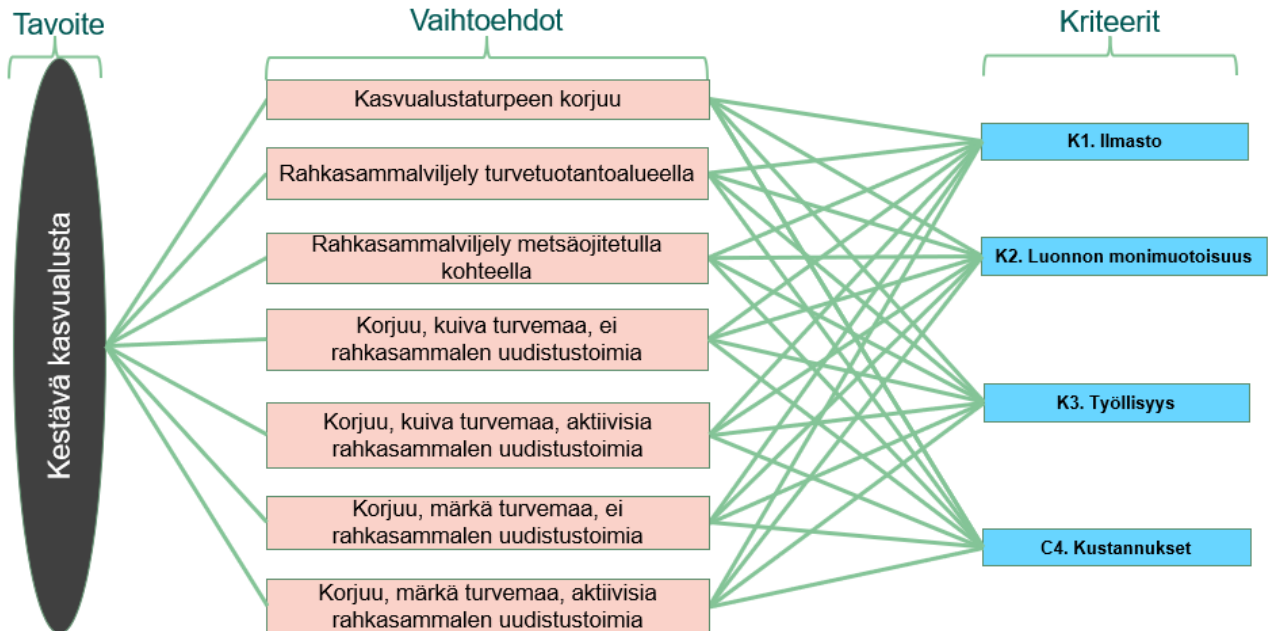
3.6 TP6. Rahkasammaleen korjuun ja kasvatuksen talous- ja työllistämisaikutukset sekä kokonaiskestävyys

Jaakko Karvonen, Tanja Myllyviita, Syke; Niko Silvan, Luke

3.6.1 Johdanto

Työpakettissa 6 vertailtiin rahkasammaleen korjuun ja viljelyn kokonaiskestävyyttä kasvualustaturpeeseen monikriteerisellä päätösanalyysimenetelmällä (Saarikoski ym., 2019). Siinä eri vaihtoehtoja tarkastellaan useampien kriteerien avulla, ja valitaan kokonaiskestävyyden kannalta paras vaihtoehto (kuva 1). Kriteerejä oli neljä: Ilmastovaikutukset, vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen, työllisyys ja kustannukset.

Tarkasteluun sisällytettiin useita rahkasammaleen tuotantotapoja, koska rahkasammalta voidaan korjata ja viljellä erilaisilla, esimerkiksi kuivilla tai märillä turvemailla, joilla mm. monimuotoisuus- ja ilmastovaikutukset eroavat toisistaan. Lisäksi rahkasammaleen uudistumista voidaan parantaa aktiivisin uudistustoimin, jotta palautuminen olisi mahdollisimman nopeaa. Esimerkiksi rahkasammalta voidaan levittää ajouralta kohtiin, joista sammal on korjuussa poistettu, jolloin kasvustoaukkojen umpeutuminen on nopeampaa.



Kuva 1. Havainnekuva tavoitteen, vaihtoehtojen ja kriteerien riippuvuussuhteista hankkeen tapauksessa.

2.12.2024

3.6.2 Vaikutusarviointitiedot

Vaikutusarviointitieto mitattiin hyötyskaalalla olettamalla niin sanottu lineaarinen osahyöty, jonka mukaan esimerkiksi tulojen kasvaminen yhdestä eurosta kahteen euroon kasvattaa hyötyä laskentakehikossa kaksinkertaiseksi. Tässä työpaketissa käytettyjen vaikutusarviointitiedon taustalla on eri menetelmin hankittua tietoa. Kriteerikohtaiset tarkennukset on kerrottu alla ja taulukossa 1 on nähtävissä numeeriset arvot eri vaihtoehtojen vaikutuksille eri kriteerien suhteen.

3.6.3 Ilmastovaikutukset

Kasvualustan ilmastovaikutukset kuvaavat turvemaan hiilidynamiikkaa ja hiilen sitoutumista kasvustoon. Erityisesti kasvillisuudella ja vedenpinnan tasolla on merkittävä rooli siihen, miten hiilidioksidia ja metaania muodostuu. Kasvihuonekaasupäästöt perustuvat kahteen aikaisempaan elinkaaritutkimukseen, joissa rahkasammal- ja turvetuotannon päästöissä on huomioitu maankäytön, tuotannon, kuljetuksen ja kasvualustan hajoamisen päästöt (ks. työpaketti TP4, Myllyviita^{b,c}).

3.6.4 Luonnon monimuotoisuus

Luonnon monimuotoisuutta arvioitiin asiantuntijoiden haastatteluin, koska vakiintunutta mittaustapaa ei monimuotoisuuden arvioinnille ole. Haastateltavien asiantuntijoiden tehtävänä oli arvioida, minkälainen monimuotoisuusarvo kohteella on välittömästi korjuun jälkeen ja miten se muuttuu 20 vuodessa, eli kuinka luonnon monimuotoisuuden tila muuttuu ja palautuu, jos kohteella aloitetaan rahkasammalten tuotanto tai tuotetaan kasvuturvetta. Tarkastelu perustuu asiantuntijoiden arvioihin eri tuotantotapojen vaikutuksista luonnon monimuotoisuuteen. Yksittäisten asiantuntijoiden arvioista laskettiin keskiarvo, jota hyödynnettiin eri tuotantotapojen monimuotoisuusvaikutusten arvioinnissa.

3.6.5 Kustannukset

Kustannuslaskenta perustuu rahkasammaltuotannon osalta Neovan ja Biolanin konsultoimana tehtyihin laskentoihin, joissa huomioidaan kohteen tarvitsemat perustamiskustannukset sekä materiaalin korjuu ja kuljetus tehtaalle. Laskenta sisälsi myös 5 % korkokannan investoinneille ja 10 % katteet. Laskenta tehtiin yhden kiertoajan yli, mikä lähtökohtaisesti saa varovaisuusperiaatteen myötäisesti rahkasammalviljelmän perustamisen kustannukset näyttämään melko suurilta. Pidempiä tarkastelujakso käytettäessä perustamiskustannusten osuus pienenesi, kun ne jakautuisivat suuremmalle kokonaistuotannolle.

Turvetuotannon osalta materiaalin tuotantokustannus pohjautuu Tilastokeskuksen tietoon energiaturpeen hinnasta energialaitokselle toimitettuna, joka vastasi myös muista lähteistä löydettyjä kustannusarvioita. Näitä arvioita käytettiin sillä vastaavia tietoja ei ollut saatavilla kasvuturpeen kustannuksista. Energiaturve kuitenkin tuotetaan samalta kohteelta jaetuina perustamiskustannuksin, joten energia- ja kasvuturpeen kustannukset eivät oletettavasti eroa merkittävästi. Energia- ja

2.12.2024

kasvuturpeen myyntihinnat kuitenkin eroavat toisistaan, mutta myyntihinta ei kuitenkaan kuvaa erityisin hyvin tuotantokustannuksia, sillä kate voi olla korkeampi esimerkiksi tuotteen suuren kysynnän vuoksi. Tämän vuoksi kasvuturpeen myyntihinnan ei katsottu kuvaavan riittävän hyvin tuotteen tuotantokustannuksia.

3.6.6 Työllisyys

Työllisyysvaikutusten arviointi tehtiin kustannuslaskennan kanssa rinnatusten, käyttäen työnteon tehokkuutta ja joissain tapauksissa urakkakustannusten pohjalta arvioituja työtuntimääriä kokonaistyömäärän laskemiseksi. Kustannuslaskentaan sisällytettiin rahkasammalviljelmän perustaminen, korjuutoiminta ja lastaus ja kuljetus tehtaalle. Turvetuotannon osalta käytettiin kirjallisuuslähteenä Leinosen (2010) selvitystä, joissa on arvioitu turvetuotannon työllisyysvaikutuksista. Vain suorat työpaikat huomioitiin, sillä tuotannon välillisistä työllisyysvaikutuksista ei ollut saatavilla tietoa.

3.6.7 Tulokset

Vaikutusarviointitiedot kunkin kriteerin ja vaihtoehdon kohdalla on esitetty taulukossa 1. Siitä on nähtävissä, että kulujen osalta turve suoriutuu parhaiten, mutta monimuotoisuuden, ilmaston ja työllisyyden suhteen rahkasammalviljely tai korjuu kasvuston uusiutumiseen tähtäävien toimien kanssa ovat aina parempia vaihtoehtoja. Rahkasammalviljely ilman uusiutumiseen tähtääviä toimia on ilmaston ja luonnon monimuotoisuuden osalta selvästi huonompi kuin jos rahkasammalviljely uudistustoimia tehdään. Rahkasammalviljely turvetuotantokohteella saikin melko pienen haitallisen vaikutuksen ilmastoon mutta kuitenkin positiivisen vaikutuksen monimuotoisuuteen.

Taulukko 1. Kriteerit ja niiden saamat vaikutusarviointitiedot eri vaihtoehtoissa.

Kriteerit Yksikkö	Kulut €/m ³	Työllisyys h/ha	Luonnon monimuotoisuus n/a – negatiivinen viittaa tilan heikkenemiseen	Ilmasto t CO ₂ -ekv./m ³
Parempi, jos arvo on:	Pienempi	Suurempi	Suurempi	Pienempi
Korjuu, kuiva turvemaa, ei rahkasammalviljelyä	17, 33	121	-19,33	0,163
Korjuu, märkä turvemaa, ei rahkasammalviljelyä	17, 33	121	-44,00	0,042
Korjuu, kuiva turvemaa, aktiivisia rahkasammalviljelyä	27, 90	170	0,52	0,033
Korjuu, märkä turvemaa, aktiivisia rahkasammalviljelyä	27, 90	170	-9,00	-0,039
Rahkasammalviljely entisellä turvetuotantoalueella	27, 90	170	5,25	0,024
Rahkasammalviljely metsäoijitetulla kohteella	27, 90	170	-8,88	0,002
Kasvuturpeen korjuu	8, 64	110	-49,80	0,126

2.12.2024

3.6.7.1 Kriteerien arvojen yhdenmukaistaminen

Taulukon 1 luvuista johdettiin kriteerikohtaiset kertoimet siten, että kunkin kriteerin sisällä eri vaihtoehtojen kesken paras arvo sai kertoimeksi 1, huonoin 0 ja muut vaihtoehdot sen mukaan, miten ne sijoittuvat parhaan ja huonoimman arvojen väliin (taulukko 2). Tällä tavoin eri kriteerien erilaisen lukuarvot voitiin yhteismitallistaa, ja eri mittayksiköissä saatuja vaikutusarviointitietoja voidaan hyödyntää monikriteeriarvioinnissa.

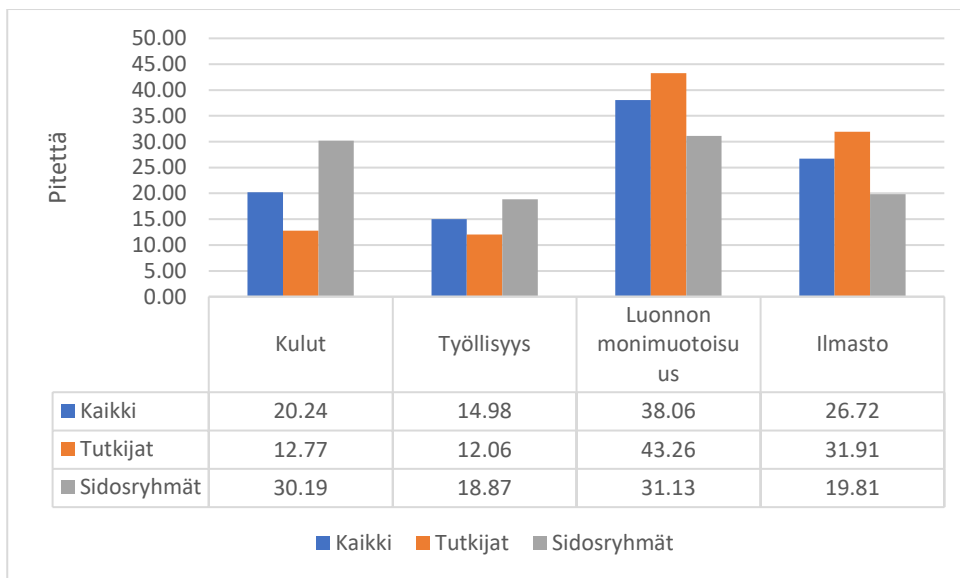
Taulukko 2. Indikaattoriarvoista johdetut kertoimet eri indikaattoreille eri vaihtoehdoissa. Vaihtoehto, joka saa kriteerin suhteen arvon 1,00, on vaihtoehdoista paras kyseisen kriteerin suhteen, kun puolestaan huonoin vaihtoehto saa arvon 0,00.

Vaihtoehto	Kriteeri:	Kustannukset	Työllisyys	Luonnon monimuotoisuus	Ilmasto
Korjuu, kuiva turvemaata, ei rahkasammalten uudistustoimia		0,55	0,18	0,55	0,00
Korjuu, märkä turvemaata, ei rahkasammalten uudistustoimia		0,55	0,18	0,11	0,60
Korjuu, kuiva turvemaata, aktiivisia rahkasammalten uudistustoimia		0,00	1,00	0,91	0,64
Korjuu, märkä turvemaata, aktiivisia rahkasammalten uudistustoimia		0,00	1,00	0,74	1,00
Rahkasammalten viljely entisellä turvetuotantoalueella		0,00	1,00	1,00	0,69
Rahkasammalten viljely metsäojitetulla kohteella		0,00	1,00	0,74	0,80
Kasvuturpeen korjuu		1,00	0,00	0,00	0,18

3.6.7.2 Kriteerien tärkeyksien painottaminen

Eri kriteerien tärkeydet määritettiin kyselyllä, joka kohdistettiin alaa tunteville tutkijoille ja alalla muutoin toimiville sidosryhmäläisille (ml. alan toimijat), joita tunnistettiin yhteensä 31. Kyselyssä eri kriteerit piti arvottaa toistensa suhteen siten, että vastaajalla oli yhteensä jaettavana 100 pistettä, joista tärkeimmälle kriteerille tuli antaa eniten pisteitä ja muille siinä suhteessa, miten tärkeä kunkin kriteerin painotus on suhteessa tärkeimpään. Esimerkiksi jos korkein arvo kriteerille A oli 50 pistettä ja kriteeri B sai 25 pistettä, oli näiden kertoimet A:lle 1 ja B:lle 0,5. Kyselyyn saatiin yhteensä 15 vastausta, joista yhdeksän oli tutkijoita ja kuusi sidosryhmien edustajia. Vastausten perusteella molemmille vastaajaryhmille luonnon monimuotoisuus oli keskimäärin tärkein kriteeri, mutta tutkijat painottivat keskimäärin enemmän ympäristöasioita, kun taas alan toimijat antavat enemmän arvoa myös talouden ja työllisyyden näkökulmille (kuva 2). Huomaa, että kuvassa 2 tutkijoiden suurempi osuus vastaajajoukossa antaa näille vastaajille suuremman painoarvon kaikkien vastaajien kesken arvioituissa kriteerien tärkeyksissä.

2.12.2024



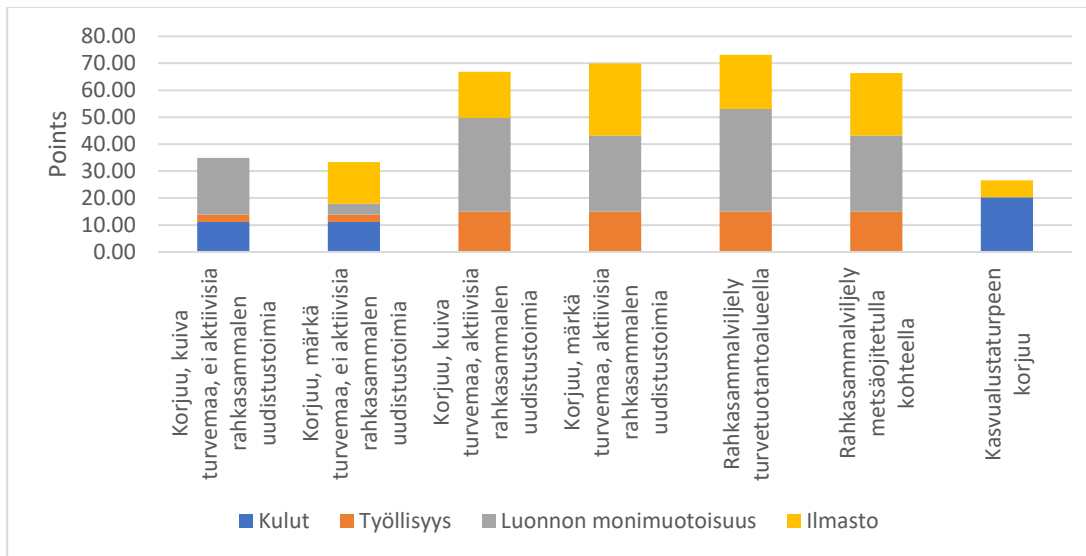
Kuva 2. Kriteeripainotukset kaikkien vastaajien ja erikseen tutkijoiden ja sidosryhmäläisten näkemysten mukaan.

3.6.7.3 Turve- ja rahkasammalpohjaisten kasvualustojen kokonaiskestävyys

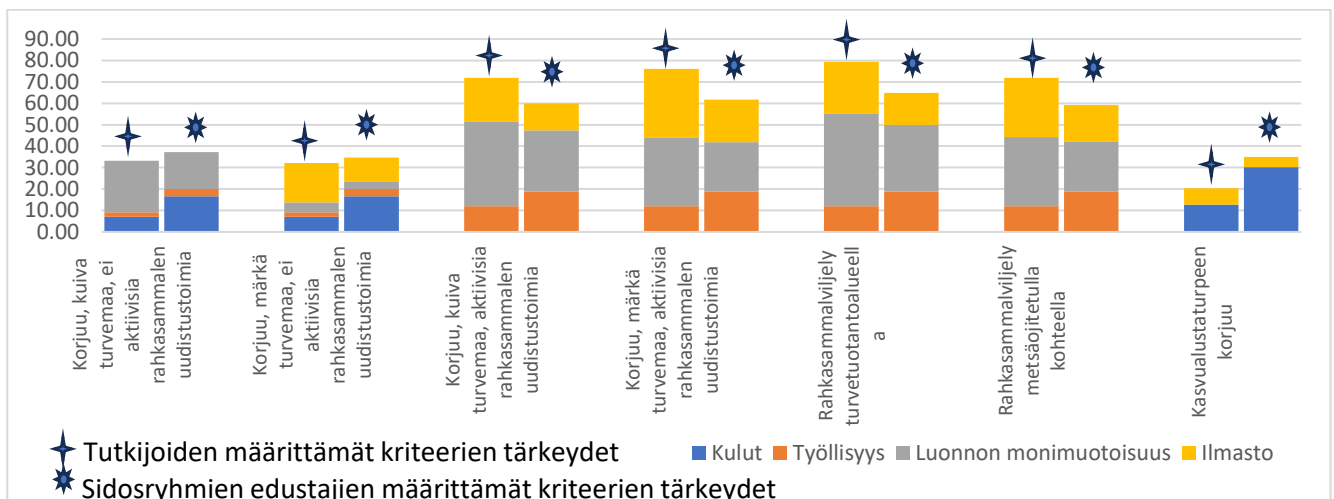
Kyselyn kunkin vaihtoehdon eri kriteereille saadut kriteeripisteet (taulukko 2) kerrottiin kriteeripainoilla (kuva 2). Tämän jälkeen kunkin vaihtoehdon kriteerien pisteet laskettiin yhteen, josta muodostuivat lopulliset pistemäärät eri vaihtoehdoille (kuvat 3 ja 4). Nämä pistemäärät kuvaavat kunkin vaihtoehdon kokonaiskestävyyttä siten että suurimman pistemäärän saanut vaihtoehto on kestävin.

Tulosten mukaan rahkasammalen viljely entisellä turpeentuotantoalueella oli kestävin vaihtoehto, mutta suurta eroa muihin vaihtoehtoihin, joissa rahkasammal uudistetaan, ei ole. Sen sijaan rahkasammalen korjuu ilman aktiivisia rahkasammalen uudistustoimia ja kasvuturpeen tuotanto sijoittuivat selvästi huonommiksi vaihtoehdoiksi. Tutkijoiden määrittämiä kriteerien painotuksia hyödyntämällä turvetuotanto jäi vielä selvästi huonoimmaksi, mutta sidosryhmäläisten painotuksilla kasvuturve oli kilpailukykyinen rahkasammaltuotantovaihtoehtojen kanssa, joissa rahkasammalkasvustoa ei aktiivisesti uudisteta korjuun jälkeen.

2.12.2024



Kuva 3. Eri vaihtoehtojen kokonaiskestävyys kaikkien vastaajien keskipainoarvoilla laskettuna.



Kuva 4. Eri vaihtoehtojen kokonaiskestävyys tutkijoiden ja sidosryhmien määrittämällä kriteerien painoarvoilla laskettuna.

3.6.8 Tulosten yhteenveto

Rahkasammalen viljely ja rahkasammalen korjuu olivat tässä tutkimuksessa kokonaiskestävyydeltään parhaita vaihtoehtoja kasvualustan raaka-aineeksi, olettaen että rahkasammalen korjuun jälkeen rahkasammalen uudelleenkasvu varmistetaan takaisinistutuksen ja vesitalouden kunnostamisen avulla. Eri vaihtoehtojen menestymisessä eri kriteerien suhteen on selviä eroja, ja eritoten rahkasammalen aktiiviset uudistamistoimet korjuun jälkeen tuottaa eroja vaihtoehtojen välillä. Kasvuturve on taloudellisesti kannattavin vaihtoehto. Sen tuotanto on myös tehokkaampaa kuin rahkasammalen

2.12.2024

korjuun tai viljelyn, joten sen työllistävä vaikutus on rahkasammalen korjuuta vähäisempää. Vastaavasti rahkasammalviljelmän perustaminen aiheuttaa kustannuksia ja työllistävää vaikutusta, missä se eroaa rahkasammalen korjuusta.

Rahkasammalen uudelleenistutus parantaa merkittävästi luontoarvojen säilymistä rahkasammalen korjuusta huolimatta, ja joissain tapauksissa monimuotoisuuden nähtiin jopa paranevan rahkasammaltuotannon kautta. Merkittävin myönteinen monimuotoisuusvaikutus on saavutettavissa, kun entiselle turpeentuotantoalueelle perustetaan rahkasammalviljelmä, perinteisen metsittämisen sijaan. Rahkasammalen viljelyn ja sen korjuun jälkeisen aktiivisen uudistamisen myönteiset monimuotoisuusvaikutukset olivat ennako-oletusten mukaisia, koska turvetuotannossa monimuotoisuusarvojen katsotaan romahtavan olemattomiksi.

Eri tuotantovaihtoehtojen ilmastovaikutuksissa oli suuria eroja. Ainoana hiilitaseeltaan negatiivisen eli ilmaston kannalta positiivisen arvon sai rahkasammalen korjuu kostealta suolta, kun tehdään myös aktiiviset rahkasammalen uudistamistoimet. Sammalen korjuu kuivalta kohteelta ilman rahkasammalen uudistustoimia sai jopa turvetuotantoa korkeammat päästöarvot. Rahkasammalen viljelyn ilmastopäästöt ovat vertailussa selvästi keskivälin paremmalla puolella.

Sidosryhmäläiset painottivat kokonaiskestävyyden arvioinnissa enemmän kustannuksia ja työllisyyttä kuin tutkijat, mikä näkyy kuvan 2 kriteeripainoissa ja kuvan 4 lopputuloksissa. Kuvasta 3 voidaan havaita, että kun kriteerien painotus pohjautuu sekä tutkijoiden että sidosryhmien määrittämiin kriteerien painotuksiin, parhaat kestävyysarvot saavat rahkasammalen tuotanto sekä korjaamalla luonnollisilta kohteilta että viljelemällä, kunhan rahkasammalen uudelleenkasvu varmistetaan. Koska sidosryhmäläiset painottivat taloutta merkittävästi enemmän kuin tutkijat, oli kasvualustaturpeen saamat kestävyysarvo lähes yhtä korkeat kuin sammalen korjuu ilman rahkasammalen aktiivisia uudistustoimia. Tästä voidaan päätellä, että korjuun jälkeinen nopea palautuminen on liki kynnyksiasia rahkasammalen korjuun kestävyydelle, kun huomioidaan tässä tarkastelussa käytetyt kriteerit.

3.6.9 Johtopäätökset ja suositukset

Rahkasammalen korjuun ja viljelyn saamat kestävyysarvot monikriteerisessä kestävyysarvioinnissa huomioiden niiden kustannukset, ja vaikutukset työllisyyteen, luonnon monimuotoisuuteen ja ilmastoon, olivat kaikissa tarkastellussa vaihtoehdossa parempi kuin kasvuturve. Kasvuturpeen eduksi kuitenkin nousee sen parempi kustannuskilpailukyky, mikä näkyy myös pienempänä työllisyysvaikutuksena. Toisaalta rahkasammalen tuotannon ollessa vielä vasta kehittyvä ala, on huomattava, että sillä saattaa olla merkittävää potentiaalia tehostua tulevaisuudessa tämän arvioinnin aikaisesta tilanteesta.

Rahkasammalen tuotantovaihtoehtojen suhteen erityisen tärkeäksi nähtiin se, että rahkasammalkasvusto uudistuu nopeasti korjuun jälkeen, minkä vuoksi uudistustoimia sisältävät vaihtoehdot pärjäsivät merkittävästä paremmin kuin ilman uudistusta olevat vaihtoehdot. Niinpä uusiutumisen varmistaminen on tärkeää. On tarpeen tehdä lisää tutkimuksia siitä, mitkä keinot ovat tehokkaimpia uuden rahkasammalkasvuston nopean palautumisen turvaamiseksi ja miten se tehdään samalla kustannukset minimoiden. Myös korjuumenetelmiä ja koneistusta tulisi kehittää siten, että korjuu voisi olla mahdollisimman kannattavaa ja tehokasta ja mahdollistaa sammalen nopean

2.12.2024

uudistumisen. Lisäksi rahkasammaltuotannon vesistövaikutuksia olisi hyvä sisällyttää arviointikehikkoon tulevissa tutkimuksissa, kun tutkimusta on riittävästi luotettavien vaikutusten arvioimiseksi.

Viitteet

Leinonen, A (2010). Turpeen tuotanto ja käyttö. Yhteenveto selvityksistä. Espoo 2010. VTT Tiedotteita – Research Notes 2550. 104 s. ISBN: 978-951-38-7649-4.

Myllyviita^b, T., Karjalainen, S., Anttila, J., Grönroos, J., Turunen, J., Lehtoranta, S., Laine, A.M. 2024. Life-cycle analysis of greenhouse gas emissions of *Sphagnum* moss harvesting and use – comparison to horticultural peat and effects of fast *Sphagnum* recovery. Julkaisematon käsikirjoitus

Myllyviita^c, T., Laine, A.M., Grönroos, J., Anttila, J., Lehtoranta, S., Karjalainen, S., Turunen, J. 2024. Could *Sphagnum* moss farming on cut-over and forestry drained peatland provide greenhouse gas emissions savings? Vertaisarvioinnissa.

Saarikoski, H., Mustajoki, J., Hjerpe, T. & Aapala, K. 2019. Participatory multi-criteria decision analysis in valuing peatland ecosystem services—Trade-offs related to peat extraction vs. pristine peatlands in Southern Finland. Ecological Economics, 162, 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.04.010>

Statistics Finland 2024. Milled peat, 2023-2024 prices, rounded.

https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehi/statfin_ehi_pxt_12gb.px (Viitattu 24.9.2024)