



HELSINGIN YLIOPISTO
MAATALOUS-METSÄTIEEELLINEN TIEDEKUNTA

Monitavoitteinen päätösanalyysi turvepeltojen käyttömuotojen vertailussa

Jari Niemi

Pro Gradu -tutkielma

Helsingin yliopisto

Metsätieteiden maisteriohjelma

Metsien ekologia ja käyttö

Toukokuu 2020



Tiedekunta – Fakultet – Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Metsätieteiden maisteriohjelma	
Tekijä – Författare – Author Jari Niemi			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Monitavoitteinen päätösanalyysi turvepeltojen käyttömuotojen vertailussa			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studienriktning – Subject/Study track Metsien ekologia ja käyttö / Metsä- ja suoekosysteemin hoito ja ennallistaminen			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma		Aika – Datum – Month and year 5/2020	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 66 + liitteet
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
<p>Tämän työn tarkoituksena oli selvittää vastaavatko ilmaston kannalta ongelmalliset turvepeltojen perinteiset syvään ojitetut käyttömuodot turvepeltojen viljelijöiden tavoitteita, sekä miten vaihtoehtoiset vähäpäästöisemmät turvepellon käyttömuodot voivat vastata tavoitteisiin.</p> <p>Suomella on sekä kansallinen, että Euroopan Unionin asettama kasvihuonekaasujen päästövähennystavoite, jotka velvoittavat Suomea vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään 39 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä, ja 80 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Maataloussektorin osuus Suomen kasvihuonekaasupäästöistä on noin 10%. Viljellyt orgaaniset maat kattavat noin 10 % Suomen maanviljelymaan pinta-alasta, mutta ne tuottavat noin 50–60 % koko maanviljelysektorin kasvihuonekaasupäästöistä. Perinteisen intensiivisen viljan ja nurmen viljelyn vaatima alhainen vedenpinta turvepellolla aiheuttaa nopeaa turpeen aerobista hajoamista, johtaen korkeisiin kasvihuonekaasu- ja ravinnepäästöihin, painumaan, ja lukuisiin viljelyongelmiin. Kirjallisuuskatsauksen perusteella pohjavedenpinnan nostaminen on tehokkain keino kasvihuonekaasupäästöjen hillitsemiseksi turvepelloilla, mutta vedenpinnan nosto rajoittaa perinteisten satokasvien viljelyä. Kirjallisuudessa on esitetty turvepellon vaihtoehtoisiksi käyttömuodoiksi muun muassa ennallistamista, kosteikkoviljelyä ja metsitystä.</p> <p>Tässä työssä sovellettiin monitavoitteisen päätösanalyysin menetelmiä turvepellon käyttömuotojen keskinäisessä vertailussa erilaisten tavoitteiden valossa. Vertailtavia käyttömuotoja valittiin työhön 12 kappaletta, niiden sisältäessä käyttömuotoja sekä matalalla, että korkealla pohjavedenpinnalla. Työssä selvitettiin ensin, millaisilla indikaattoreilla turvepellon käyttömuotojen suoriutumista voidaan mitata, ja indikaattoreille etsittiin käyttömuotokohtaisia arvoja kirjallisuudesta. Kullekin indikaattorille oli tarkoitus kerätä viljelijöiltä tavoitteiden mukaiset painokertoimet kyselylomakkeen avulla, mutta koska vastauksia kyselyyn ei saatu, monitavoitteinen päätösanalyysi suoritettiin sekä tutkijaryhmän sisältä kerätyillä, että simulaation tuottamilla painokertoimilla.</p> <p>Syvään ojitetut perinteiset viljelymuodot menestyivät indikaattoreiden tarkastelussa hyvin taloudellisella ja tuotannollisella osa-alueella, mutta huonosti säätelevällä ja kulttuurillisella osa-alueella. Sekä tutkijaryhmän, että simulaation antamien painotusten perusteella tehdyissä monitavoitteisissa päätösanalyysissä kosteikkoviljelyvaihtoehdot valikoituivat syvään ojitettuja viljelymuotoja huomattavasti useammin parhaiksi turvepellon käyttömuodoiksi. Tutkijaryhmän painotuksilla syvään ojitetut käyttömuodot eivät valikoituneet parhaiksi käyttömuodoiksi kertaakaan, ja simulaation tuottamilla painotuksilla vain 3,5 prosentilla painotusyhdistelmistä.</p> <p>Monitavoitteiset päätösanalyysit osoittavat, että märillä käyttömuodoilla on potentiaalia valikoitua turvepellon parhaiksi käyttömuodoiksi myös taloutta vahvasti painottavilla painotusprofileilla, mutta tämä edellyttää, että kosteikkoviljelytuotteille syntyy markkinat tulevaisuudessa. Tukipolitiikka vaikuttaa myös todennäköisesti vahvasti vaihtoehtojen taloudelliseen houkuttelevuuteen. Kosteikkoviljelystä tarvitaan kuitenkin pidempiaikaista tutkimustietoa, ja kosteikkoviljelyn tutkiminen tulisi aloittaa myös Suomessa, jotta arvioita indikaattoreiden saamista mahdollisista arvoista saataisiin tarkemmaksi.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Turvepelto, ojitus, monitavoitteinen päätösanalyysi, kosteikkoviljely, kasvihuonekaasupäästöt			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Prof. Harri Vasander (Helsingin yliopisto), erikoistutkija Tuomas Mattila (Suomen Ympäristökeskus)			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Viikin tiedekirjasto, Metsätieteiden laitos			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			



Tiedekunta – Fakultet – Faculty Faculty of agriculture and forestry		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Master's programme in forest sciences	
Tekijä – Författare – Author Jari Niemi			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Multiple-criteria decision analysis in comparison of forms of agricultural peatland utilization			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Forest ecology / The management and restoration of forest and peatland ecosystems			
Työn laji – Arbetets art – Level Master's thesis		Aika – Datum – Month and year 5/2020	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 66 + appendix
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p>The aim of this study was to investigate if the drainage-based utilization of agricultural peatlands, associated with heavy greenhouse gas (GHG) emissions, really meets the goals of the farmers, and to investigate how well alternatives with lesser GHG emissions could fit the farmers' needs.</p> <p>Finland has obligations, both national and from European Union, to reduce its total GHG emissions from the levels of 1990 by 39 % until 2030, and 80 % until 2050. Ten percent of Finland's total GHG emissions come from agricultural sector. Agricultural organic soils represent only about 10 % of total agricultural land in Finland, but it is estimated that the GHG emissions from these organic soils make up to 50-60 % of the total GHG emissions of the whole agricultural sector. The low water table in traditional drainage-based utilization of agricultural peatlands causes rapid decomposition of peat, which leads to high GHG emissions, leaching of nutrients, subsidence and to numerous problems on the fields. According to literature review done, raising of the water table is the most efficient way to reduce GHG emissions on agricultural peatlands, but the raised water table limits the use of traditional crops like cereals. Restoration of the peatland, paludiculture and afforestation have been suggested as alternative uses of these agricultural peatlands in literature.</p> <p>In this study, multi-criteria decision analysis was used to compare different uses of agricultural peatlands in the light of varying goals. Twelve different forms of peatland utilization were selected for the comparison, and these included forms of utilization with both high and low water tables. Firstly, it was investigated what kind of indicators can be used to assess the performance of the different types of utilization, and values for those indicators were gathered from the literature if possible. Weighting of the indicators in relation to the goals of the farmers was planned to be carried out with a questionnaire, but as we did not manage to get any answers from the farmers, the multi-criteria decision analysis was done with weightings collected both from a group of scientists and from a simulation.</p> <p>Traditional forms of drainage-based farming scored well on financial and productional indicators, but they lacked on regulating and cultural indicators. In both analyses with the weighting given by the group of scientists and by simulation, utilization forms of peatlands with high water table were selected as the best alternative for agricultural peatland management significantly more often than the deeply drained alternatives. With the weighting done by the group of scientists the deeply drained forms were selected not once as the best alternative for peatland utilization, and with the weightings extracted from the simulation in only 3,5 % of the cases a deeply drained form of utilization was selected as a best alternative.</p> <p>These multi-criteria decision analyses show, that the wet forms of peatland utilization have a great potential to be selected as the best alternatives of agricultural peatland utilization also with weighting profiles that put heavy weight also in financial indicators, although this requires the market to the alternative materials to be developed. The policy concerning agricultural subsidies likely affects financial attractiveness of the utilization alternatives of peatlands by great extent. Further long-term research of paludiculture is still needed, and field studies on paludiculture should also be started in Finland to improve the assessment of wet peatland use on most indicators.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Agricultural peatland, drainage, multi-criteria decision analysis, paludiculture, greenhouse gas emissions			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Prof. Harri Vasander (University of Helsinki), special researcher Tuomas Mattila (Finnish environmental institute)			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Viikki library of science, Forest department			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

Sisällysluettelo

Käsitteitä.....	5
1. Johdanto.....	7
1.1. Työn tausta	7
1.2. Turvepeltojen viljelyyn liittyvät ongelmat	8
1.3. Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset	8
2. Turvepeltoihin liittyviä ongelmia	10
2.1. Kasvihuonekaasut turvepelloilta	10
2.1.1. Hiilidioksidi, CO ₂	10
2.1.2. Dityppioksidi, N ₂ O.....	12
2.1.3. Metaani, CH ₄	12
2.1.4. Veden kuljettama hiili	14
2.2. Viljelyongelmat	15
2.3. Vesistö päästöt.....	16
3. Turvepellon vaihtoehtoiset käyttömuodot.....	17
3.1. Turvepellon ennallistaminen	18
3.2. Kosteikkoviljely	20
3.3. Turvepellon metsitys	22
3.4. Säättösalaojitus	23
4. Menetelmät ja aineisto.....	23
4.1. Monitavoitteinen päätösanalyysi	23
4.1.1. Ongelma, indikaattorit ja vaihtoehdot	24
4.1.2. Vaihtoehtojen suoriutuminen indikaattoreilla, x_i	26
4.1.3. Indikaattorien painottaminen, w	26
4.1.4. Vaihtoehtojen kokonaissuoriutuminen, $v(x)$	27
4.1.5. Tulosten herkkyyys parametrien vaihtelulle.....	28
4.2. Kyselylomake	29
5. Tulokset.....	30
5.1. Vaikutusindikaattorit ja niiden arvot vaihtoehdoilla	30
5.1.1. Taloudelliset indikaattorit.....	30
5.1.2. Tuotannolliset indikaattorit.....	33
5.1.3. Säätävät indikaattorit	36
5.1.4. Kulttuurilliset indikaattorit	42
5.2. Käyttömuotojen painottamaton suoriutuminen	44
5.3. Käyttövaihtoehtojen painotettu kokonaissuoriutuminen	46
5.3.1. Käyttömuotojen kokonaissuoriutuminen tutkijaryhmän painotuksilla	46

5.3.2. Käyttömuotojen kokonaissuoriutumisen simulaation antamalla painotuksilla	49
6. Tulosten tarkastelu	54
6.1. Havainnot tuloksista	54
6.2. Virhelähteet	58
6.3. Johtopäätökset	59
Lähteet.....	61
Liitteet	67

Käsitteitä

Suo

Soille on ominaista veden kyllästävät olosuhteet, joissa orgaaninen karike pääsee kertymään maaperään viileissä ja hapettomissa olosuhteissa, muodostaen turvekerroksen (Gorham 1991). Turvekerroksen paksuus voi vaihdella senttimetreistä metreihin, mutta geologisen määritelmän mukaan turvekerroksen täytyy olla yli 30 senttimetriä paksu, jotta kasvupaikka voidaan lukea suoksi. Metsätieteellisen määritelmän mukaan kasvupaikalla täytyy olla vähintään 30 sentin turvekerroksen lisäksi myös turvetta muodostavaa märkiä olosuhteita kestävä suokasvillisuutta.

Kosteikkoviljely

Kosteikkoviljelyllä tarkoitetaan märkiin olosuhteisiin sopeutuneiden kasvien viljelyä märillä tai uudelleen vetetyillä turvemailla. Kosteikkoviljely mahdollistaa biomassan tuotannon säilyttäen turvekerroksen, tai jopa uutta turvetta muodostaen (Wichtmann, Schroder, ja Joosten 2016).

Turvellon ennallistaminen

Turvellon ennallistamisella tarkoitetaan turvellon hydrologian ja kasvillisuuden palauttamista mahdollisimman lähelle luonnontilaa. Käytännössä se tarkoittaa ojien

tukkimista vedenpinnan nostamiseksi entiselle tasolle, ja kasvillisuuden palauttamista suokasvillisuudeksi joko istutuksin tai luonnollisen sukkession avulla.

Säätösalaajitus

Salaajitusmenetelmä, jolla vedenpinnan korkeutta voidaan säätää aktiivisesti pellolla.

Kasvihuonekaasut

Kasvihuonekaasut (KHK) aiheuttavat kasvihuoneilmiötä päästämällä auringon säteilyä lävitseen, mutta pidättämällä valtaosan avaruuteen pyrkivästä lämpösäteilystä. Tässä työssä tarkastellaan kasvihuonekaasuista hiilidioksidia (CO_2), metaania (CH_4) ja dityppioksidia (N_2O).

Kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutukset, GWP

GWP = Global warming potential. Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli IPCC on antanut kasvihuonekaasuille lämmityspotentiaaliarvot, jotka kuvaavat kasvihuonekaasujen lämmittävää vaikutusta massayksikköä kohden sadan vuoden aikajänteellä verrattuna hiilidioksidin, jonka $\text{GWP}_{\text{CO}_2} = 1$. IPCC:n antamat arvot ovat muuttuneet jonkin verran raporttien välillä, osan tässä työssä viitattujen tutkimusten käyttäessä neljännen raportin (Eggelston ym. 2006) arvoja, jotka ovat metaanille $\text{GWP}_{\text{CH}_4} = 25$, ja dityppioksidille $\text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}} = 298$, ja osan käyttäessä viidennessä raportissa (Hiraishi ym. 2014) päivitettyjä arvoja, jotka ovat metaanille $\text{GWP}_{\text{CH}_4} = 28$, ja dityppioksidille $\text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}} = 265$. Viidennen raportin arvot korostavat hieman metaanin lämmittävää vaikutusta sadan vuoden aikajänteellä, ja vastaavasti arvioivat dityppioksidin lämmittävän vaikutuksen hieman aikaisempia arvoja alhaisemmaksi.

Kasvihuonekaasutase

Pellon kasvihuonekaasutase voidaan laskea summaamalla yhteen pellon kasvihuonekaasupäästöt ja peltoon sitoutuvat kasvihuonekaasut. Tämä vaatii tarkasteltavan aikajänteen valinnan (tässä työssä, ja useimmissa tutkimuksissa tarkastellaan 100 vuoden lämmitysvaikutusta), ja dityppioksidin ja metaanin

muuntamisen GWP100 arvoja käyttämällä hiilidioksidiekvivalentiksi. Tarkastelu tehdään ilmakehän perspektiivistä, eli peltoon sitoutuvat kasvihuonekaasut merkitään negatiivisina (poistuvat ilmakehästä) ja pellon kasvihuonekaasupäästöt merkitään positiivisiksi (vapautuvat ilmakehään). Pellon positiivinen kasvihuonekaasutase ilmaisee ilmastoa lämmittävää vaikutusta, ja negatiivinen ilmastoa viilentävää vaikutusta.

Liuennot ja partikkelimainen orgaaninen hiili

Liuennot orgaaninen hiili (DOC = Dissolved organic carbon) on määritelmän mukaan orgaanista ainetta, joka kykenee kulkemaan suodattimen (yleensä 0,22 – 0,7 µm silmäkoko) läpi, ja aine, joka jää siivilään (**POC = particulate organic carbon**) määritellään partikkelimaiseksi hiileksi.

1. Johdanto

1.1. Työn tausta

Kansallisessa ilmastolaissa (609/2015) asetetaan Suomelle vähintään 80 prosentin päästövähennysvelvoite ihmisen toiminnasta aiheutuvien kasvihuonekaasujen kokonaispäästöjen osalta vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoteen 1990. Lisäksi lyhyemmän aikavälin tavoitteena Euroopan Unioni on sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään 30 prosenttia vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 tasosta, ja Suomi on veloitettu jäsenmaana vähentämään KHK-päästöjään tällä aikavälillä 39 prosenttia. Päästövähennystavoitteisiin yltämiseksi kasvihuonekaasupäästöjä on pyrittävä kaikilla sektoreilla.

Maataloussektorin KHK-päästöt olivat Tilastokeskuksen (2019, viitattu 8.1.2020) ennakkotiedon mukaan vuonna 2018 noin 12% Suomen kokonaiskasvihuonekaasupäästöistä (pl. LULUCF -sektori). Viljellyt orgaaniset maat (hiiltä > 10%) kattavat noin 10 % Suomen maanviljelymaan pinta-alasta, mutta niillä on arvioitu syntyvän noin 50–60 % koko maanviljelysektorin kasvihuonekaasupäästöistä (Kekkonen ym. 2019). Turvepellot lukeutuvat näihin orgaanisiin maihin, ja tämän vuoksi

on tärkeää tutkia, miten suuret päästöt turvepelloilla syntyvät, ja kuinka päästöjä voitaisiin vähentää.

1.2. Turvepeltojen viljelyyn liittyvät ongelmat

Maatalouskäyttöön ojitettujen turvemaiden ongelmat eivät rajoitu ainoastaan mittaviin kasvihuonekaasupäästöihin. Kasvihuonekaasupäästöjen ollessa ongelma globaalilla tasolla, turvepeltojen viljeleminen voi olla ongelmallista myös suoraan viljelijälle.

Painuma on väistämätön ilmiö turvepelloilla, jota ojituksesta johtuvien aerobisten olosuhteiden aiheuttama orgaanisen aineen kiihtynyt hajoaminen ja raskaan maatalouskoneiston käyttö aiheuttaa (Wichtmann ym. 2016). Painuma voi aiheuttaa pellon pinnan epätasaistumista hankaloittaen viljelyä ja kosteusolosuhteiden hallintaa, sekä aiheuttaa ajan myötä kuivatuksen tehokkuuden laskua pellon pinnan vajotessa kohti ojitussyvyyttä, luoden tarpeen ojien säännölliselle uusimiselle ja pumppaamselle (Wichtmann ym. 2016). Ojien uusimisesta koituu kustannuksia viljelijälle, ja ojitussyvyyden kasvattaminen paljastaa hapettomissa olosuhteissa ollutta turvetta pohjavedenpinnan yläpuolella vallitseviin hapellisiin olosuhteisiin, aiheuttaen lisää painumaa ja turvekerroksen ohentumista (Wichtmann ym. 2016).

Maatalouskäyttöön ojitetuilta turvemailta voi myös kulkeutua vesistöihin kivennäismaiden peltoihin nähden huomattavasti enemmän pintavesien rehevöitymistä aiheuttavia ravinteita (Korhonen R., Korpela L., Sarkkola S. 2008).

1.3. Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tämän työn ensimmäinen tavoite on kirjallisuuskatsauksen avulla koota yhteen, miten ja miksi korkeat kasvihuonekaasupäästöt maatalouskäyttöön ojitetuilta turvemailta syntyvät. Kasvihuonekaasupäästöjä tarkastellaan hiilidioksidin (CO₂), dityppioksidin (N₂O) ja metaanin (CH₄) osalta, kyseisten kaasujen ollessa kolme merkittävintä kasvihuonekaasua turvemailta (Tiemeyer ym. 2016). Kirjallisuuskatsauksessa luodaan katsaus vaihtoehtoihin turvepellon käyttömuotoihin, ennallistamiseen,

kosteikkoviljelyyn ja metsitykseen, joita on kirjallisuudessa ehdotettu vähäpäästöisemmiksi turvepeltojen käyttömuodoiksi.

Kirjallisuuskatsauksen jälkeen suoritetaan monitavoitteinen päätösanalyysi turvepeltojen käyttömuodoista, sisällyttäen 12 vaihtoehtoista käyttömuotoa, joihin kuuluu sekä matalalla, että korkealla vedenpinnalla toteutettavia käyttömuotoja. Monitavoitteisen päätösanalyysin tavoitteena on selvittää vastaavatko turvepeltojen nykyiset turvetta nopeasti kuluttavat, ja mittavia kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavat perinteiset käyttömuodot viljelijöiden tavoitteita, ja verrata kuinka hyvin turvekerrosta suojelevat turvepeltojen vaihtoehtoiset käyttömuodot voisivat vastata viljelijöiden tavoitteisiin.

Monitavoitteisen päätösanalyysin toteuttamiseksi selvitetään ensin, millaisilla indikaattoreilla turvepellon eri käyttömuotojen eroavaisuuksia voidaan tarkastella, ja kuinka suuria eroavaisuuksia indikaattoreiden arvoissa havaitaan eri käyttömuodoilla. Tämän jälkeen indikaattorit painotetaan asianomaisen tavoitteiden mukaisesti, ja yhdistämällä käyttömuotokohtainen suoriutuminen kullakin indikaattorilla indikaattorien saamaan painotukseen saadaan kullekin käyttömuodolle laskettua kokonaissuoriutuminen tavoitteisiin nähden.

Tutkimuskysymykset, joihin pyritään tässä työssä kyselylomakkeen, ja monitavoitteisen päätösanalyysin avulla vastaamaan, ovat seuraavat:

- 1) Millaisilla indikaattoreilla turvepeltojen eri käyttömuotojen eroavaisuuksia voidaan tarkastella, ja kuinka suuria ovat indikaattorien saamien arvojen vaihteluvälit eri käyttömuodoilla?
- 2) Mitkä indikaattorit ovat tärkeimpiä turvepeltojen viljelijöille?
- 3) Voidaanko kyselylomakkeen otoksen perusteella havaita viljelijöiden painotuksissa yhtäläisyyksiä, ja muodostaa näistä eri osa-alueita painottavia profileja?
- 4) Vastaavatko turvepeltojen nykyiset käyttömuodot viljelijöiden tavoitteita?
- 5) Voivatko vähäpäästöisemmät turvemaan käyttömuodot vastata joidenkin viljelijöiden tavoitteisiin nykyisiä käyttömuotoja paremmin?
- 6) Mitkä tekijät mahdollisesti jarruttavat siirtymistä vähäpäästöisempiin turvepellon käyttömuotoihin?

2. Turvepeltoihin liittyviä ongelmia

2.1. Kasvihuonekaasut turvepelloilta

Maatalous on ilmastovaikutuksiltaan epäsuotuisin tapa käyttää turvemaita, ja turvepelloilta syntyvät suomalaisten turvemaiden suurimmat kasvihuonekaasupäästöt, nurmelta keskimäärin $22,6 \text{ t CO}_2 \text{ eq ha}^{-2} \text{ v}^{-1}$, ja viljapelloilta $22,8 \text{ t CO}_2 \text{ eq ha}^{-2} \text{ v}^{-1}$ (Maljanen ym. 2010). Saksalaisessa turvemaiden kasvihuonekaasubudjetit yhteensä kokoavassa synteesitutkimuksessa raportoidut KHK-päästöt ojitetuilta turvemaiden sijaitsevilta ruohotasangoilta olivat keskimäärin vielä korkeampia, noin $29,2 \text{ t CO}_2 \text{ eq ha}^{-2} \text{ v}^{-1}$, useiden syvään ojitettujen lohkojen päästöjen noustessa jopa yli $60 \text{ t CO}_2 \text{ eq ha}^{-2} \text{ v}^{-1}$, kun myös biomassan korjuu luettiin mukaan (Tiemeyer ym. 2016). IPCC:n (Hiraishi ym. 2014) ilmoittamat nurmi-, laidun- tai viljelykäytössä olevien ojitettujen turvemaiden päästöt, noin $25\text{--}35 \text{ t CO}_2 \text{ eq ha}^{-2} \text{ v}^{-1}$, ovat linjassa Maljasen (2010) ja Tiemeyerin (2016) kokoamien keskiarvojen kanssa.

Kasvihuonekaasupäästöt turvemailta muodostuvat kolmesta kaasusta, jotka ovat hiilidioksidi (CO_2), dityppioksidi (N_2O), ja metaani (CH_4) (Tiemeyer ym. 2016; Maljanen ym. 2010). Ojitettujen turvemaiden kasvihuonekaasupäästöt muodostuvat pääosin hiilidioksidista ja dityppioksidista, metaanipäästöjen ollessa usein mitättömiä kuivista olosuhteista johtuen (Paul ym. 2018; Wilson ym. 2016; Tiemeyer ym. 2016). Syvän ojituksen kuivattama turvekerros alkaa nopeasti painua kasaan ja hapettumaan, johtaen orgaanisen aineksen hävikkiin, eroosioon, ravinteiden huuhtoutumiseen ja hiilen ja typen mineralisoitumiseen aiheuttaen hiilidioksidi- ja dityppioksidipäästöjä (Klove ym. 2017). Hiilidioksidin on arvioitu aiheuttavan 80 % ja dityppioksidin 20 % suomalaisten turvepeltojen ilmastoa lämmittävästä vaikutuksesta (Maljanen ym. 2010).

2.1.1. Hiilidioksidi, CO_2

Hiilidioksidi on kolmesta tarkastellusta kasvihuonekaasusta pitkäikäisin: hetkellisessä pulssissa ilmakehään päässeestä hiilidioksidista on jäljellä ilmakehässä yhä 40 % 100 vuoden jälkeen, 20 % 1000 vuoden jälkeen ja 10 % 10 000 vuoden jälkeen (Canadell

2014). Hiilidioksidia vapautuu ilmakehään kasvien, maaperän eläinten ja orgaanista hiiltä aerobisesti hajottavien mikrobien soluhengityksessä. Märkiin olosuhteisiin sopeutunut turvemaiden kasvillisuus sitoo hiilidioksidia ilmakehästä yhteytyksen lomassa. Hiilidioksidipäästöjä syntyy, kun kasvien hiilensidonta ei pysty kompensoimaan soluhengityksessä ja orgaanisen aineksen hajoamisessa ilmakehään vapautuvaa hiilidioksidin määrää, ja vastaavasti suohon kertyy hiiltä turpeen muodossa, kun kasvillisuuden sitoman hiilen määrä ylittää systeemistä vapautuvan hiilen määrän pitkällä aikavälillä. Korkea pohjavedenpinta ja sen tuomat hapettomat ja viileät olosuhteet hidastavat biomassan hajoamista, ja mahdollistavat turpeen kertymisen.

Maatalouskäytössä olevia turvemaita on ojitettu pohjavedenpinnan laskemiseksi perinteisille satokasveille soveltuvalla tasolla. Pohjavedenpinnan laskeminen aiheuttaa sen, että aikaisemmin veden kyllästämissä hapettomissa olosuhteissa olleet turvekerrokset kuivuvat ja joutuvat tekemisiin hapen kanssa. Orgaanisen aineksen hajoaminen on huomattavasti nopeampaa ja täydellisempää hapellisissa kuin hapettomissa olosuhteissa, ja turvemaiden ojitaminen maatalouskäyttöön on muuttanut turvemaita merkittäviksi kasvihuonekaasulähteiksi (Maljanen ym. 2010). Hiilidioksidi (CO₂) aiheuttaa suurimman osuuden kasvihuonekaasupäästöistä ojitetuilta turvemailta, ja useimmissa tapauksissa turvepellon kasvihuonekaasubudjetin ratkaiseva tekijä on hiilidioksidin nettokierto NEE (Tiemeyer ym. 2016).

Useissa tieteellisissä julkaisuissa on havaittu hiilidioksidipäästöjen laskevan pohjavedenpinnan noustessa lähemmäs turpeen pintaa (Tiemeyer ym. 2016; Karki ym. 2014; 2016; Regina ym. 2015; van de Riet ym. 2013; Huth ym. 2018; Wichtmann ym. 2016). Vastaavasti voidaan käänteisesti todeta hiilidioksidipäästöjen nousevan pohjavedenpinnan laskiessa alemmaksi turpeen pinnasta, mutta päästöt tasaantuvat jos maaperä muuttuu liian kuivaksi, tai jos syvemmissä horisonteissa oleva turve ei altistu enää hapelle (Tiemeyer ym. 2016). Pelkkä pohjavedenpinnan taso tai turvekerroksen paksuus eivät siis kaikissa tapauksissa riitä ennustamaan hiilidioksidipäästöjen määrää turvemailta, mutta Tiemeyer ym. (2016) havaitsivat hapellisissa olosuhteissa olevan typpivaraston toimivan yhtenä parhaimmista yksittäisistä ennusmerkeistä hiilidioksidipäästöille, sillä se selittää myös päästöeroja ravinteikkaamman ja vähäravinteisemmän turvemaan välillä. Turvemaiden hiilidioksidipäästöjen minimoimiseksi pohjavedenpinta olisi pidettävä mahdollisimman korkealla, mikä

samanaikaisesti minimoi aerobiselle hajoamiselle alttiissa olosuhteissa olevan turpeen määrän, kuin myös mahdollistaa uuden turpeen kertymisen suokasvillisuutta käytettäessä.

2.1.2. Dityppioksidi, N₂O

Dityppioksidi on pitkäikäinen kasvihuonekaasu, ja se säilyy ilmakehässä noin 120 vuotta (Hiraishi ym. 2014). Dityppioksidia syntyy maaperässä mikrobisissa prosesseissa, pääosin joko aerobisessa nitrifikaatiossa, jossa ammonium (NH₄) hapettuu nitraatiksi (NO₃), tai anaerobisessa denitrifikaatiossa, jossa nitraatti hajoaa dityppioksidiksi (N₂O), ja lopulta typeksi (N₂) (Lohila ym. 2010; Firestone ja Davidson 1989).

Turvepelloilla perinteisesti käytetty syvä ojitus on yhteydessä korkeisiin dityppioksidipäästöihin eurooppalaisilla orgaanisilla mailla (Leppelt ym. 2014; Tiemeyer ym. 2016; Maljanen ym. 2010), ja dityppioksidipäästöjä voi lisätä myös yleisesti käytössä oleva lannoitus (Tiemeyer ym. 2016; Maljanen ym. 2010). Korkeita N₂O päästöjä voi aiheuttaa myös voimakkaasti vaihteleva pohjavedenkorkeus kasvukauden aikana, (Tiemeyer ym. 2016), jolloin vaihtelu hapellisten ja hapettomien olosuhteiden välissä turpeessa voi aiheuttaa dityppioksidipäästöjä nitrifikaation ja denitrifikaation vuorotellussa (Firestone ja Davidson 1989). Alhaisen pH:n on myös havaittu olevan yhteydessä korkeampiin N₂O päästöihin (Leppelt ym. 2014; Van den Heuvel ym. 2011). Hapettomat olosuhteet ovat suotuisia dityppioksidin pelkistymiselle typpikaasuksi (Kandel ym. 2019), ja alhaiset dityppioksidipäästöt korreloivat korkean pohjavedenpinnan kanssa (Wilson ym. 2016; Karki ym. 2014). Yhteenvetona dityppioksidipäästöjen minimoimiseksi pohjavedenpinnan tulisi pysyä mahdollisimman stabiilina ja mahdollisimman lähellä maanpintaa, ja voimakasta lannoitusta olisi vältettävä

2.1.3. Metaani, CH₄

Metaani on tässä työssä tarkastelluista kasvihuonekaasuista lyhytikäisin, sen elinikä ilmakehässä on noin 12 vuotta (Hiraishi ym. 2014). Metaanipäästöjä syntyy orgaanisen aineen hajotessa anaerobisissa oloissa, metaania tuottavien arkeonien, eli metanogeenien

käyttäessä hiiltä energiakseen katotelman hapettomissa olosuhteissa. Metanogeenit sietävät huonosti hapetta, joten hapellisissa olosuhteissa metaania ei synny. Kaikki katotelmassa metanogeenien tuottama metaani ei välttämättä vapaudu ilmakehään, vaan usein metanogeenien läheisyydessä viihtyvät metaania energianlähteekseen metabolisoivat metanotrofit voivat hapettaa siitä osan. Metaanintuotannon on huomattu kasvavan eksponentiaalisesti vedenpinnan alaisen turpeen lämpötilan kasvaessa (Conrad 1996). Karki ym. (2014) havaitsivat laboratoriokokeessaan jyrkän kasvun metaanipäästöissä vedenpinnan alaisen turpeen lämpötilan noustessa yli 13 celsiusasteeseen.

Mitatut metaanipäästöt turvepelloilta ovat usein mitättömiä ja ojitetut turvepellot voivat olla pieniä metaaninieluja (Maljanen ym. 2010; Tiemeyer ym. 2016), hapekkaampien olosuhteiden suosiessa turpeen aerobista hajoamista ja metaanin hapettumista (Korhonen R., Korpela L., Sarkkola S. 2008). Haddaway ym. (2014) havaitsivat boreaalisia ja lauhkean vyöhykkeen turvemaita tarkastelevassa synteetitutkimuksessaan myös, että metaanipäästöt ovat suurempia ojittamattomilta, kuin ojitetuilta turvemailta (Haddaway ym. 2014). On kuitenkin huomattava, että mahdolliset metaanipäästöt turvepeltojen ojista on jätetty suuressa osassa tutkimuksia mittaamatta. Ojat voivat toimia kausittaisina ”kuumina pisteinä” metaanipäästöille, ja ojissa syntyvillä metaanipäästöillä voi olla huomattava vaikutus alan kasvihuonekaasutaseeseen (Waddington ja Day 2007; Minkkinen ja Laine 2006). Turvemaiden ojista syntyvien metaanipäästöjen suuruuden on huomattu kasvavan maankäytön intensiivisyyden kasvaessa, ojien metaanipäästöjen kolminkertaistuen ekstsensiivisellä nurmella ja kuusinkertaistuen intensiivisellä nurmella verrattuna metsäojitettuihin turvemaihin, kun tarkastellaan päästöjä ojista hehtaaria turvemaata kohden (Evans ym. 2016). Evansin ym. (2016) tutkimuksessa koottujen mittausten metaanipäästöt intensiivisen nurmimaan ojista vaihtelivat noin 15 - 100 kg CH₄ ha⁻² v⁻¹ välillä turvemaan pinta-alayksikköä kohden. Tämä vastaisi metaanin lämmityspotentiaaliarvoa 28 käyttäessä 0,42 – 2,8 t CO₂ ekvivalenttia vuosittaista hehtaarikohtaista lämmitysvaiikutusta. Evans ym. (2016) käyttivät artikkelissaan metaanille lämmityspotentiaaliarvoa 25, ja laskivat tämän perusteella intensiivisen nurmimaan ojien hehtaarikohtaisten vuosittaisten metaanipäästöjen olevan keskimäärin 1,5 t CO₂ ekvivalentin suuruusluokkaa.

2.1.4. Veden kuljettama hiili

Tämä kappale perustuu Evans ym. vuonna 2016 tekemään synteetitkimukseen. Evans ym. (2016) löysivät kirjallisuuskatsauksessaan yhteyden turvemaiden ojituksen ja liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) määrän välillä sekä huokosveden pitoisuuksissa, että vuosissa. Katsauksessa havaittiin liuenneen orgaanisen hiilen poistuman nousevan keskimäärin 62 % ojituksen seurauksena. Liuenneesta orgaanisesta hiilestä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt ovat vaikeasti mitattavia, sillä liennut orgaaninen hiili voi kulkea valumaveden mukana pitkiä matkoja joista järviin, järvistä meriin ja muuntua joko hiilidioksidiksi tai sedimentoitua lammen, järven tai meren pohjaan. Kirjallisuuskatsauksessa arvioidaan kuitenkin suurimman osan liuenneesta orgaanisesta hiilestä muuntuvan hiilidioksidiksi, ja sen aiheuttamiksi päästöjen arvioidaan olevan 0,41 – 1,05 t CO₂ eq ha⁻² v⁻¹ borealisella ja lauhkealla vyöhykkeellä. Ojittamisesta aiheutuvan liuenneen orgaanisen hiilen määrän kasvun huomattiin kuitenkin olevan käännettävissä uudelleen vetettäessä: muutos liuenneen orgaanisen hiilen määrässä oli keskimäärin -37 %, mikä on käänteisesti hyvin lähellä 62 prosentin lisäystä, jonka ojittaminen aiheutti. Ennallistamiseen liittyy kuitenkin hyvin paljon epävarmuutta, sillä joissain tutkimuksissa on havaittu liuenneen orgaanisen hiilen hävikin kasvavan välittömästi ennallistamisen seurauksena (Worrall ym. 2007; Zak ja Gelbrecht 2007), joten muutos ei välttämättä ole heti nähtävissä.

Partikkelimaisen orgaanisen hiilen (POC) hävikistä aiheutuvien päästöjen arvioinnissa on myös monta epävarmuustekijää, mutta Evans ym. (2016) arvioivat päästöjen olevan karkeasti 0,1 – 0,5 t CO₂ eq ha⁻² v⁻¹ suuruusluokkaa ojitetuilla turvemailla yleisesti, mutta myös huomauttavat, että päästöt voivat nousta jopa 5 t CO₂ eq ha⁻² v⁻¹ suuruusluokkaan aktiivisesti rappeutuvilla paljasturpeisilla alueilla. Tutkimuksessa arvioidaan liuenneen orgaanisen hiilen ja partikkelimaisen orgaanisen hiilen aiheuttavan yhdessä ojen metaanipäästöjen kanssa keskimäärin noin 1 t CO₂ eq ha⁻² v⁻¹ päästöt borealisilta metsäojitusalueilta, ja noin 2,7 t CO₂ eq ha⁻² v⁻¹ päästöt lauhkean vyöhykkeen ojitetulta nurmelta (Evans ym. 2016).

2.2. Viljelyongelmat

Turvepelloiksi ojitetut turvemaat voivat olla ongelmallisia huomattavien kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi myös viljelyteknisistä syistä. Suota ojitettaessa lohkon tuottavuus voi alussa parantua, mutta pidemmällä aikavälillä syvä ojitus ja toistuva kyntäminen voivat johtaa niin suuriin muutoksiin maaperän fysikaalisissa, kemiallisissa ja biologisissa ominaisuuksissa, että turvemaan biomassan tuottokyky ja sen tarjoamat muut ekosysteemipalvelut heikentyvät (Wichtmann ym. 2016).

Suomessa maatalouskäyttöön kuivatetut turvemaat ojitetaan yleensä 120cm syvyyteen (Regina ym. 2015). Ojitus keskeyttää turpeen muodostumisen suolla, ja käynnistää turvemaan painumaa aiheuttavat fysikaaliset prosessit, joihin kuuluu välitön huokosveden kuivumisesta johtuva turpeen voimakas tiivistyminen, ja veden tuen menettäneen kuivuneen pintaturpeen painon aiheuttama turpeen tiivistyminen vedenalaisessa turvekerroksessa (Wichtmann ym. 2016). Painumaa aiheuttaa fysikaalisten prosessien lisäksi samanaikaisesti alkava ojittamisen aiheuttamasta pohjavedenpinnan vajoamisesta johtuva hapekkaiden olosuhteiden mahdollistama kiihtynyt turpeen biologinen maatumisen ja mineralisaatio, joka johtaa orgaanisen aineksen hävikkiin ja maannoksen jatkuvaan vajoamiseen (Wichtmann ym. 2016; Leifeld ym. 2011). Painuma on pohjoismaisilla ojitetuilla turvemailla noin 0,5 – 2cm vuodessa (Grønlund ym. 2008), joten alhaisen pohjavedenpinnan säilyttämiseksi ojia on tasaisin väliajoin uusittava. Ojien uusiminen vaikeutuu turpeen maatuessa ja rakenteen tiivistyessä (Korhonen ym. 2008), johtaen myös ojitustyön kallistumiseen, etenkin kun ojia ei enää voida syventää ja kuivatusta joudutaan tehostamaan pumppaamisella (Wichtmann ym. 2016).

Turpeen tiivistyminen ja pintaturpeen laadun heikentyminen voivat aiheuttaa pellolle vettä läpäisemättömiä kerroksia, jotka voivat pintaturpeen alle muodostuessaan estää kapillaariveden nousua alemmista turvekerroksista aiheuttaen kesäisin kuivuusstressiä, ja toisaalta pintaturpeeseen muodostuessaan aiheuttaa rankkasateiden aikaan tulvia ja kasvikuolemia (Wichtmann ym. 2016). Maataloudessa käytettävä raskas kalusto voi pahentaa tiivistymistä entisestään. Turpeen painuminen, kutistuminen, tiivistyminen ja mineralisaatio aiheuttavat myös ravinteiden kertymistä pintaturpeeseen, jolloin kasvit

eivät kasvata juuriaan syväälle, mikä lisää myös kuivuusriskiä (Wichtmann ym. 2016). Muita ojituksen aiheuttamia ongelmia turvepellon viljelijälle voivat olla muun muassa ravinteikkaan pintamaan menetys tuulieroosiossa, kasveille saatavissa olevan vesivaraston pienenemisestä johtuvat huonommat sadot, pellon pinnan epätasaistumisesta johtuva vaikeampi koneiston liikuteltavuus ja suuret kosteuserot pellolla, ja joillakin maalajeilla turvekerroksen loppuun palaessa alta voi pahimmassa tapauksessa paljastua viljelykelvoton maa (Wichtmann ym. 2016).

2.3. Vesistö päästöt

Lannoitus ja ojituksen aiheuttama nopeutunut turpeen mineralisaatio lisäävät saatavilla olevan typen määrää, jolloin typpeä voi huuhtoutua turvepellolta, mikäli kasvillisuus ei kykene käyttämään sitä kokonaisuudessaan (Wichtmann ym. 2016). Typpeä huuhtoutuu vuosittain turvepelloilta kivennäismaiden peltoihin verrattuna kolminkertainen määrä, nurmelta 15 kg ha⁻¹ ja viljapelloilta 30 kg ha⁻¹ (Korhonen ym. 2008).

Fosforia huuhtoutuu vuodessa samansuuruinen määrä kuin kivennäismailta, noin 1 kg ha⁻¹ riippumatta kasvilajista tai lannoituksesta, mutta turvepellolta huuhtoutuva fosfori on yleensä liukoisessa muodossa, ja liukoisen fosforin käyttökelpoisuus vesistössä on suurempi kuin tiukasti maa-ainekseen sitoutuneen fosforin, josta kivennäismailta tulevan fosforikuorma voi koostua huomattavin osin (Korhonen ym. 2008).

Huuhtoutuvat ravinteet ovat ongelmallisia sekä viljelijälle, että vesistöille. Viljelijä ei saa täyttä hyötyä pellolle levittämistään lannoitteista, ja pellolta huuhtoutuvat ravinteet aiheuttavat pintavesien rehevöitymistä. Pintaturpeen kuivuminen tekee turvepellon alttiiksi tuulieroosiolle, mikä voi aiheuttaa hiukkaspäästöjä ja viljelykasvien, vesistöjen ja teiden likaantumista (Wichtmann ym. 2016), ja samalla viljelijä menettää ravinteikasta pintamaata pelloltaan.

3. Turvepellon vaihtoehtoiset käyttömuodot

Turvepeltojen korkeiden kasvihuonekaasupäästöjen voidaan edellä käsitellyn kirjallisuuden valossa nähdä pääosin johtuvan ojituksen aiheuttamasta muuttuneesta hydrologiasta, ja siitä seuraavista fysikaalisista, kemiallisista ja biologisista muutoksista turpeessa, jotka aiheuttavat turpeen nopeaa hajoamista. Turvepellon uudelleen vettäminen (ennallistamisen) on havaittu olevan tehokas keino turpeen aerobisen hajoamisen hidastamiseksi ja hiilidioksidi- ja dityppioksidipäästöjen leikkaamiseksi (Klove ym. 2017; Wilson ym. 2016; van de Riet ym. 2013), mutta vettäminen estää perinteisten kivennäismaiden maatalouskasvien käytön. Märillä kasvupaikoilla viihtyviä kasveja voidaan kuitenkin käyttää biomassan tuotantoon vetetyllä turvepellolla, jolloin puhutaan kosteikkoviljelystä. Kosteikkoviljelyä on tutkittu lähivuosina muun muassa Tanskassa (Karki ym. 2014; Karki ym. 2019) ja Saksassa (Günther ym. 2015; 2016; Huth ym. 2018), ja tulokset osoittavat kosteikkoviljelyn olevan tehokas tapa leikata kasvihuonekaasupäästöjä biomassan tuotanto säilyttäen.

Mikäli turvepeltoa ei voida vettä, turpeen hajoamista voidaan hidastaa myös mukauttavilla toimilla, esimerkiksi nostamalla vedenpintaa mahdollisimman korkealle, mutta kuitenkin niin, että esimerkiksi nurmen tuotanto on mahdollista (Regina ym. 2015). Säättösalaajituksen avulla vedenpinnan aktiivinen säätely on mahdollista tarpeen mukaan, jolloin vedenpinta voitaisiin esimerkiksi nostaa viljelyn aikana tavallista korkeammalle turpeen hajoamisen hidastamiseksi, ja laskea alemmaksi sadonkorjuun ajaksi maan kantokyvyn parantamiseksi.

Tuottamattomien tai tuottamattomaksi muuttuvien turvepeltojen metsitys voi myös vähentää pellon lämmitysvaikutusta (Alm ym. 2007; Maljanen ym. 2010), etenkin jos vaihtoehtona on peltolohkon hylkääminen, jolloin kasvihuonekaasupäästöt pysyvät korkeina ilman että lohko tuottaa mitään (Maljanen ym. 2007). Etenkin ohutturpeisten turvepeltojen vaihtoehtoiseksi käytöksi on ehdotettu metsitystä (Kekkonen ym. 2019).

3.1. Turvepellon ennallistaminen

Mikäli viljelijä ei koe tarpeelliseksi biomassan tuotantoa turvepeltolohkolla, yksinkertaisin keino turpeen hajoamisen ja kasviuonekaasupäästöjen hillitsemiseksi on turvepellon ennallistaminen suoksi. Ennallistamisen tärkein lähtökohta on alan hydrologian palauttaminen sellaiseksi, että vedenpinta pysyy riittävän lähellä maanpintaa läpi vuoden, mahdollistaen suokasvien leviämisen ja menestymisen alalla (Korhonen ym. 2008). Märkien olojen aikaansaamiseksi sisään tulevan veden (sade, pintavesi, pohjavesi) määrän tulee ylittää poistuvan veden (ulosvirtaus, pintavalunta, maaveden latautuminen, haihdunta) määrä (Lamers ym. 2015). Tämä tapahtuu tukkimalla ojat vedenpinnan nostamiseksi, ja palauttamalla kasvillisuus suokasvillisuudeksi, joko luonnollisen sukkession avulla lähistöllä olevia populaatioita hyödyntäen, tai siirtoistutuksin.

Turvemaat ovat sitoneet pitkäikäistä hiilidioksidia turvekerroksiin vuosituhansien ajan, ollen kuitenkin IPCC:n käyttämän 100 vuoden tarkastelujaksolla lyhytikäisistä metaanipäästöistä johtuen joko hiilineutraaleja tai pieniä lähteitä, josta johtuen turvemaiden tärkeimmän roolin ilmastonmuutoksen hillinnässä voi nähdä olevan niiden hiilivaraston säilyttämisessä (Paul ym. 2018). Turvepeltojen ennallistamiseen kuuluva pohjavedenpinnan nostaminen lähelle turpeen pintaa hidastaa merkittävästi orgaanisen aineen aerobista hajoamista ja siitä syntyviä hiilidioksidipäästöjä (van de Riet ym. 2013; Wilson ym. 2016; Haddaway ym. 2014), vähentää liuenneen orgaanisen hiilen päästöjä (Wilson ym. 2016), ja voi jälleen käynnistää hiilen sitoutumisen maaperään uuden turpeen muodossa (Wilson ym. 2016). Hydrologian ennallistaminen voi lakkauttaa dityppioksidipäästöt lähes kokonaan, mutta lisää usein myös metaanipäästöjä (Wilson ym. 2016; Kandel ym. 2019; Haddaway ym. 2014; van de Riet ym. 2013). Joissain tutkimuksissa kasvillisuudella on havaittu olevan suuri vaikutus hiilen sitoutumiseen ennallistetulla alalla ja esimerkiksi järviruoko on osoittautunut tehokkaaksi hiilensitojaksi Minken ym. (2016) tutkimuksessa, mutta Guenther ym. (2015) eivät havainneet merkittäviä eroja kasvilajien hiilensitomisessa omilla koealoillaan.

Ennallistettujen turvemaiden metaanipäästöt ovat paikkakohtaisia ja niissä on tyypillisesti suurta vaihtelua, johon vaikuttaa etenkin bioottisten- ja abioottisten erojen aiheuttamat erot kasvillisuudessa (Wilson ym. 2016; Minke ym. 2016), ja

metaanipäästöjen ja niiden vaihtelun on havaittu olevan yleisesti suurempaa minerotrofisissa letoissa, kuin ombrotrofisilla nevoilla (Tiemeyer ym. 2016; Wilson ym. 2016). Kasveilla joiden fysiologia on sopeutunut kaasujen kuljettamiseen maaperän ja ilmakehän välillä on merkittävä vaikutus alan metaanipäästöihin, sillä metaani pääsee kulkeutumaan maasta ilmakehään muun muassa aerenkymisolukkoja pitkin (Wilson ym. 2016). Esimerkiksi sarakasvit voivat toimia voimakkaina metaanin johtimina ilmakehään ja ne sen lisäksi myös kiihdyttävät metaanin muodostumista kuljettamalla hiiliyhdisteitä turpeeseen juuristonsa kautta (Korhonen ym. 2008). Yleistäen voidaan sanoa, että mitä paksumpi jäännösurve ennallistettavalla alalla on, ja mitä ravinteisempi suo on, sitä enemmän metaania yleensä muodostuu (Korhonen ym. 2008). Suuria metaanivirtoja on havaittu märkiä olosuhteita huonosti sietävien kasvien kuollessa massoittain ennallistamisen alussa pohjavedenpinnan noususta johtuen (Tiemeyer ym. 2016), tai kun ennallistetun turvemaan kasvillisuus on jostain syystä leikattu ja jätetty alalle hajoamaan vetisissä olosuhteissa (Kandel ym. 2019). Kandel ym. (2019) havaitsivat alalle hajoamaan jätetyn biomassan lisäävän myös hiilidioksidipäästöjä.

100 vuoden aikajänteellä ilmastonmuutoksen hillitsemisen kannalta ennallistamisen onnistumisen ratkaisee tasapaino vähentyvien hiilidioksidi- ja dityppioksidipäästöjen, ja lisääntyvien metaanipäästöjen välillä (van de Riet ym. 2013; Wilson ym. 2016). Metaanipäästöjen noususta huolimatta ennallistaminen laskee hiilidioksidi- ja dityppioksidipäästöjä niin merkittävästi, että ennallistamalla ojitettu turvemaan nurmi- tai viljapelto voidaan boreaalisella vyöhykkeellä saavuttaa keskimäärin noin 16 – 25 t CO₂ ekvivalentti vuosittainen päästövähennys hehtaaria kohden 100 vuoden päästökertoimia käytettäessä (Wilson ym. 2016).

Mikäli ennallistaminen onnistuu, ja vedenpinta saadaan palautettua lähelle turpeen pintaa, turpeen aerobinen hajoaminen lakkaa, ja koska raskaiden maatalouskoneiden käytölle ei ole ennallistetulla turvepellolla enää tarvetta myöskään turpeen tiivistyminen pysähtyy. Turpeen aerobisen hajoamisen ja tiivistymisen ollessa painumaa aiheuttavat kaksi tärkeintä komponenttia (Minkkinen ym. 2018), painuman voidaan olettaa lakkaavan kokonaan tai vähintään hidastuvan merkittävästi.

Ennallistamisen tavoitteena olevien luonnontilaa lähellä olevien soiden typpidynamiikka on usein hyvin tasapainottunut, saatavilla olevan typen sitoutuessa lähes kokonaan

kasvillisuuteen (Wichtmann ym. 2016). Puoliluonnollisen saraniityn typpipäästöiksi on mitattu Saksassa noin $5 \text{ Kg N ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$, -10 cm keskimääräisellä vedenpinnalla (Wichtmann ym. 2016), määrän vastatessa vain kuudesosaa suomalaisessa kirjallisuudessa ilmoitetusta typpipäästöistä turvepelloilta (Korhonen ym. 2008).

3.2. Kosteikkoviljely

Mikäli turvepeltoa halutaan käyttää biomassan tuotantoon ilmaston, ympäristön ja viljelyn jatkuvuuden kannalta kestävästi, lähtökohtana tulee olla korkean vedenpinnan palauttaminen turvekerroksen säilyttämiseksi. Turvepelloilla tämä tarkoittaisi ojien tukkimista ja vedenpinnan nostamista mahdollisimman lähelle turpeen pintaa, tai jopa sen yläpuolelle, jotta turve pysyisi hapettomissa olosuhteissa. Samoin kuin ennallistettaessa, myös kosteikkoviljelyssä korkea vedenpinta hidastaa orgaanisen aineen aerobista hajoamista ja lisää anaerobista hajoamista, vähentäen hiilidioksidi- ja dityppioksidipäästöjä ja kasvattaen metaanipäästöjä ojitettuun turvepeltoon verrattuna. Korkea vedenpinta estää perinteisten mineraalimailla viljeltävien satokasvien käyttämisen biomassan tuotannossa, mutta mahdollistaa kosteikoille sopeutuneiden kasvien hyödyntämisen. Kosteikkoviljelyyn sopivia kasveja, joiden hyödyntämisestä on maailmalta kokemusta, ovat muun muassa leveäosmankäämi (*Typha latifolia*), järviruoko (*Phragmites australis*), ruokohelvi (*Phalaris arundinacea*), sarat (*Carex*), tervaleppä (*Alnus glutinosa*), rahkasammalet (*Sphagnum spp.*) (Wichtmann ym. 2016).

Kuten ennallistetuilla turvemalla, hiilidioksidipäästöjen on myös kosteikkoviljelmissä havaittu laskevan vedenpinnan noustessa kohti maanpintaa (Karki ym. 2014; Günther ym. 2015). Keskimääräisesti turvemaiden päästöjen on havaittu kääntyvän negatiiviseksi (viljelmä sitoo enemmän hiilidioksidia kuin vapauttaa) keskimääräisen vedenpinnan noustessa maanpinnan yläpuolelle, ja hiilensidonnan kasvaessa vedenpinnan tasolle +10 cm asti, jonka jälkeen hiilidioksidin sitoutuminen pysyy vakiona (noin $2\text{--}3 \text{ t CO}_2 \text{ eq ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$) (Wichtmann ym. 2016). Dityppioksidipäästöt ovat usein merkityksettömiä kasvihuonekaasubudjetissa pohjavedenpinnan pysyessä turpeen pinnan ja -10 cm välissä (Tiemeyer ym. 2016; Karki ym. 2014; Günther ym. 2015), joten kosteikkoviljelyllä on potentiaalia leikata pitkäikäisiä, ja lämmitysvaikutukseltaan voimakkaita dityppioksidipäästöjä radikaalisti verrattuna ojitettuihin turvepeltoihin.

Kosteikkoviljelmien metaanipäästöt voivat olla hyvin vaihtelevia, riippuen muun muassa hydrologiasta ja kasvilajeista (Günther ym. 2015). Kasvua metaanipäästöissä on havaittu pohjavedenpinnan noustessa -20cm yläpuolelle, alemmilla vedenpinnan tasoilla CH₄ päästöjen ollessa merkityksettömiä kasvihuonekaasutaseen kannalta (Tiemeyer ym. 2016; Karki ym. 2014). Keskimääräiset metaanipäästöt kasvavat -20 cm vuosittaisen keskimääräisen vedenpinnan tasosta lineaarisesti noin +20 cm vedenpinnan tasoon asti, jonka jälkeen päästöt kasvavat vain maltillisesti +50 cm vedenpinnan tasoon asti (Wichtmann ym. 2016). Koillissaksassa tehdyssä kosteikkoviljelykokeessa metaanipäästöjen havaittiin olevan merkittävästi suurempia hetesaralohkolta (*Carex acutiformis*), kuin järviruoko- tai leveösmanikämilohkolta (Günther ym. 2015). Ero korostui etenkin runsassateisena vuotena (keskimääräinen vedenpinta 2 cm maanpinnan yläpuolella) verrattuna vähäsateisempaan vuoteen (keskimääräinen vedenpinta 9 cm maanpinnan alapuolella). Metaanipäästöt hetesaralohkolta olivat vähäsateisena vuotena noin kaksinkertaiset verrattuna järviruoko- ja leveösmanikämilohkoihin, mutta nelinkertaiset runsassateisena vuotena.

Kuten ennallistettaessakin, myös kosteikkoviljelyssä tasapaino vähenevien hiilidioksidin ja dityppioksidipäästöjen ja kasvavien metaanipäästöjen välillä ratkaisee alan lämmitysvaikutuksen. Karki ym. (2014) havaitsivat kokeessaan, jossa vedenpinta nostettiin -40 cm tasosta 0 cm tasolle, että metaanipäästöjen nousu vastasi lämmitysvaikutukseltaan vain noin 24 % veden pinnan noususta aiheutuvasta systeemistä vapautuvan hiilidioksidin määrän laskusta. Vastaavanlaisia tuloksia sai kokeessaan myös Van de Riet ym. (2013): vedenpintaa nostettaessa hiilidioksidipäästöjen lasku dominoi kasvihuonekaasutasetta metaanipäästöjen noususta huolimatta, ja vettäminen vähensi kokonaisuudessaan kasvihuonekaasupäästöjä. Huolimatta siitä, että tutkimuksia pidempiaikaisen sadonkorjuun vaikutuksesta kasvihuonekaasutaseeseen ei ole tiedossa, lyhyen aikavälin tulokset kosteikkoviljelykokeissa (Karki ym. 2014; 2016; Günther ym. 2015; Vroom ym. 2018) osoittavat kosteikkoviljelyn olevan potentiaalinen vaihtoehto kasvihuonekaasupäästöjä vähentäväksi turvepeltojen käyttömuodoksi, eikä biomassan korjuu ainakaan lyhyellä aikavälillä vaikuta merkittävästi peltoalan kasvihuonekaasutaseeseen (Günther ym. 2015).

3.3. Turvepellon metsitys

Metsitystä on ehdotettu etenkin ohutturpeisten turvepeltojen käyttövaihtoehdoksi (Kekkonen ym. 2019). Metsityksessä peltomaa muutetaan metsämaaksi istuttamalla alalle puustoa. Kasvava biomassa sitoo hiiltä ilmakehästä, mutta hapellisissa olosuhteissa oleva turvekerros on edelleen alttiina hajoamiselle, ja vapauttaa hiilidioksidia (Lohila ym. 2007).

Nettahiilenkiertoa metsitetyllä turvepellolla on tutkittu kuitenkin hyvin vähän, Lohilan ym. (2007) kokeen ollessa ainoa tiedossa oleva tutkimus. Lohila ym. (2007) havaitsivat entiselle orgaaniselle viljelysmaalle perustetulla 30 vuotiaalla mäntyplantaasilla Länsi-Suomessa viljelmän puiden ja kenttäkasvillisuuden sitovan lähes saman määrän hiiltä, kuin mitä vapautui samanaikaisessa turpeen hajoamisessa. Eddy kovarianssi -tekniikalla mitatun vuosittaisen vapautuvan hiilidioksidin määrän havaittiin olevan $0,50 \text{ t ha}^{-1}$ kokeen ainoana mittausvuotena. Tämän perusteella metsitetyn turvepeltoalan voisi todeta olevan hyvin vaatimaton hiilidioksidin lähde, mutta toisin kuin kosteikkoviljelyssä (Günther ym. 2015), metsityksen tapauksessa biomassaan sitoutuva hiiltä ei lasketa saman vuoden päästöiksi, biomassaan sitoutuvan hiilivaraston väliaikaisesta luonteesta huolimatta. Mäkiranta ym. (2007) olivat mitanneet samalla alalla metsitetyn turvepellon maaperän vapauttavan turpeen hajoamisesta johtuen vuosittain 17,6 tonnia hiilidioksidia hehtaaria kohden. Lohila ym. (2007) arvioivat tutkimuksessaan, että turpeen hajoamisessa vapautuvasta hiilidioksidista puiden biomassa olisi sitonut 8,7 tonnia, ja täten 8,4 tonnia hiilidioksidia sitoutui muualle systeemiin, mittausten ulkopuolelle. Huomattavasta mahdollisesta turpeen hajoamisesta huolimatta, metsitetyn turvepellon hiilidioksidipäästöt ovat kuitenkin viljeltyjä turvepeltoja pienemmät (Maljanen ym. 2010).

Metsitettyjen turvepeltojen kasvihuonekaasutasetta on tutkittu enemmän metaanin ja dityppioksidin osalta. Dityppioksidipäästöjen ei ole havaittu laskevan viljeltyjen turvepeltojen tasosta, ja metsitetyt turvemaat voivat olla pohjavedenpinnasta riippuen joko pieniä metaanin lähteitä tai nieluja (Maljanen ym. 2010). Kokonaisuudessaan turvepellon metsityksen voidaan Lohilan ym. (2007) ja Mäkirannan ym. (2007) tutkimusten valossa todeta laskevan runsaasti hiilidioksidipäästöjä lyhyellä aikavälillä, ja

laskevan niitä ainakin hieman pitkällä aikavälillä, dityppioksidipäästöjen pysyessä ennallaan ja turpeen hajoamisnopeuden pysyessä edelleen korkeana.

Sopivalla paikalla metsitys on mahdollista toteuttaa myös korkeammalla vedenpinnalla, hyödyntäen märillä kasvupaikoilla viihtyviä puulajeja, kuten tervaleppää ja hieskoivua. Tällöin hiilen sitoutuminen puuston biomassaan on mahdollista yhdistää korkean vedenpinnan mahdollistamaan turvekerroksen suojelemiseen aerobiselta hajoamiselta. Nuorten tervaleppien on havaittu vähentävän saraniityn metaanipäästöjä, ja mahdollistavan lohkon muutoksen pienestä kasvihuonekaasujen nettolähteestä nieluksi (Huth ym. 2018).

3.4. Säättösalaajitus

Säättösalaajituksen avulla pellon pohjavedenpintaa voidaan säätää aktiivisesti viljelykasvin vedentarpeen mukaan (Nieminen 2017). Kosteikkoviljelyssä pohjavedenkorkeutta säädellään myös säättösalaajin, mutta tässä työssä tarkastellaan pelkän säättösalaajituksen vaikutusta turvepellon toimintaan tilanteessa, joissa viljelykasveina pidetään edelleen perinteisiä maatalouskasveja.

Säättösalaajituksen on näytetty vähentävän pellon ravinnehävikkiä tarkemman vesitalouden ja kokonaisvalunnan vähenemisen kautta (Nieminen 2017). Säättösalaajituksen avulla vedenpintaa on myös mahdollista nostaa tavallista korkeammalle, jolloin turpeen hapellista hajoamista voitaisiin ainakin teoriassa vähentää.

4. Metodit ja aineisto

4.1. Monitavoitteinen päätösanalyysi

Turvelpeltojen eri käyttömuotojen soveltuvuutta erilaisiin tavoitteisiin arvioidaan tässä työssä monitavoitteista päätösanalyysia käyttäen. Monitavoitteista päätösanalyysia käytetään vaihtoehtoisten systeemien keskinäiseen arviointiin (Parnell ja Trainor 2009; Belton ja Stewart 2002), ja sitä on viimeaikoina käytetty Suomessa muun muassa turvemaan ekosysteemipalveluiden arvottamiseen, vertailemalla skenaarioita erilaisilla

turpeennoston määrillä keskenään (Saarikoski ym. 2019). Beltonin ja Stewart (2002) kuvaavat monitavoitteisen päätösanalyysin prosessin pääperiaatteet seuraavalla tavalla: Ensimmäiseksi tunnistetaan ja rakennetaan ongelma sisällyttäen indikaattorit ja vaihtoehdot. Toiseksi tarkastellaan vaihtoehtojen suoriutumista kullakin indikaattorilla. Kolmanneksi selvitetään asianomaisten preferenssit pyytämällä heitä painottamaan kunkin indikaattorin tärkeys. Neljänneksi arvioidaan vaihtoehtojen kokonaissuoriutuminen matemaattisen mallin avulla ja viidenneksi analysoidaan tulosten herkkyyys mallin parametrien muutoksille. Seuraavissa kappaleissa kuvataan, kuinka näitä pääperiaatteita on toteutettu tässä työssä.

4.1.1. Ongelma, indikaattorit ja vaihtoehdot

4.1.1.1. Ongelma

Primäärinen ongelma, johon tässä gradutyössä keskitytään, on ojituksesta johtuva turpeen hapellinen hajoaminen turvepelloilla ja siitä seuraavat korkeat kasvihuonekaasupäästöt, ja toisaalta epävarmuus kasvihuonekaasupäästöjä vähentävien toimenpiteiden, ts. vaihtoehtoisten käyttömuotojen sopivuudesta viljelijöiden tavoitteisiin. Ongelma on monitahoinen, sillä päästöjä merkittävästi alentavat toimenpiteet pitävät sisällään vaatimuksen turvepellon käyttömuodon vaihtamiseksi sellaiseksi, jossa siirrytään pois viljan- tai nurmen intensiivisestä viljelystä. Tämä voi olla ristiriidassa viljelijöiden mahdollisten tavoitteiden kanssa.

4.1.1.2. Indikaattorit

Kuten Saarikosken ym. (2019) tutkimuksessa, kerättiin myös tässä työssä turvepeltoihin liittyvät ekosysteemipalvelut käyttäen hyödyksi CICES 5.1. (Common International Classifications of Ecosystem Services) tietokantaa. CICES:in on havaittu olevan laajuutensa vuoksi hyvä työkalu tuotannollisten, säätelevien ja kulttuurillisten indikaattorien keräämiseksi, jotta kaikki ekosysteemipalvelut tulevat huomioiduksi (Saarikoski ym. 2019).

Monitavoitteisessa päätösanalyysissa on syytä kiinnittää huomiota siihen, että indikaattorien määrä pysyy hallittavana, indikaattorit ovat relevantteja, eivätkä indikaattorit leikkaa keskenään tupla-laskennan välttämiseksi (Mustajoki ym. 2019). Useissa CICES:in sisältämissä ekosysteemipalveluissa oli keskinäistä leikkaavuutta, eivätkä kaikki luetellut ekosysteemipalvelut olleet relevantteja turvepeltojen osalta, ja tällaiset indikaattorit karsittiin analyysistä. Ensimmäisen karsimisen jälkeen osa jatkoon päässeistä indikaattoreista putosi myös pois sen vuoksi, ettei kirjallisuudesta löytynyt joko ollenkaan, tai riittävästi tutkimustietoa vaihtoehtojen suoriutumista indikaattoreilla, jolloin indikaattoreita ei voitu hyödyntää analyysissa. CICES:in sisältäessä ainoastaan ekosysteemipalveluita, turvepellon taloudellista toimintaa kuvastavia asiantuntijalausuntoon (Lehtonen H. 2019) perustuvia indikaattoreita oli lisättävä kriteeristöön, niiden ollessa epäilemättä tärkeitä viljelijöille ja vaikuttavan suuresti turvepellon valittuun käyttötapaan. Lopullisia päätösanalyysissa käytettäviä indikaattoreita valikoitui tähän työhön 13 kappaletta: 6 taloudellista, 2 tuotannollista, 3 säätelevää ja 2 kulttuurillista suoriutumista mittaavaa indikaattoria.

Monitavoitteisesta päätösanalyysia tehdessä on eduksi, mikäli asianomaiset ovat mukana indikaattorien luomisessa, sillä tällöin asianomaisten sitoutuminen prosessiin on vahvempaa, ja he voivat nostaa esille indikaattoreita jotka ovat voineet jäädä huomiotta (Mustajoki ym. 2019). Tämän gradutyön aikatauluista johtuen tapaamisia asianomaisten, eli viljelijöiden, kanssa ei ollut järjestettävissä, joten on mahdollista, että kaikki relevantit indikaattorit eivät ole mukana tämän työn analyysissa.

4.1.1.3. Vaihtoehdot

Intensiivinen kauran viljely syvällä ojituksella valittiin turvepeltojen käyttömuotojen vertailun referenssitilaksi. Referenssikäyttömuotoa vasten vertailtiin yhtätoista kasvihuonekaasuja potentiaalisesti vähentävää vaihtoehtoista käyttömuotoa, jotka voidaan jakaa pohjavedenpinnankorkeuden mukaan karkeasti matalan ja korkean vedenpinnan vaihtoehtoihin. Matalan vedenpinnan vaihtoehdoiksi kauran viljelyn lisäksi valikoitui syvälle ojitettu säilörehunurmen viljely, peltoheitto (kesanto, jota pidetään viljelykelpoisena maataloustukien saamiseksi), säätosalojitettu kauran ja säilörehunurmen viljely, sekä metsitys matalalla vedenpinnalla (kuusi-koivu sekametsä). Korkean vedenpinnan vaihtoehdoiksi valittiin ruokohelpilaidun, ruokohelven viljely

säilörehuksi, osmankäämin viljely rakennuslevyksi, järviruo'on viljely kasvatusalustaksi, ennallistaminen, sekä metsitys korkealla vedenpinnalla (tervaleppä). Valinnat vaihtoehtoisiksi turvepellon käyttömuodoiksi perustuvat niin yleisiin vallitseviin turvepellon viljelymuotoihin, kuin kokeellisempiin korkeamman vedenpinnan viljelymuotoihin, joilla alustavan kirjallisuuden mukaan turvepeltojen kasvihuonekaasupäästöjä on onnistuttu vähentämään.

4.1.2. Vaihtoehtojen suoriutuminen indikaattoreilla, x_i

Jokaisen turvepellon käyttövaihtoehdon taloudellista, tuotannollista, säätelevää ja kulttuurillista suoriutumista ilmentävälle indikaattorille arvioitiin kirjallisuuden ja asiantuntijalausuntojen perusteella keskiarvo, ja arvot taulukoitiin. Vaihtoehtojen suoriutumista tuotannollisilla ja säätelevillä indikaattoreilla arvioitiin niin pitkälle kuin mahdollista kirjallisuuskatsauksen avulla, ja kulttuurillisten indikaattorien arvot kullekin käyttövaihtoehdolle arvioitiin työryhmässä portaittaisella asteikolla. Vaihtoehtojen suoriutumista taloudellisilla indikaattoreilla tarkasteltiin Maatalouskalenterissa 2019 olevien ProAgrian vuoden 2018 laskelmien avulla niillä käyttömuodoilla, joilla tämä oli mahdollista, ja muihin käyttömuotoihin suoriutuminen haettiin asiantuntijalausuntoja hyväksikäyttäen. Taulukoiduista arvoista kerättiin kullekin indikaattorille minimi- ja maksimiarvo, sillä indikaattorin tärkeyttä painotettaessa on äärimmäisen olennaista, että päätöksentekijä näkee kuinka suuri vaihteluväli kullakin indikaattorilla on (Parnell ja Trainor 2009).

4.1.3. Indikaattorien painottaminen, w

Indikaattorien painotuksessa oli tarkoitus soveltaa SWING -metodia, jossa painotusta annettaessa otetaan huomioon sekä indikaattorin tärkeys, että myös sen vaihteluväli (Parnell ja Trainor 2009). Indikaattorien painotus oli tarkoitus suorittaa tässä työssä viljelijöille lähetettävän sähköisen kyselylomakkeen avulla, jossa viljelijää pyydettiin ensin järjestämään taloudelliset indikaattorit tärkeysjärjestykseen, jonka jälkeen heitä pyydettiin painottamaan kukin taloudellinen indikaattori asteikolla 0-10. Kyselylomakkeessa viljelijää pyydettiin tämän jälkeen tekemään samoin tuotannollisten, säätelevien ja kulttuurillisten indikaattorien kohdalla. Osa-alueiden sisällä olevien

indikaattorien saamat painot normalisoitiin jakamalla kunkin indikaattorin saama paino kaikkien osa-alueen indikaattorien saamien painojen summalla, jolloin indikaattorien saamien painojen summa on 1 kunkin osa-alueen sisällä. Viimeiseksi viljelijää pyydettiin vielä pisteyttämään kukin osa-alue asteikolla 0-100, antamalla ensiksi tärkeimmälle osa-alueelle 100 pistettä ja suhteuttamaan muiden osa-alueiden tärkeys tähän. Kunkin osa-alueen sisältämien indikaattorien painot kerrottiin kyseisen osa-alueen suhteellisella painolla, ja näin saatiin muodostettua lopullinen preferenssien mukainen painokerroin kullekin indikaattorille.

Kyselylomake lähetettiin ensin tutkijaryhmälle kokeiltavaksi ja kommentoitavaksi. Vastauksia saatiin 5 kappaletta. Tämän jälkeen kyselylomaketta levitettiin viljelijöille ProAgrian kontaktien kautta, mutta ainuttakaan vastausta kyselylomakkeeseen ei onnistuttu saamaan. Aikataulullisista syistä viljelijöiden suorittama indikaattorien painotus jouduttiin korvaamaan painokertoimien simuloimisella.

Simulaatio toteutettiin Microsoft Exceliin ladattavissa olevalla lisäosalla, Simulación 4.0:lla. Kyselylomakkeen periaatteita noudattaen simuloitiin ensin jokaiselle indikaattorille satunnaiset normaalijakaumaa noudattavat painokertoimet 0-100 väliltä (vrt. kyselylomakkeessa 0-10 väliltä), jonka jälkeen simuloitiin osa-alueiden (talous, tuotanto, sääätely, kulttuuri) suhteellinen keskinäinen tärkeys välillä 0-1, niin että osa-alueiden painojen summa = 1. Osa-alueiden sisältämien indikaattorien painokertoimet kerrottiin osa-alueiden suhteellisella tärkeydellä, jolloin tuloksena saatiin lopulliset painokertoimet kullekin indikaattorille. Simulaation avulla luotiin 200 iteraatiota, joka vastaisi 200 vastausta kyselylomakkeeseen.

4.1.4. Vaihtoehtojen kokonaissuorituminen, $v(x)$

Monitavoitepäättösanalyysissä vaihtoehtojen kokonaissuoritumista voidaan mitata erilaisten matemaattisten mallien avulla, joista yleisin ja myös tässä työssä käytettävä, lisätyn arvon malli, kuvataan tässä Parnellin ja Trainorin (2009) mukaan:

$$v(x) = \sum_{i=1}^n w_i v_i(x_i)$$

jossa

$v(x)$ on vaihtoehdon arvo

$i = 1$:stä n :ään on arvomittausten (indikaattorien) lukumäärä

x_i on vaihtoehdon pisteet i :nnellä arvomittauksella (indikaattorilla)

$v_i(x_i)$ on x_i :n pisteiden yksiulotteinen arvo

w_i on i :nnen arvomittauksen (indikaattorin) painokerroin

ja

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

eli kaikkien painokertoimien summa on yksi.

Mallin avulla voidaan arvioida tavoitteiden välisiä trade-offeja tutkimalla vaihtoehdon kontribuutiota indikaattoreihin ja jokaiselle indikaattorille painokertoimista saatua suhteellista tärkeyttä (Parnell ja Trainor 2009). Arvofunktio, $v_i(x_i)$, normalisoi vaihtoehdon arvomittauksessa saamat pisteet (x_i) skaalalle [0-1]. Painokerroin, w_i , muodostetaan kertomalla osa-alueen sisällä olevalle indikaattorille annettu paino kyseisen osa-alueen saamalla suhteellisella painolla.

Monitavoitteisen päätösanalyysin tulokseksi saadaan mallin avulla laskettua jokaiselle turvepellon käyttövaihtoehdolle tavoiteprofiilikohtaiset pisteet asteikolla [0-1], jolloin käyttömuodoista voidaan valita parhaiten tavoitteisiin sopiva vaihtoehto.

Vaihtoehtojen kokonaissuoriutumista tarkastellaan tässä työssä ensin preferensseistä riippumattomilla normalisoiduilla painotuksilla, jonka jälkeen tarkastellaan vaihtoehtojen suoriutumista tutkijaryhmän painotuksilla ja lopuksi simulaation tuottamilla painotuksilla.

4.1.5. Tulosten herkkyys parametrien vaihtelulle

Tulosten herkkyyttä parametrien, tässä tapauksessa indikaattorien arvojen, vaihtelulle tulisi arvioida monitavoitteisessa päätösanalyysissä. Herkkyystarkastelu on tarpeellinen, sillä indikaattorien saamista arvoissa eri vaihtoehdoille on suurta epävarmuutta, ja tarkastelu paljastaa epävarmuuksien vaikutuksen mallin lopputulokseen. Parametrien epävarmuus tässä työssä johtuu muun muassa Suomen ulkopuolelta kerätyn aineiston

käytöstä indikaattorien saamien arvojen arvioinnissa turvepellon käyttövaihtoehtojilla, joita ei ole vielä tutkittu Suomessa, ja toisaalta siitä, että jokainen turvepeltolohko on yksilöllinen, ja on hyvin todennäköistä, että yksi indikaattorikohtainen arvo jokaiselle vaihtoehdolle ei kuvaa tarkasti yksittäistä peltolohkoa. Aikataulullisista syistä johtuen, ja viljelijöiden painotusten puutteesta johtuen herkkyystarkastelua ei tässä gradutyössä tehdä, tarkastelun ollessa mielekkäämpi vasta varsinaisilla viljelijöiden painotuksilla. Tämän työn sisältäessä 156 parametria, tarkastelu olisi myös liian laaja suhteessa tämän työn kokonaisuuteen.

4.2. Kyselylomake

Indikaattorien painottamista varten viljelijöille lähetettävä sähköinen lomake luotiin tässä työssä käyttäen Google Forms:ia. Kyselylomakkeessa esiteltiin lyhyesti aluksi turvepeltojen viljelyyn liittyvistä ongelmista kasvihuonekaasupäästöt ja painuma, ja esiteltiin tämän jälkeen vaihtoehtoisina turvepellon käyttömuotoina lyhyesti kosteikkoviljely (järviruoko, osmankäämi ja ruokohelppi), metsittäminen korkealla ja matalalla vedenpinnalla, säätösalaajitus ja ennallistaminen. Alkuesittelyn tarkoituksena oli avata sekä vastaajan ajattelua, että selventää kyselyssä vastaantulevaa termistöä.

Varsinainen kyselyosio aloitettiin viljelijän taustatietoja kartoittamalla. Viljelijän ikäryhmän ja maatilain sijainnin lisäksi tiedusteltiin tilan tuotantosuuntaa ja kokoa, ja arviota turvepeltojen osuudesta kokonaispeltopinta-alasta. Viljelijää pyydettiin myös arvioimaan turpeen paksuutta turvepelloilla, arvioimaan turvepeltojensa tuottavuutta, kertomaan mahdollisista kohdatuista viljelyongelmista ja tehdyistä ympäristömyönteisistä toimista turvepelloillaan. Osion lopussa pyrittiin vielä kartoittamaan millaisesta viitekehuksesta viljelijä kyselyyn vastaa, ja viljelijää pyydettiin valitsemaan kaikista 13:sta turvepellon käyttömuodoista ne, joista hän on aikaisemminkin kuullut, ja vastaamaan asteikolla (0-10) kuinka samaa mieltä hän on väittämästä, jonka mukaan viljelijän on tehtävä osansa ilmastonmuutoksen hillinnäksi.

Luvussa 4.1.3. kuvatus indikaattorien painottamisen jälkeen kyselyssä oli vielä avoin osio, jossa kysyttiin vapaamuotoisesti viljelijän omaa näkemystä parhaaksi turvepellon käyttötavaksi hänen omalla turvepelloillaan. Avoimessa osiossa pyrittiin selvittämään

myös viljelijän valmiuksia kosteikkoviljelyyn tiedustelemalla olisiko viljelijän turvepeltojen nykyinen tuotanto mahdollista siirtää kivennäismaille, ja voisiko viljelijä harkita vaihtoehtoisten materiaalien tuotantoa vähintään osalla turvepelloillaan. Viimeisenä viljelijöiltä kysyttiin, missä määrin he pitävät turvepeltoja realistisena mahdollisuutena toteuttaa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä kohtuukustannuksin.

5. Tulokset

5.1. Vaikutusindikaattorit ja niiden arvot vaihtoehdoilla

5.1.1 Taloudelliset indikaattorit

Taloudelliset indikaattorit kuvataan taulukossa 1. Indikaattoreita muodostettiin kuusi kappaletta. Katetuotto ilmoitettiin kate A:na, joka saadaan vähentämällä tuotoista muuttuvat kustannukset. Vuosittaista hehtaarikohtaista katetta arvioitiin 20 vuoden ajanjaksolla, joka jaettiin viiteen ensimmäiseen vuoteen (kate A_{0-5v}), ja sitä seuraavaan viiteentoista vuoteen (kate A_{5-20v}). Käyttömuotokohtainen vuosittainen työmäärä arvioitiin tunteina hehtaaria kohden, kertaluontoinen investointi ja maan arvo euroina hehtaaria kohden, ja markkinoiden vakautta arvioitiin rakennetulla kolmiportaisella asteikolla.

Taulukko 1. Taloudellisten indikaattorien arvot kullakin käyttömuodolla.

	kate A 0-5v, € ha ⁻¹ v ⁻¹	kate A 5-20v, € ha ⁻¹ v ⁻¹	työ- tunnit, h v ⁻¹	inves- toinnit, € ha ⁻¹	maan arvo, € ha ⁻¹	markkinoiden vakaus, rakennettu asteikko 0-2
1) Kauran viljely	621	621	8	0	8767	1
2) Säilörehunurmen viljely	1042	1042	16	0	8767	2
3) Peltöheitto	450	450	1	0	2500	2
4) Säättösalaajitettu kauran viljely	497	621	9	3305	10767	1
5) Säättösalaajitettu säilörehunurmen viljely	834	1042	17	3305	10767	2
6) Kosteikkoviljely 1: ruokohelpilaidun	326	543	4	958	8000	1

7) Kosteikkoviljely 2: ruokohelppi säilörehuksi	438	730	16	958	8000	1
8) Kosteikkoviljely 3: osmankäämi rakennuslevyksi	799	1332	6	1736	2500	0
9) Kosteikkoviljely 4: Järviruoko kasvatusalustaksi	76	126	6	2700	2500	0
10) Ennallistaminen	0	0	1	500	0	2
11) Metsitys matalalla vedenpinnalla: kuusi-koivu-sekametsä	0	-59	0	2000	2100	0
12) Metsitys korkealla vedenpinnalla: tervaleppä	0	-27	0	2500	2100	0

Kate A_{0-5v} :n arvot kerättiin kauran viljelyn, säilörehunurmen viljelyn ja peltoheiton (peltoheiton katteena pelkät tuet) osalta Maatalouskalenteri 2019:sta. Katteen ei oletettu muuttuvan ajassa, joten kate A_{5-20v} :n arvot kyseisillä käyttövaihtoehdoilla pysyivät samoina. Säättosalaojitettun kauran ja säilörehunurmen viljelyn osalta kate A_{0-5v} muodostettiin kertomalla kauran ja säilörehunurmen katteet kertoimella 4/5, sillä säättosalaojituksen asennus häiritsee todennäköisesti ensimmäisen vuoden satoa. Säättosalaojituksen asennusvuotta lukuun ottamatta kate oletettiin samaksi kuin säättosalaojittamattomissa vaihtoehdoissa, joten kate A_{5-20v} :n arvot eivät eroa näistä.

Ruokohelvestä valmistetun säilörehunurmen kate A_{0-5v} muodostettiin olettamalla rehun arvoksi puoleksi nurmirehun arvosta ja olettamalla että viljelystä maksetaan 480 euroa hehtaarilta maataloustukia, ja vähentämällä tästä lannoitus, kalkitus, traktorityö, säilöntäaine ja säilöntämuovi (liite 2), ja kertomalla tulojen ja menojen erotus kertoimella 3/5, olettaen että ruokohelppi, kuten järviruokokin, voidaan korjata ensimmäisen kerran kolmantena vuonna viljelmän perustamisesta (Wichtmann ym. 2016), ja olettamalla kahden ensimmäisen vuoden tulot, menot ja tuet nollassa viljelmän vakiintuessa. Kate A_{5-20v} muodostettiin kertomattomista arvoista. Ruokohelpilaitumen tukien ulkopuolisten tulojen oletettiin karkeasti olevan 1/3 ruokohelpisäilörehunurmeen tuloista (Lehtonen H, suullinen arvio 2019). Näihin tuloihin lisättiin 480 euron maataloustuki, ja Kate A_{5-20v} muodostettiin vähentämällä tuloista lannoitus ja kalkitus (liite 2). Ruokohelpilaitumen Kate A_{0-5v} muodostettiin kertomalla Kate A_{5-20v} kertoimella 3/5,

oletuksella että perustamisvuonna ja viljelmän vakiintumisvuonna tuloja tai menoja ei tule.

Toisin kuin ruokohelpeä, osmankäämiä ei lueta tukikelpoiseksi maatalouskasviksi. Osmankäämin kosteikkoviljelyn kate A_{5-20v} muodostettiin kertomalla asiantuntijahaastatteluun (Wichmann S. 2020) perustuva osmankäämistä Saksassa maksettava keskihinta (200 €/t) arvioidulla vuosittaisella hehtaarikohtaisella satomäärällä (taulukko 2), ja vähentämällä tästä menot (liite 2), jotka muodostuivat lannoituksesta, kalkituksesta, traktorityöstä, kuivauksesta ja kuljetuksesta. Osmankäämin kosteikkoviljelyn kate A_{0-5v} saatiin kertomalla kate A_{5-20v} kertoimella $3/5$, sillä osmankäämiviljelmän perustamisesta ensimmäiseen täysimittaiseen sadonkorjuuseen oletettiin kuluvan 3 vuotta (van Beek ym. 2015).

Järviruokoa ei myöskään lueta EU:n maatalouslainsäädännössä tukikelpoiseksi viljelykasviksi, joten kasvatusalustaksi viljeltävän järviruo'on kosteikkoviljelyn katteet muodostettiin kertomalla asiantuntijalausuntoon perustuva hinta-arvio, n. 50 € /t, (Turunen A., sähköpostiviesti 2020) ja arvioidulla satomäärällä (taulukko 2), ja vähentämällä tästä arvioidut menot (liite 2), jotka muodostuivat lannoituksesta, kalkituksesta, traktorityöstä ja kuljetuksesta. Järviruokoviljelmän perustamisesta ensimmäiseen sadonkorjuuseen oletettiin kuluvan kolme vuotta (Wichtmann ym. 2016), joten kuten muissakin kosteikkoviljelyvaihtoehdoissa, pidemmän aikavälin katteen oletettiin nousevan kolmannelta vuodelta eteenpäin.

Ennallistamisen katteet oletettiin nollassa, sillä ojien tukkimisen jälkeen tuloja tai menoja ei oletettu tulevan. Sekä metsityksen korkealla, että matalalla vedenpinnalla katteet A_{0-5v} oletettiin nollassa ja katteet A_{5-20v} negatiivisiksi, sillä 20 ensimmäisen vuoden aikana metsittämisestä tuloja ei todennäköisesti tule, mutta taimikonhoito molemmissa käyttövaihtoehdoissa, ja varhaisperkaus metsityksessä matalalla vedenpinnalla aiheuttavat menoja.

Työtunnit kullekin vaihtoehdolle arvioitiin Maatalouskalenteria (2019), sekä asiantuntijalausuntoja (Lehtonen H., lausunto palaverissa 2019) hyväksikäyttäen. Työtuntien määrät perustuivat vuosittaisten korjuiden lukumäärään ja tuotannon intensiivisyyteen. Poikkeuksina olivat ennallistaminen ja metsittäminen, joissa työtunteja

ei joko tehty (ennallistaminen), tai ne ostettiin ulkopuolelta (metsittäminen matalalla ja korkealla vedenpinnalla).

Investoinnit kauran viljelyssä, säilörehunurmen viljelyssä ja peltoheitossa asetettiin nollassi, sillä tässä työssä näitä kohdeltiin 'business as usual' -vaihtoehtoina, niiden ollessa nykyisiä vallitsevia maankäytön muotoja turvepelloilla. Turvepellon muuttaminen muihin käyttömuotoihin vaatii investoinnin. Säättösalojituksen asentamisen arvioitiin vaativan noin 3305 euron investoinnin hehtaaria kohden ("38 hehtaarin lohko säättösalojiin" 2018). Kosteikkoviljelyssä ja ennallistamisessa ojien tukkimiseksi tarvittavan kaivuutyön kustannuksiksi arvioitiin 500 euroa hehtaarilta (Kotiahho ym. 2015). Muita tarvittavia investointeja ovat siemen- ja taimimateriaali, sekä osmankäämin kosteikkoviljelyn tapauksessa vaaditut kasteluputket ja maatyöt (Wichtmann 2016). Ruokohelven ja osmankäämin kosteikkoviljelmät oletettiin perustettavaksi siemenistä, ja järviruo'on taimista, sillä siemenkylvön ollessa edullisempi vaihtoehto, järviruokoviljelmän perustaminen onnistuu tehokkaasti vain taimista (Wichtmann ym. 2016). Ennallistettaessa on myös mahdollista hakea ei-tuotannollisten investointien korvausta ELY-keskukselta kaivuukustannusten kattamiseksi, mutta tätä ei huomioitu laskelmissa. Matalan vedenpinnan metsityksen investoinnit muodostettiin asiantuntijalausannon perusteella, ja korkean vedenpinnan metsityksessä investointiin lisättiin vielä ojitustyö.

Kauran ja säilörehunurmen viljelyssä maan arvona käytettiin pellon keskimääräistä hehtaarihintaa (Niittymaa, 2018), peltoheitossa maan arvona käytettiin Lapin pellon hintaa, ja säättösalojituksen arvioitiin parantavan maan arvoa 2000 euroa hehtaarilta. Ruokohelven ollessa tukikelpoinen kasvi, maan arvon ei oletettu merkittävästi laskevan keskimääräisen pellon hinnasta ruokohelpilaitumen ja ruokohelven säilörehuviljelyn käyttömuodoissa. Osmankäämin ja järviruo'on viljelyn oletettiin laskevan maan arvoa lapin pellon tasolle, ja ennallistamisen ja molempien metsittämisten laskevan maan arvon nolnaan. Markkinoiden vakautta arvioitiin rakennetulla kolmiportaisella asteikolla asiantuntijalausuntoon perustuen.

5.1.2. Tuotannolliset indikaattorit

Tuotannolliset indikaattorit kuvataan taulukossa 2. Kaikki valitut käyttövaihtoehdot tuottivat joko myyntikelpoista satoa elintarvikkeeksi tai rehuksi, tai vaihtoehtoisia materiaaleja teollisuuden käyttöön, pois lukien ennallistaminen, ja metsitykset, jotka eivät tarkasteltavalla aikajaksolla vielä tuota puuta.

Taulukko 2. Tuotannollisten indikaattorien arvot kullakin käyttömuodolla.

	Myyntikelpoisen sadon tuotto elintarvikkeeksi tai rehuksi, kg ha ⁻¹ v ⁻¹	Vaihtoehtoisten materiaalien tuotanto, kg ha ⁻¹ v ⁻¹
1) Kauran viljely	4000	-
2) Säilörehunurmen viljely	9000	-
3) Pelloheitto	-	-
4) Säätosalaojitettu kauran viljely	4000	-
5) Säätosalaojitettu säilörehunurmen viljely	9000	-
6) Kosteikkoviljely 1: laidun ruokohelpi	8435	-
7) Kosteikkoviljely 2: Ruokohelpi säilörehuksi	8435	-
8) Kosteikkoviljely 3: osmankäämi rakennuslevyksi	-	8800
9) Kosteikkoviljely 4: Järviruoko kasvatusalustaksi	-	7420
10) Ennallistaminen	-	-
11) Metsitys 1: kuusi-koivu-sekametsä	-	-
12) Metsitys 2: tervaleppä	-	-

Kauran ja säilörehunurmen satotasoina elintarvikkeeksi tai rehuksi käytettiin Maatalouskalenterissa (2019) annettuja arvoja. Säätosalaojituksen satotaso oletettiin samaksi, sillä asennusvuoden satomenetyksiä oletettiin voitavan kompensoida tulevina kuivina vuosina paremman vesitalouden mahdollistamilla isoimmilla sadoilla (Nieminen 2017). Säilörehuksi viljeltävän ruokohelven satotasoa arvioidessa oletettiin, että sadonkorjuu toteutetaan kolmessa osassa, sillä ruokohelven rehuarvot huononevat muita

nurmikasveja nopeammin, ja kolmen niiton järjestelmä tuottaa yhden tai kahden niiton järjestelmää enemmän rehuksi kelpavaa satoa (Isolahti ym. 2006).

Ruokohelven satotasoja on tutkittu Suomessa jonkin verran kivennäismaalla kolmella niitolla (Isolahti ym. 2006) ja hylätyllä turpeenostopaikalla yhdellä niitolla (Lötjönen ja Paappanen 2013), mutta ruokohelven kosteikkoviljelystä kolmella niitolla ei kuitenkaan löytynyt Suomessa tehtyjä tutkimuksia. Irlannissa ruokohelven viljelyä on tutkittu hylätyllä turpeenostopaikalla kolmella niitolla (Meehan ym. 2017), joten satotaso tähän työhön muodostettiin tutkimuksessa mitattujen märkien ja tulvivien alojen satojen kahden vuoden keskiarvoista. Irlannissa mitatut satomäärät kerrottiin kertoimella 0,7, sillä kasvukauden korkeamman keskilämpötilan ja korkeamman auringon säteilytehon voidaan olettaa nostavan sadon määrää jonkin verran Suomessa tapahtuvaan viljelyyn verrattuna. Ruokohelpilaitumen satotaso oletettiin samaksi, sillä kirjallisuuskatsauksessa ei löydetty satoarvioita ruokohelven laidunkäytössä. Laidunnus järjestetään kuitenkin käytännössä niin, että karjan laidunnusta laitumella kontrolloidaan aidoin, jolloin osa laitumesta on laidunnuksessa ja osa toipuu siitä samanaikaisesti (Wichtmann ym. 2016). Tällöin karja voi laiduntaa saman alan useamman kerran kesässä, mikä muistuttaa hieman useamman niiton järjestelmää.

Osmankäämin kosteikkoviljelyä ei ole tutkittu Suomessa, joten satotason arviointiin käytettiin Virossa saatuja satomääriä (Maddison ym. 2009). Saman suuruusluokan satoja on mitattu myös Alankomaissa (Pijlman ym. 2019; Geurts ja Fritz 2018), Saksassa (Wichtmann ym. 2016) ja Kanadassa (Grosshans 2014). Virossa on Suomea korkeampi kasvukaudenaikainen keskilämpötila ja auringon säteilyteho, joten Suomessa saatavan potentiaalisen sadon arviointia varten Maddisonin ym. (2009) Virossa mitaama osmankäämin satomäärä kerrottiin kertoimella 0,8.

Suomessa tehtyjä tutkimuksia järviruo'on kosteikkoviljelyn tuottamista satomääristä ei tätä työtä tehdessä tullut vastaan. Järviruo'on satomääriä on mitattu muun muassa Saksassa (Wichtmann ym. 2016), Valko-Venäjällä (Wichtmann ym. 2016) ja Alankomaissa (Geurts ja Fritz 2018), mitattujen satojen kuivamassan ollessa 8700 – 12 000 kg ha⁻¹ v⁻¹ välillä. Potentiaalisen Suomessa saatavan satomäärän arvioimiseksi saksalaisista, valkovenäläisistä ja alankomaisista mittauksista otettiin keskiarvo, joka kerrottiin kertoimella 0,7 mittausmaiden eteläisemmän sijainnin kompensoimiseksi.

5.1.3. Säätelevät indikaattorit

Säätelevät indikaattorit kuvataan taulukossa 3. Turvepeltomaan sääteleviä ekosysteemipalveluita kuvattiin kolmen indikaattorin avulla, jotka ovat relevantteja ilmaston, ympäristön, ravinnekierron ja turvepellon pidempiaikaisen viljelymahdollisuuden kannalta. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen -indikaattori muodostettiin vähentämällä referenssitasona toimivan kauranviljelyn vuosittaisista hehtaarikohtaisista kasvihuonekaasupäästöistä kunkin vaihtoehdoisen turvepellon käyttömuodon vastaava.

Taulukko 3. Säätelevien indikaattorien arvot kullakin käyttömuodolla. Asteriksilla (*) merkityt arvot ovat mittauksien puutteessa tehtyjä arvioita.

	kasvihuonekaasu- päästöjen vähentäminen, t CO ₂ ekv. ha ⁻¹ v ⁻¹	painuman vähentäminen, mm v ⁻¹	typpihävikin vähentäminen, kg N ha ⁻¹ v ⁻¹
1) Kauran viljely	0	0	0
2) Säilörehunurmen viljely	0,2	5	19,2
3) Peltöheitto	7	10	19,2
4) Säättösalaojitettu viljan viljely	0	0	15,3
5) Säättösalaojitettu säilörehunurmen viljely	0,2	1	26,8
6) Kosteikkoviljely 1: laidun ruokohelpi	15,6	13*	28,2
7) Kosteikkoviljely 2: Ruokohelpi säilörehuksi	19,2	13*	33,2
8) Kosteikkoviljely 3: osmankäämi rakennuslevyksi	18,3	14*	33,2
9) Kosteikkoviljely 4: Järviruoko kasvatusalustaksi	21,8	15*	33,2
10) Ennallistaminen	20,6	15*	33,2
11) Metsitys 1: kuusi-koivu-sekametsä	17,8	11,55	19,2

12) Metsitys 2:
tervaleppä

26,2

15*

33,2

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen

Turvepellon käyttövaihtoehtojen vuosittaisia hehtaariohtaisia kasvihuonekaasupäästöjä vertailtiin vuorollaan referenssitasona olevaan kauranviljelyyn, mistä saatiin arvot indikaattorille kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen. Kauranviljelyn päästöinä käytettiin pohjoismaisia keskimääräisiä viljan viljelyn päästöjä ojitetuilla turvemailla, 22,80 t CO₂ ekv. ha⁻¹ v⁻¹, ja säilörehunurmen viljelyn osalta keskimääräisiä ojitetun turvemaan nurmen päästöjä, 22,60 t CO₂ ekv. ha⁻¹ v⁻¹, ja peltoheiton osalta hylätyn turvepellon päästöjä, 15,80 t CO₂ ekv. ha⁻¹ v⁻¹ (Maljanen ym. 2010). Säättosalaojitetun kauran ja säilörehunurmen kasvihuonekaasupäästöt oletettiin yhtä suuriksi kuin tavanomaisesti ojitettuinkin, sillä tukiehdoissa määritelty vaatimus ”nostaa pohjavesi tavanomaista korkeammalle sadonkorjuun jälkeen” on niin epämääräinen ja jää todennäköisesti ilman valvontaa, ettei vilja- ja nurmikäytössä olevien säättosalaojitettujen turvepeltojen voida olettaa olevan sen märempiä kuin tavanomaisesti ojitettujenkaan.

Säilörehuksi kosteikkoviljeltävän ruokohelven kasvihuonekaasupäästöiksi oletettiin 3,6 t CO₂ ekv. ha⁻¹ v⁻¹, perustuen virolaiseen viljelykokeeseen vanhalla turpeenostopaikalla (Järveoja ym. 2016). Tutkimusvuosi oli kuiva pohjavedenpinnan vaihdella -10 ja -40 sentin välillä, joten kosteamman vuoden kasvihuonekaasutaseen voisi olettaa olevan vielä alhaisempi. Kosteikkolaitumen kasvihuonekaasupäästöistä ei löydetty tätä työtä tehdessä suorita tutkimustuloksia, mutta matalalle ojitetuilla laitumilla tehtyjen mittauksien valossa Wichmann ym. (2016) olettavat laiduntamattomaan tilanteeseen verrattuna kosteikkolaitumen CH₄ päästöjen nousevan vahvasti, ja N₂O päästöjen nousevan hieman, johtaen tilanteeseen jossa kosteikkolaitumen kasvihuonekaasupäästöt ovat hieman laiduntamatonta kosteikkonurmea korkeammat, mutta edelleen uudelleenvettämätöntä peltokäyttöä merkittävästi alhaisemmat. Näiden oletuksien valossa ruokohelpilaitumen hehtaariohtaiset vuosittaiset kasvihuonekaasupäästöt muodostettiin kertomalla säilörehuksi viljeltävän ruokohelven kasvihuonekaasupäästöt kahdella.

Osmankäämin ja järviruo'on vuosittaiset hehtaariohtaiset kasvihuonekaasupäästöt, 4,5 t CO₂ ekv. ha⁻¹ v⁻¹ ja 1 t CO₂ ekv. ha⁻¹ v⁻¹ tässä järjestyksessä, arvioitiin koillissaksassa

tehdyn kaksivuotisen viljelykokeen (Günther ym. 2015) perusteella kahden vuoden keskiarvoja käyttäen. Ennallistamisen ja matalalla vedenpinnalla tehtävän metsityksen vuosittaisina hehtaariohtaisina kasvihuonekaasupäästöinä käytettiin IPCC:n antamia (Hiraishi ym. 2014) arvoja, 1,41 t CO₂ ekv. ha⁻¹ v⁻¹ ja 5 t CO₂ ekv. ha⁻¹ v⁻¹ tässä järjestyksessä. Korkean vedenpinnan metsityksessä vuosittaisina hehtaariohtaisina kasvihuonekaasupäästöinä käytettiin Koillis-Saksassa sarojen ja nuoren tervalepän yhteiskasvustolta mitattua arvoa, -3,4 t CO₂ ekv. ha⁻¹ v⁻¹ (Huth ym. 2018). Molempien metsityksien kasvihuonekaasupäästöjä tarkastellessa on kuitenkin huomioitava, että mikäli tarkastelua jatkettaisiin valittua 20 vuotta pidemmälle, puustoon sitoutuvan hiilen voi ajatella olevan vain väliaikainen varasto. Mikäli metsityksessä puustoon sitoutuva hiili laskettaisiinkin vapautuvan samana vuonna ilmakehään kuten ajatellaan muissa viljelyvaihtoehdoissa, tervalepän ja sarojen yhteiskasvuston kasvihuonekaasutase kääntyisi positiiviseksi, ja olisi 2,5 t CO₂ ekv. ha⁻¹ v⁻¹ (Huth ym. 2018). Matalan vedenpinnan metsityksessä kasvihuonekaasutaseen voi olettaa kasvavan myös huomattavasti, mikäli tarkastelu tehtäisiin samoin kuin muissa viljelyvaihtoehdoissa.

Painuman vähentäminen

Referenssitasona toimivan kauran, sekä säilörehunurmen ja peltoheiton vuosittaiselle painumalle käytettiin pohjoismaisia Kasimir-Klemedtssonin ym. (1997) raportoimia Berglundin raporttiin (1989) pohjautuvia arvoja, jotka ovat samassa järjestyksessä 15, 10 ja 5 mm v⁻¹. Säättösalaojitetulle kauralle ja säilörehunurmelle käytettiin samoja arvoja kuin säättösalaojittamattomillekin, sillä tukiehtojen löyhyyden vuoksi näiden peltojen ei voida olettaa olevan märempiä kuin tavanomaisesti ojitettujenkaan, jolloin vuosittaisessa painumassakaan ei todennäköisesti ole merkittävää eroa. Berglundin (1989) raportin arvot on mitattu tilanteessa, joissa ojituksen aiheuttama ensimmäinen nopea turpeen tiivistymisvaihe on ohi, joten painumien arvot ovat pienempiä kuin Grønlundin ym. (2008) ilmoittama keskimääräinen 25 millimetrin vuosittainen painuma norjalaisilla viljellyillä turvemailla, joka on laskettu tilanteessa, jossa ojituksesta on kulunut 25 vuotta. Koska intensiivistä viljelyä syvällä ojituksella kohdellaan tässä työssä vallitsevana nykytilana, tähän työhön valittiin Berglundin ilmoittamat (1989) arvot, sillä ne kuvastavat tilannetta, jossa ojituksesta on kulunut yli 25 vuotta, ja ensimmäinen tiivistymisvaihe on jo ohitettu. Mikäli turvemaata ojitettaisiin tuoreeltaan tai turvepellolle tehtäisiin ojien

uusiminen, painuman vuosittaiset arvot olisivat huomattavasti suurempia viidessä ensimmäisessä käyttövaihtoehdossa, ja vastaavasti muut käyttövaihtoehdot näyttäytyisivät vahvempina painuman vähentäjinä. Tässä työssä tehty valinta kuvastaa maltillisempaa painumaa, kun turvemaa on ollut ojitettuna vuosikymmeniä.

Painumaa ei ole kosteikkoviljelyn kohdalla juuri tutkittu. Tiedetään kuitenkin, että onnistuneessa suon luonnontilaista vesitaloutta jäljittelevässä kosteikkoviljelyssä ja ennallistamisessa korkea vedenpinta tarjoaa sekä fyysisistä tukea tiivistymistä vastaan, että myös suojaa turvetta aerobisen hajoamisen aiheuttamalta hiilen hävikiltä. Mikäli vedenpinta saadaan pidettyä lähellä maanpintaa suurimman osan ajan vuodesta, voidaan olettaa, että painumaa voisi aiheuttaa vain hetkellisesti alhainen vedenpinta, ja korjuukoneiston paino.

Ennallistamisen lähtökohtana on suon hydrologian, ja uuden turpeenmuodostuspotentiaalin palauttaminen, joten ennallistetun turvepellon painuma oletettiin tässä työssä nollaksi, negatiivisen painuman eli uuden turpeen kertymisen ollessa myös mahdollista. Painuma oletettiin nollaksi myös järviruo'on viljelyssä, sillä järviruoko on merkittävä turpeenmuodostaja (Wichtmann ym. 2016), ja kasvaa hyvin myös vedestä saturoituneella kasvupaikalla, joten sekä vanhan turpeen säilyminen, että uuden turpeen muodostuminen ovat mahdollisia. Korkean vedenpinnan metsitys tervaleppää käyttäen on kolmas käyttömuoto, jonka painuma oletettiin myös nollaksi, sillä tervaleppä on turvetta muodostava kasvi (Wichtmann ym. 2016), viihtyy märillä paikoilla ja sietää tulvimista. Luonnolliset tervaleppäkorvet, ja useat tervalepän fossiililöydökset turvekerroksista (Mäkinen 2018) ovat osoitus tervalepän potentiaalista olla osana myös uutta turvetta muodostavaa ja kerryttävää kasvillisuutta.

Matalan vedenpinnan metsityksessä vuosittaiselle painumalle käytettiin keskiarvoa Ahdin (2002) ja Minkkisen ym. (2018) Suomessa mitatuista metsäojituksen aiheuttaman painuman arvoista, ja vuosittaiseksi painumaksi saatiin 3,45 mm. Huomioitavaa on kuitenkin se, että edellä mainitut arvot on mitattu ikääntyneiltä metsäojitusalueilta, ja turvepeltoa metsitettäessä painuman dynamiikka voi olla erilainen. Käytetty arvo on kuitenkin hyvin lähellä peltoheiton, eli kasvipeitteisen kesannon arvoa, jollaista nuori taimikko hieman muistuttaakin, joten painuman suuruusluokan voisi olettaa olevan riittävän tarkka.

Ruokohelpi ei ole turvetta kerryttävä kasvi, eikä siedä jatkuvaa tulvimista (Wichtmann ym. 2016), joten ruokohelpeä viljellessä on mahdollista että turpeen hapellista hajoamista pääsee tapahtumaan kausittain, ilman että pääviljelykasvi osallistuu uuden turpeen muodostukseen. Ruokohelven painuman vähennyspotentiaali arvioitiin tästä syystä alhaisemmaksi kuin muilla kosteikkoviljelykasveilla, mutta korkeammaksi kuin matalan vedenpinnan metsityksessä, sillä vedenpinta voidaan kuitenkin pitää metsäojituksen ojitussyvyyyttä huomattavasti korkeammalla. Ruokohelven vuosittaisen painuman arvioitiin olevan 2mm.

Osmankäämin turpeenmuodostuspotentiaali on epävarma ja vaatii lisää tutkimusta (Wichtmann ym. 2016), mutta koska osmankäämi viihtyy hyvin märillä kasvupaikoilla, ja vedenpinta on vakiintuneella viljelmällä mahdollista pitää jopa maanpinnan yläpuolella, voidaan olettaa osmankäämin potentiaalain painuman ehkäisemisessä olevan suurempi kuin ruokohelvellä, mutta mahdollisesti pienempi kuin järviruo'olla joka tiedetään varmuudella voimakkaaksi turpeenmuodostajaksi. Osmankäämin vuosittaiseksi painumaksi asetettiin täten 1 mm.

Typpihävikki

Referenssitasona toimivan intensiivisen kauran viljelyn typpipäästön arviointiin käytettiin Huhdan ja Jaakkolan (1993) ohrapelloilta saatua arvoa $38,2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$, olettaen kauran typpipäästöjen olevan samaa suuruusluokkaa kuin ohralla. Muiden käyttömuotojen typpipäästöjä kauran viljelyn typpipäästöihin vertaamalla muodostettiin typpipäästöjen vähentäminen -indikaattori. Säilörehunurmelle käytettiin ohran typpipäästöjen yhteydessä Huhdan ja Jaakkolan (1993) mittaamia nurmen päästöjä, jotka olivat keskimäärin $19 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$, jolloin siirtyminen viljasta nurmeen vähentäisi typen valuntaa $19,2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$. Peltoheiton typpipäästöt oletettiin tässä työssä samansuuruisiksi kuin nurmella. Säätosalaojitetun viljan ja nurmen typpihävikin oletettiin Paasonen-Kivekkään (2009) viittaamien Evansin (1995) ja Fayseyn ym. (2004) mittauksiin perustuen olevan 40% pienempi kuin säätosalaojittamattomilla vaihtoehdoilla.

Kosteikkoviljelyn typpihävikistä on saatavilla vain hyvin rajallisesti tietoa. Kosteikkoviljelyn tiedetään kuitenkin parantavan pitkällä aikavälillä pellon ravinnetasapainoa verrattuna syvää ojitusta hyödyntäviin vaihtoehtoihin, sillä korkea pohjavedenpinta hidastaa turpeen mineralisaatiota ja yhdessä vähäisemmän lannoituksen kanssa ravinnesyöte pellolle vähenee, johtaen myös vähäisempään typen huuhtoutumiseen (Wichtmann ym. 2016). Tutkimukseen, jossa vertailtaisiin kosteikkoviljelymuotojen typenpidätyskykyä keskenään yhdenvertaisissa olosuhteissa ei tätä työtä tehdessä löytynyt, joten kosteikkolaidunta lukuun ottamatta eroja typpihävikin vähentämiselle kosteikkoviljelymuotojen välillä ei tässä työssä oletettu. Ennallistetun turvepellon, ja laidunta lukuun ottamatta ruokohelven, osmankäämin ja järviruo'on kosteikkoviljelyn hehtaariohtaisiksi vuosittaisiksi typpipäästöiksi oletettiin $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$, määrän ollessa tyypillinen määälle, lähellä luonnontilaa olevalle saraniitylle (Wichtmann ym. 2016). Ennallistamisen ja kosteikkoviljelyvaihtoehtojen typpipäästöt oletettiin olevan samaa suuruusluokkaa, sillä kosteikkoviljelyssä käytetty typpilannoitus lisää typensyötettä viljelmälle, ja liian suurta lannoitemäärää käytettäessä lannoitus voi lisätä myös typen huuhtoutumista, mutta toisaalta taas typpeä poistuu viljelmältä korjatun sadon mukana. Ruokohelpilaitumen typpipäästöt oletettiin muihin kosteikkoviljelyvaihtoehtoihin verrattuna kaksinkertaisiksi, sillä karjan aiheuttama tallaus voi heikentää kasviston ravinteidensidontakykyä väliaikaisesti, ja toisaalta karjan jätökset voivat toimia helposti liukenevan typen lähteinä, joten on turvallista olettaa typpipäästöjen olevan jonkin verran korkeammat laiduntamattomiin viljelmiin verrattuna.

Matalan vedenpinnan metsityksen typpihävikki tarkasteltavalla ajanjaksolla oletettiin samansuuruiseksi kuin ojitetulla nurmella. Matalan vedenpinnan metsityksessä aktiivisena pysyvä ojitus pitää turpeen mineralisaation korkeana kuten nurmellakin. Metsityksessä typpeä ei poistu vuosittain korjattavan biomassan mukana, mutta taimikon lannoitus on myös huomattavasti kevyempää, joten typpitaseen ja täten myös typen huuhtoutumisen määrän voi olettaa olevan samaa suuruusluokkaa. Metsityksen tervalepällä oletettiin vähentävän typpihävikkiä samassa suuruusluokassa kuin muissakin kosteikkoviljelymuodoissa.

5.1.4. Kulttuurilliset indikaattorit

Kulttuurilliset indikaattorit kuvataan taulukossa 4. Mahdollisuutta virkistyskäyttöön arvioitiin kaksiportaisella asteikolla, joka ilmaisee karkeasti, onko käyttömuodolla edellytyksiä virkistyskäyttöön vai ei. Virkistyskäytöksi tunnistettiin tärkeimmät suomalaisten virkistyskäyttömuodot: luonnon katselu ja havainnointi, metsästys, kalastus ja sienestys, sekä liikunnallinen ulkoilu (LUKE). Mahdollisuutta uuden tiedon tuottamiseen uusista viljelymuodoista arvioitiin kolmiportaittain perustuen käyttömuodoista saatavilla oleviin tutkimuksiin tai niiden puutteisiin.

Taulukko 4. Kulttuurillisten indikaattorien arvot kullakin käyttömuodolla.

	Mahdollisuus virkistyskäyttöön, rakennettu asteikko 0-1	Tiedon tuottaminen uusista käyttömuodoista, rakennettu asteikko 0-2
1) Kauran viljely	0	0
2) Säilörehunurmen viljely	0	0
3) Peltoheitto	1	0
4) Säätosalaajitus: viljan viljely	0	1
5) Säätosalaajitus: säilörehunurmen viljely	0	1
6) Kosteikkoviljely 1: ruokohelpilaidun	0	2
7) Kosteikkoviljely 2: Ruokohelpi säilörehuksi	0	2
8) Kosteikkoviljely 3: osmankäämi rakennuslevyksi	0	2
9) Kosteikkoviljely 4: Järviruoko kasvatusalustaksi	0	2
10) Ennallistaminen	1	2
11) Metsitys 1: kuusi-koivu-sekametsä	1	1
12) Metsitys 2: tervaleppä	1	2

Mahdollisuus virkistyskäyttöön

Virkistyskäyttö arvioitiin mahdolliseksi ainoastaan peltoheiton, ennallistamisen ja metsitysten kohdalla, sillä intensiiviset kasviviljelmät eivät sovellu virkistyskäyttöön hankalan pääsyn vuoksi, eivätkä monokulttuurit tarjoa juurikaan virkistysarvoja. Sen sijaan kesannolla oleva peltoheitto voi tarjota mahdollisuuksia ulkoiluun ja lajien tarkkailuun, ja suoksi ennallistettu pelto ja metsitykset voivat ulkoilun ja lajien tarkkailun lisäksi mahdollistaa keräilyn, ja jossain tapauksissa myös metsästyksen.

Uuden tiedon tuottaminen

Kauran, säilörehunurmen ja peltoheiton osalta uuden tiedon tuottaminen arvioitiin asteikon vähäisimmiksi, sillä maatalouskäytössä olevilla turvepelloilla on pitkä historia, sekä niistä löytyy runsaasti myös pohjoismaisia tutkimuksia. Säättösalojitetun viljan- ja nurmen viljelystä tutkimustietoa on varsin vähän, esimerkiksi mittauksia säättösalojituksen ja sen kurinalaisen säätämisen vaikutuksista erilaisilla pohjavedenpinnankorkeuksilla kasvihuonekaasupäästöihin ei tätä työtä tehdessä löytynyt. Viljeltävät kasvilajit ovat kuitenkin perinteisiä maatalouskasveja, joiden viljelyllä on pitkä historia, ja myöskin ravinnepäästöistä löytyy hieman mittauksia, joten säättösalojitetut vilja ja nurmi saavat asteikon keskimmäisen arvon. Keskimmäisen arvon saa myös metsitys matalalla vedenpinnalla, sillä tutkimustietoa turvemaiden metsäojoituksista löytyy jonkin verran, mutta mittauksia metsitetyistä vanhoista maatalouskäytössä olleista turvepelloista on hyvin niukasti, jos ollenkaan.

Kaikki kosteikkoviljelymuodot saavat uuden tiedon tuottamisessa asteikon korkeimman arvon. Kosteikkoviljely on suhteellisen uusi viljelymuoto, ja kattavia kokonaisvaltaisista, hyvien käytäntöjen mukaisia ja eri kasvilajeja vertailevia pitkäikäisistä mittauksista ei juuri ole, eikä Suomessa kosteikkoviljelyä ei ole tutkittu lainkaan kenttäkokein.

5.2. Käyttömuotojen painottamaton suoriutuminen

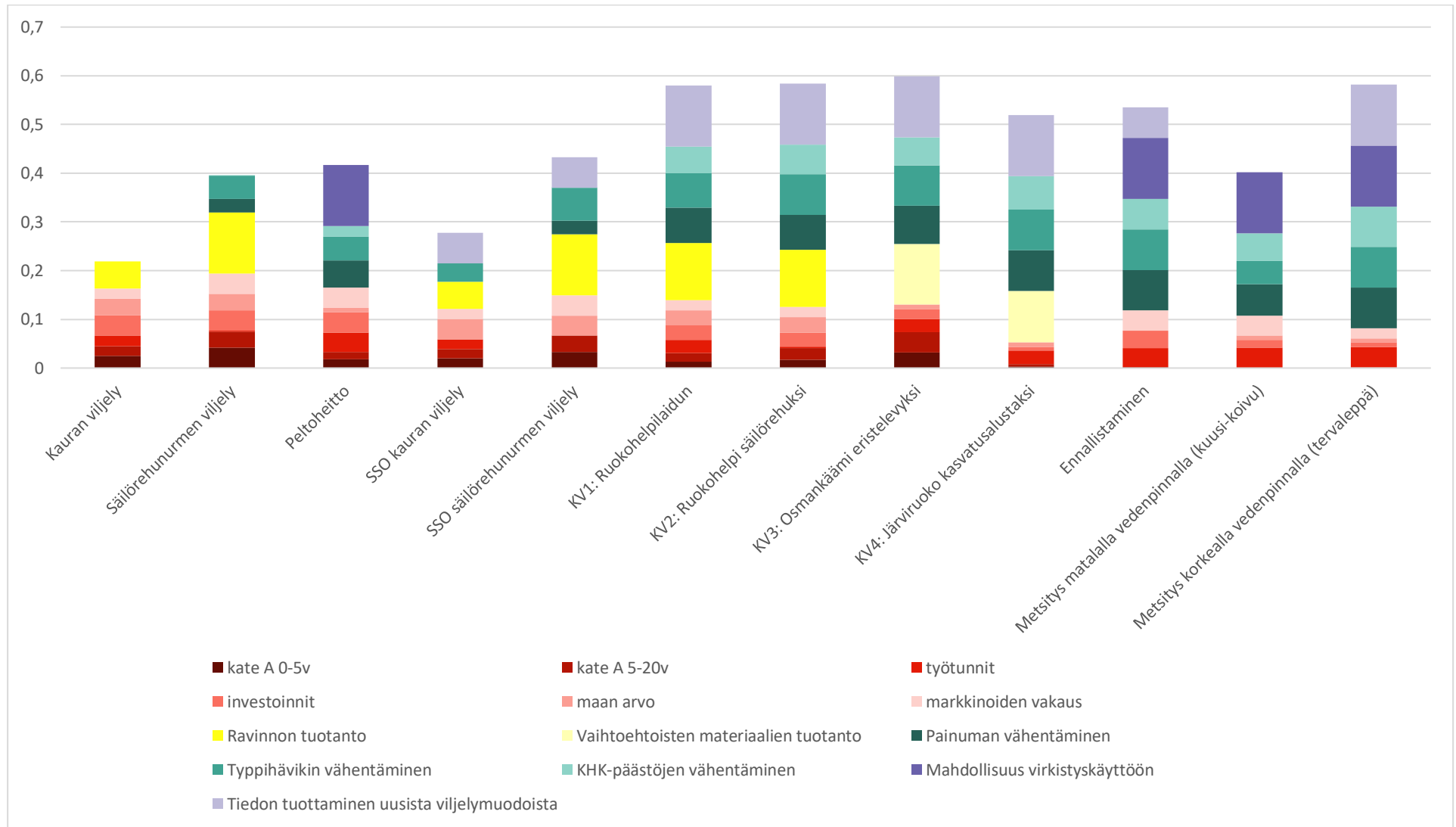
Taloudellisten, tuotannollisten, säätelevien ja kulttuurillisten indikaattorien arvojen pohjalta turvepellon käyttövaihtoehdoille laskettiin ensin kokonaissuoriutuminen luvun 4.1.4. mukaisesti käyttäen normalisoituja painokertoimia preferenssien mukaisen painotuksen sijasta (Kuva 1). Valinta kuvastaa tilannetta, jossa osa-alueet ovat keskenään yhtä tärkeitä, ja kunkin osa-alueen paino jaetaan tasaisesti osa-alueen sisällä oleville indikaattoreille, jolloin mitä enemmän indikaattoreita osa-alueen sisällä on, sitä pienemmän suhteellisen painon indikaattorit saavat. Kuvaajan voi ajatella myös kuvaavan käyttömuotojen potentiaalia kullakin osa-alueella. Teoreettinen maksimiutiliteetti on arvoltaan 1, ja sen voi saavuttaa vaihtoehto, joka on paras kaikilla indikaattoreilla.

Korkean vedenpinnan käyttövaihtoehdot

Normalisoidulla painotuksella osmankäämin viljely eristelevyksi saavutti turvepellon käyttövaihtoehdoista korkeimman utiliteetin, (0,60). Ruokohelpilaidun, ruokohelpi säilörehunurmeksi, ja metsitys tervalepällä jakoivat kahden desimaalin tarkkuudella samoin pistein (0,58) toiseksi korkeimman utiliteetin. Kuuden parhaimman vaihtoehdon joukkoon mahtuivat vielä ennallistaminen (0,53) ja järviruo'on viljely kasvatusalustaksi (0,52). Järviruo'on heikomman suoriutumisen verrattuna muihin kosteikkoviljelyvaihtoehtoihin voidaan nähdä johtuvan huonosta suoriutumisesta taloudellisilla indikaattoreilla, suoriutumisen tuotannollisilla, säätelevillä ja kulttuurillisilla indikaattoreilla ollessa hyvin samankaltaista kaikilla kosteikkoviljelyvaihtoehdoilla. Metsitys tervalepällä ja ennallistaminen saavuttivat myös järviruo'koa korkeamman utiliteetin, johtuen paremmasta suoriutumisesta taloudellisilla indikaattoreilla ja mahdollisuudesta virkistyskäyttöön, huolimatta pisteettömyydestä tuotannollisilla indikaattoreilla. Järviruo'on huonoon suoriutumiseen taloudellisella osa-alueella vaikutti etenkin huono lyhyen ja pitkän aikavälin kate, sekä korkeat investoinnit.

Matalan vedenpinnan käyttövaihtoehdot

Säätösalaajitettu säilörehunurmi (0,43), peltoheitto (0,42), ja kahden desimaalin tarkkuudella samoissa pisteissä olevat säilörehunurmen viljely (0,40) ja metsitys



Kuva 1. Käyttövaihtoehtojen indikaattorikohtainen normalisoitu suoriutuminen taloudellisiin (punainen), tuotannollisiin (keltainen), sääteleviin (vihreä) ja kulttuurisiin (sininen) osa-alueisiin jaoteltuna. Y-akseli kuvaa käyttömuodon välille (0-1) normalisoidut yhteenlasketut kokonaispisteet.

matalalla vedenpinnalla (0,40) näyttäytyvät keskimääräistä huonompina vaihtoehtoina, kauran (0,22) ja säätösalaajitetun kauran (0,28) ollessa vaihtoehtoista selvästi huonoimpia. Kauran viljelyn huonoimman utiliteetin voidaan nähdä johtuvan pisteettömyydestä säätelevillä ja kulttuurillisilla osa-alueilla, säätösalaajituksen tuodessa hieman lisäarvoa näille osa-alueille vähäisemmästä typpihävikistä ja mahdollisuudesta uuden tiedon tuottamiseen johtuen. Säilörehunurmen viljely näyttäytyy kauran viljelyä lähes tuplasti parempana vaihtoehtona paremman suoriutumisen johdosta taloudellisilla ja tuotannollisilla osa-alueilla, sekä vähenevän painuman ja typpihävikin tuomasta lisäarvosta säätelevällä osa-alueella. Säätösalaajitus säilörehunurmella heikentää hieman taloudellista osa-aluetta kokonaisuudessaan, enimmäkseen säätösalaajituksen asennuksen vaatimasta investoinnista johtuen, mutta tuo lisäarvoa säätelevälle osa-alueelle typpihävikin vähenemisen johdosta, sekä kulttuuriselle osa-alueelle uuden tiedon tuottamisen mahdollistamisen johdosta. Metsitys matalalla vedenpinnalla ja peltoheitto menettivät molemmat pisteitä tuotannollisella osa-alueella, mutta suoriutuivat matalan vedenpinnan käyttövaihtoehtoista parhaiten säätelevillä ja kulttuurisilla osa-alueilla.

5.3. Käyttövaihtoehtojen painotettu kokonaissuoriutuminen

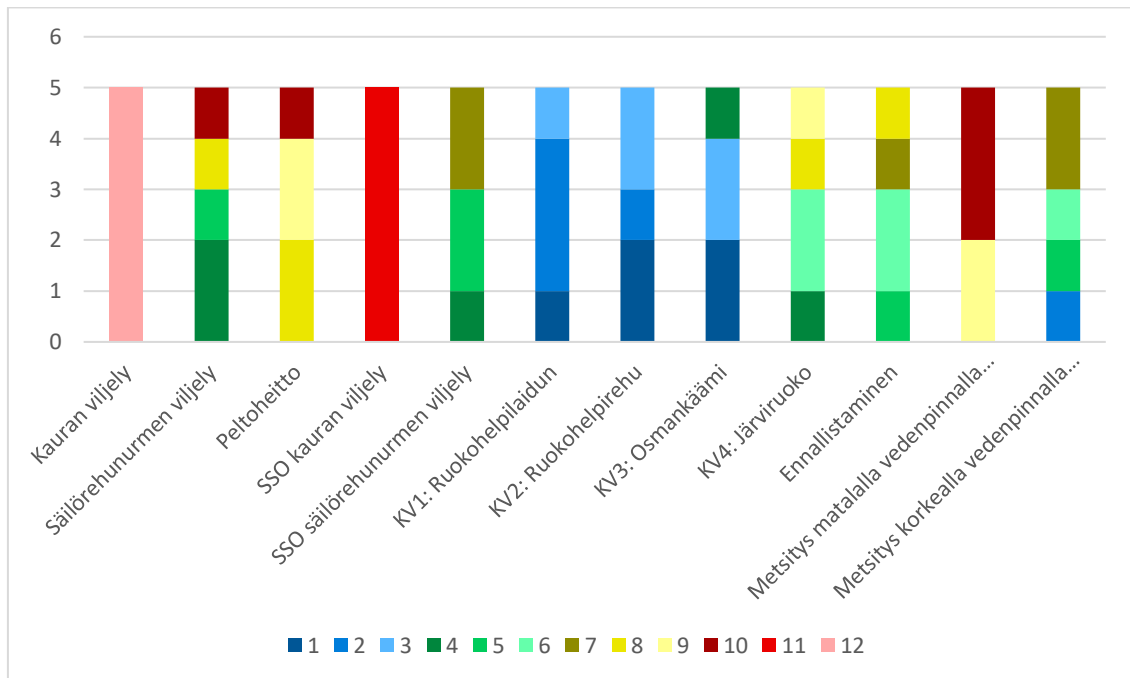
Tässä osiossa tarkastellaan turvepellon käyttövaihtoehtojen kokonaissuoriutumista tilanteessa, jossa tasaisesti jaetut painokertoimet korvataan preferenssien mukaisilla annetuilla indikaattori- ja osa-aluekohtaisilla painokertoimilla.

5.3.1. Käyttömuotojen kokonaissuoriutuminen tutkijaryhmän painoituksilla

Kyselylomakkeen kokeilukierroksella tutkijaryhmän sisältä saatiin 5 vastausta lomakkeeseen. Käyttömuotojen keskinäinen sijoittuminen koko tutkijaryhmän antamilla painoituksilla kuvataan kuvassa 2.

Vastaajat voitiin jakaa kahteen ryhmään sen mukaan mitä osa-aluetta he pitivät tärkeimpänä: Kolme tutkijaa viidestä antoi suurimman painoarvon taloudelliselle osa-alueelle, kahden tutkijan painottaessa säätelevän osa-alueen tärkeimmäksi.

Taloutta painottavassa ryhmässä tuotannollista osa-aluetta pidettiin toiseksi tärkeimpänä (80), säätelevän (63) ja kulttuurillisen (40) osa-alueiden seuratussa tässä järjestyksessä. Osa-alueiden suhteellinen paino oli taloutta painottavassa ryhmässä 35 %, 29 %, 23 %, ja 14%, taloudelliselle, tuotannolliselle, säätelevälle ja kulttuurilliselle osa-alueelle samassa järjestyksessä.

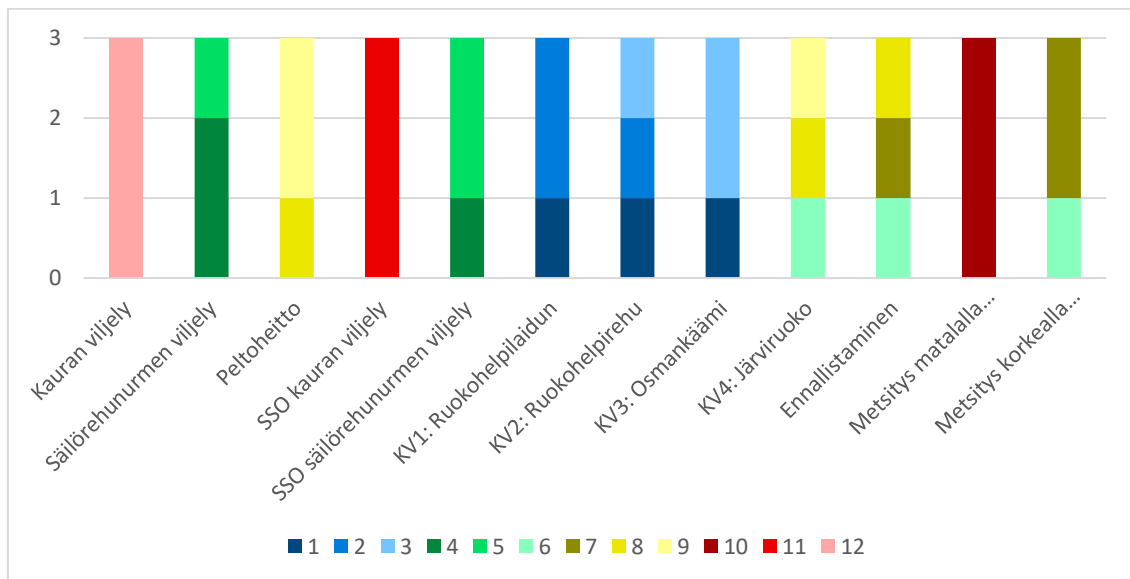


Kuva 2. Käyttövaihtoehtojen sijoittuminen tutkijaryhmän (n=5) antamilla painotuksilla. Käyttövaihtoehdon sijoittuminen (1-12) on värikoodattu sinisellä (1-3), vihreällä (4-6), keltaisella (7-9), ja punaisella (10-12), värin tummuuden ilmaistessa sijoittumista värin sisäisessä luokassa (laskeva tummasta vaaleaan). Y-akselilta luetaan sijoitusten lukumäärä käyttömuotoa koskeville sijoituksille.

Säätelyä painottavassa ryhmässä talous (75) ja tuotanto (70) koettiin lähes yhtä tärkeiksi, ja kuten taloutta painottavassa ryhmässä, kulttuurillinen (60) osa-alue vähiten tärkeäksi. Osa-alueiden suhteellinen paino prosentteina oli 25 %, 23 %, 33%, ja 20 %, taloudelliselle, tuotannolliselle, säätelevälle ja kulttuurilliselle osa-alueelle samassa järjestyksessä.

Huolimatta eroista painotuksissa kahden ryhmän välillä, kaikille vastaajille parhaan utiliteetin saavutti jokin kosteikkoviljelyvaihtoehdoista (kuva 3, kuva 4). Ruokohelven viljely säilörehuksi (n=2), osmankäämin viljely eristelevyksi (n=2) ja ruokohelpilaidun (n=1) olivat ensimmäisiksi sijoittuneita käyttömuotoja. Ruokohelpilaidun sijoittui kolmella vastaajalla toiseksi parhaaksi käyttömuodoksi. Muita toiseksi parhaaksi

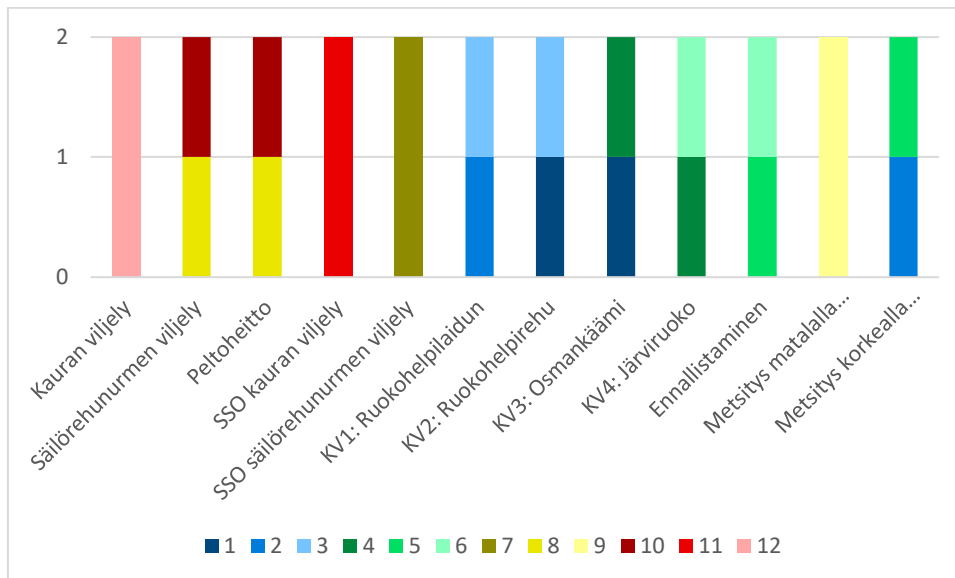
sijoittuneita käyttömuotoja olivat ruokohelven viljely säilörehuksi (n=1) ja metsitys tervalepällä (n=1), joka on myös korkealla pohjavedenpinnalla toteutettava viljelymuoto. Korkealla vedenpinnalla toteutettavat viljelymuodot dominoivat myös kolmanneksi parhaan käyttömuodon luokkaa, ruokohelven viljelyn säilörehunurmeksi ja osmankäämin viljelyn eristelevyksi molempien sijoittuessa kolmanneksi kaksi kertaa, ja säilörehuksi viljeltävän ruokohelven ollessa kolmanneksi paras vaihtoehto yhdelle vastaajista.



Kuva 3. Käyttövaihtoehtojen sijoittuminen taloudellista osa-aluetta painottavalla ryhmällä (n=3). Käyttövaihtoehdon sijoittuminen (1-12) on värikoodattu sinisellä (1-3), vihreällä (4-6), keltaisella (7-9), ja punaisella (10-12), värin tummuuden ilmaistessa sijoittumista värin sisäisessä luokassa (laskeva tummasta vaaleaan). Y-akselilta luetaan sijoitusten lukumäärä käyttömuotoa koskeville sijoituksille.

Painutusprofiilien erot alkavat näkymään selkeämmin vasta kolmen parhaan vaihtoehdon jälkeen. Taloutta painottavassa ryhmässä säilörehunurmen viljely (n=2) ja säätösalojitettu säilörehunurmen viljely (n=1) valikoituivat neljänneksi parhaiksi vaihtoehdoiksi (kuva 3), ja säätelyä painottavalla ryhmällä osmankäämin (n=1) ja järviruo'on viljely (n=1) löytyivät samalta sijalta (kuva 4). Myös viidenneksi parhaat vaihtoehdot olivat taloutta painottavalla ryhmällä nurmen viljelyä säätösalojin (n=2) tai ilman (n=1), kun taas säätelyä painottavalla ryhmällä viidenneksi paras vaihtoehto oli joko ennallistaminen (n=1) tai metsitys tervalepällä (n=1). Järviruo'on viljely ja ennallistaminen esiintyivät molemmilla ryhmillä kuudenneksi parhaina vaihtoehtoina (kuva 3, kuva 4). Kaikilla vastaajilla huonoin vaihtoehto oli referenssitasoksi valittu kauran viljely, ja toiseksi huonoin vaihtoehto säätösalojitettu kauran viljely. Kolmanneksi huonoin vaihtoehto oli taloutta painottavalla ryhmällä metsitys matalalla

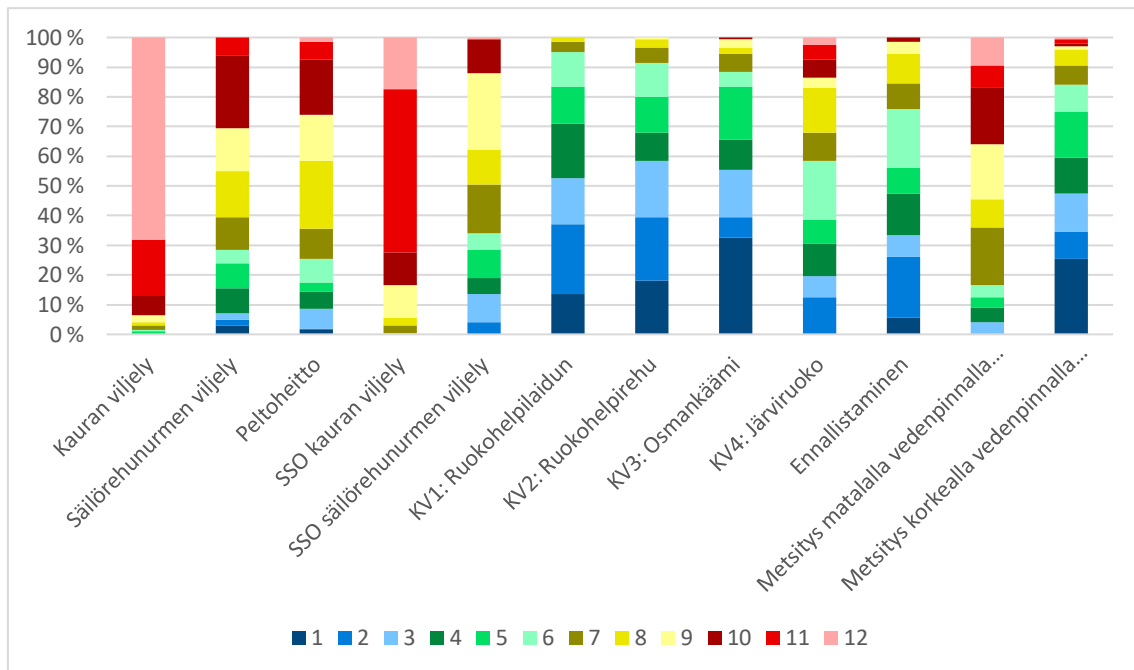
vedenpinnalla (n=3), ja säätelyä painottavalla ryhmällä joko säilörehunurmen viljely (n=1), tai peltoheitto (n=1).



Kuva 4. Käyttövaihtoehtojen sijoittuminen säätelevää osa-aluetta painottavalla ryhmällä (n=2). Käyttövaihtoehdon sijoittuminen (1-12) on värikoodattu sinisellä (1-3), vihreällä (4-6), keltaisella (7-9), ja punaisella (10-12), värin tummuuden ilmaistessa sijoittumista värin sisäisessä luokassa (laskeva tummasta vaaleaan). Y-akselilta luetaan sijoitusten lukumäärä käyttömuotoa koskeville sijoituksille.

5.3.2. Käyttömuotojen kokonaissuoriutumisen simulaation antamalla painotuksilla

Seuraavaksi käyttömuotojen suoriutumista tarkasteltiin simulaation antamalla painokertoimilla. Käyttömuotojen suoriutuminen kuvataan kuvassa 5.

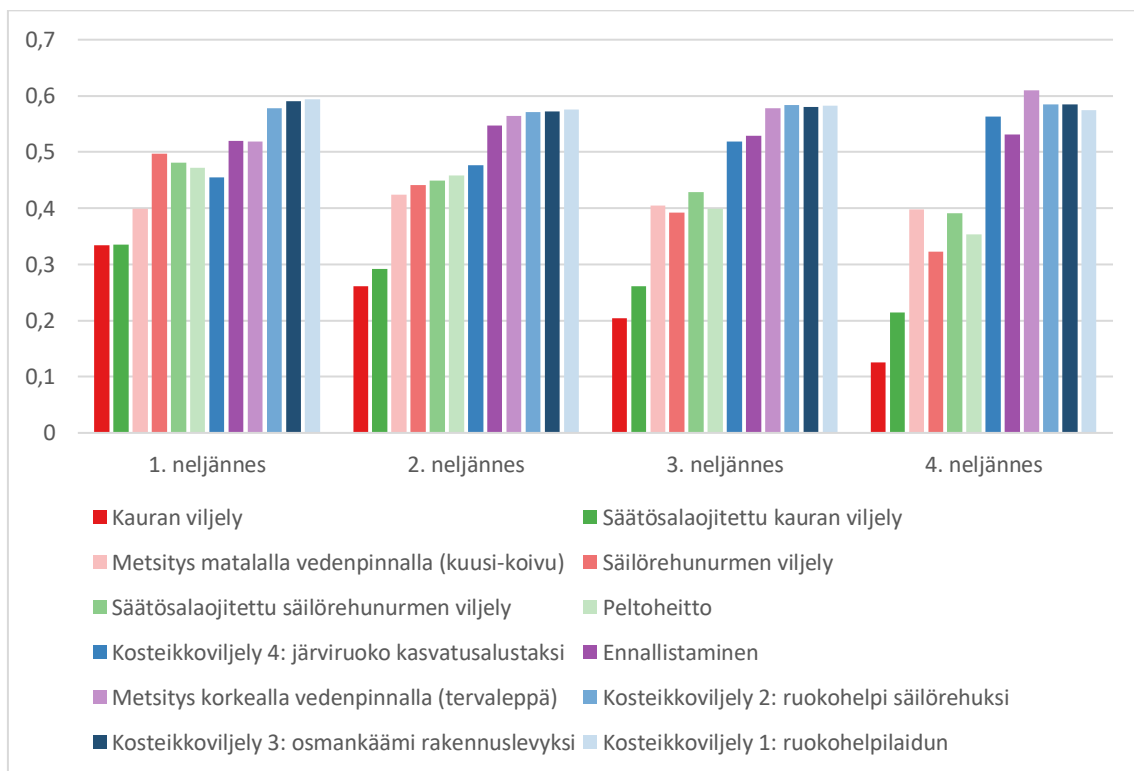


Kuva 5. Käyttämömuotojen sijoittuminen simulaation tuottamilla iteraatioilla (n=200). Käyttämövaihtoehdon sijoittuminen (1-12) on värikoodattu sinisellä (1-3), vihreällä (4-6), keltaisella (7-9), ja punaisella (10-12), värin tummuuden ilmaistessa sijoittumista värin sisäisessä luokassa (laskeva tummasta vaaleaan). Y-akselilta luetaan sijoitusten lukumäärä käyttämömuotoa koskeville sijoituksille.

Parhaaksi käyttämömuodoksi valikoitui simulaation antamilla painokertoimilla useimmiten osmankäämin viljely eristelevyksi, kyseisen käyttämömuodon valikoituessa parhaaksi 32,5 prosentilla iteraatioista (n=200). Toiseksi useimmiten (25,5 %) parhaaksi vaihtoehdoksi valikoitui korkean vedenpinnan metsitys tervalepällä. Kolmanneksi ja neljänneksi parhaina käyttämömuotoina simulaation antamilla painokertoimilla näyttäytyivät ruokohelven viljely säilörehuksi (18 %) ja ruokohelpilaidun (13,5 %), ennallistamisen valikoituessa viidenneksi useimmiten parhaaksi käyttämömuodoksi (5,5 %). Säilörehunurmen viljely esiintyi ensimmäisenä perinteisenä syvään ojitettuna viljelymuotona parhaana käyttämövaihtoehdona kolmella prosentilla iteraatioista (n=6). Peltiheitto ja säätösalaajitettu säilörehunurmen viljely esiintyivät aineistossa kumpikin yhden kerran parhaana käyttämövaihtoehdona, molempien vaihtoehdojen edustaessa täten 0,5 prosenttia iteraatioista. Muut käyttämömuodot eivät esiintyneet parhaina vaihtoehdoina millään iteraatiolla. Kauran viljely oli useimmilla iteraatioilla (68 %) huonoin turvepellon käyttämömuoto.

Käyttövaihtoehtojen suoriutuminen erivahvaisilla taloudellisen osa-alueen painotuksilla

Käyttövaihtoehtojen suoriutumista tarkasteltiin erivahvaisilla taloudellisen osa-alueen painotuksilla kuva 6. Simuloitu aineisto jaettiin taloudellisen osa-alueen suhteellisen painotuksen mukaan neljään ryhmään, joista ensimmäinen ryhmä kuvaa ensimmäistä neljänneestä iteraatioista, joilla taloudellisen osa-alueen painotus on korkein (taloudellisen osa-alueen paino keskimäärin 44% kaikkien neljän osa-alueen painosta). Toisen, kolmannen ja neljännen neljänneksen vastaavat taloudellisen osa-alueen painon keskiarvot ovat järjestyksessä 31%, 21% ja 7%. Voidaan ajatella, että kaksi ensimmäistä neljänneestä muodostuvat vahvasti taloudellista osa-alueetta painottavista 'vastaajista', kolmannen ja neljännen neljänneksen edustaessa 'vastaajia', joiden tavoitteet ovat vähemmän taloudellisia.



Kuva 6. Käyttövaihtoehtojen utiliteetti (y-akseli) neljällä taloudellisen osa-alueen painotuksen mukaan jaetulla ryhmällä, taloudellisen osa-alueen painotuksen ollessa korkein ensimmäisellä neljänneksellä ja laskeessa kohti neljättä neljänneestä. Vaihtoehdot on värikoodattu karkeasti kolmeen ryhmään: punaiset sävyt ilmaisevat matalaa vedenpintaa aktiivisella kuivatuksella, siniset ja purppuraiset ilmaisevat aktiivisesti korkealla pidettävää vedenpintaa, vihreiden sävyjen ilmaistessa vedenpinnan olevan jotain tältä väliltä.

Taloudellista osa-aluetta eniten painottavassa neljänneksessä utiliteetiltaan paras käyttömuoto oli ruokohelpilaidun (0,594). Osmankäämin viljely eristelevyksi 0,591) ja ruokohelven viljely säilörehuksi (0,578) olivat molemmat myös hyvin lähellä ruokohelpilaitumen utiliteettia. Ennallistaminen (0,520) ja metsitys korkealla vedenpinnalla (0,519) seurasivat lähes tasapisteissä. Säilörehunurmen viljely (0,498) ja säätösalaajitettu säilörehunurmen viljely (0,481) olivat utiliteetiltaan kuudenneksi ja seitsemänneksi parhaita käyttömuotoja taloudellista osa-aluetta eniten painottavassa neljänneksessä. Järviruo'on viljely kasvatusalustaksi (0,455) menestyi huonoiten kosteikkoviljelyvaihtoehdoista tällä neljänneksellä.

Tarkasteltaessa käyttövaihtoehtojen kokonaissuoritumista vähemmän taloudellista osa-aluetta painottavilla toisella ja kolmannella neljänneksellä, järviruo'on viljelyn kasvatusalustaksi ja metsityksen tervalepällä voidaan havaita saavuttavan sitä paremman utiliteetin mitä vähemmän taloudellista osa-aluetta on painotettu. Vastaavasti kauran, säätösalaajitetun kauran, säilörehunurmen, säätösalaajitetun säilörehunurmen viljelyn, sekä peltoheiton utiliteettien voidaan havaita laskevan samassa tarkastelussa. Säätösalaajitettu säilörehunurmi ja säätösalaajitettu kaura suoriutuivat säätösalaajittamattomia perusmuotojaan paremmin kaikilla muilla kuin eniten taloudellista osa-aluetta painottavilla neljänneksillä.

Ruokohelpilaidun, ruokohelven viljely säilörehuksi ja osmankäämin viljely eristelevyksi pysyttelivät lähekkäin toisiaan ja utiliteetiltaan kolmena parhaana vaihtoehtona ensimmäisellä, toisella ja kolmannella taloudellista osa-aluetta eniten painottavilla neljänneksillä, mutta metsitys tervalepällä nousi utiliteetiltaan parhaaksi vaihtoehdoksi (0,610) vähiten taloudellista osa-aluetta painottavalla neljännellä neljänneksellä. Tällä neljänneksellä myös järviruo'on viljely suoriutui paremmin kuin ennallistaminen, ja saavutti lähes muita kosteikkoviljelyvaihtoehtoja vastaavan utiliteetin (0,563)

Käyttövaihtoehtojen suoritumista tarkastellessa taloudellista osa-aluetta erivahvuisesti painottavilla neljänneksillä, voidaan havaita kauran viljelyn utiliteetin olevan käyttövaihtoehdoista riippuvaisin taloudellisen osa-alueen painotuksesta. Muita utiliteetiltaan taloudellisesta painotuksesta hyvin riippuvaisia olevia käyttövaihtoehtoja vaikuttavat olevan säätösalaajitettu kaura, säilörehunurmi, säätösalaajitettu säilörehunurmi ja peltoheitto. Ruokohelpilaitumen, ruokohelven viljelyn säilörehuksi ja

osmankäämin viljelyn eristelevyksi suoriutuminen ei vaikuta olevan riippuvainen taloudellisen osa-alueen painotuksesta. Myöskään matalan vedenpinnan metsityksessä, eikä ennallistamisessa ole havaittavaa trendiä taloudellisen osa-alueen painotuksen suhteen.

Painotusprofiilit, joilla turvepeltojen syväänojitetut käyttömuodot valikoituvat parhaiksi

Kauran viljely, säilörehunurmen viljely ja peltoheitto ovat syväänojitettuja, vallitsevia käyttömuotoja turvepelloilla (Maljanen ym. 2010). Simulaation tuottamien painokertoimien avulla tehdyssä päätösanalyysissä säilörehunurmi valikoitui 6 kertaa, ja peltoheitto 3 kertaa parhaiksi turvepellon käyttömuodoksi, ja ne edustavat yhdessä 4,5 prosenttia parhaiksi valikoituneista käyttömuodoista 200 iteraatiolla. Taulukossa 5 havainnollistetaan, millaisilla osa-alueiden painotuksilla kyseiset käyttömuodot valikoituivat parhaiksi.

	Talous	Tuotanto	Säätely	Kulttuuri
SRN 1	77 %	3 %	16 %	4 %
SRN 2	51 %	28 %	12 %	9 %
SRN 3	49 %	47 %	0 %	4 %
SRN 4	45 %	25 %	19 %	11 %
SRN 5	44 %	37 %	1 %	17 %
SRN 6	35 %	47 %	12 %	6 %
SRN vaihteluväli	35-77%	3-47%	0-16%	4-17%
SRN keskiarvo	50 %	31 %	10 %	9 %
Peltoheitto 1	58 %	4 %	16 %	23 %
Peltoheitto 2	38 %	10 %	8 %	44 %
Peltoheitto 3	28 %	19 %	4 %	49 %
Peltoheitto vaihteluväli	28-58%	4-19%	4-16%	23-49%
Peltoheitto keskiarvo	41 %	11 %	9 %	38 %

Taulukko 5. Osa-alueiden painotukset niillä iteraatioilla, joilla säilörehunurmen viljely (SRN) ja peltoheitto valikoituivat parhaiksi vaihtoehdoiksi. Osa-alueiden painotusten vaihteluväli ja keskiarvo kuvataan iteraatioiden alapuolella.

Iteraatioissa, joissa säilörehunurmen viljely valikoitui parhaiksi käyttömuodoksi, taloudellinen ja tuotannollinen osa-alue muodostavat yhdessä vähintään 69 %

yhteispainotuksesta. Vastaavasti säätelevän ja kulttuurillisten osa-alueiden yhteenlaskettu painotus oli korkeintaan 30 % kokonaispainotuksesta.

Iteraatioissa, joissa peltoheitto valikoitui parhaaksi käyttömuodoksi, painotettiin vahvasti taloudellista ja kulttuurillista osa-aluetta, näiden osa-alueiden yhteenlasketun painon ollessa vähintään 76 %. Tuotannollisen ja säätelevän osa-alueen yhteenlaskettu paino oli korkeintaan 24 %.

Alhainen säätelevän osa-alueen painotus oli yhteistä kaikissa iteraatioissa, jotka tuottivat parhaaksi käyttömuodoksi säilörehunurmen viljelyn tai peltoheiton. Säätelevän osa-alueen keskimääräinen paino oli säilörehunurmen kohdalla 10 % (suurin arvo 19 %), ja peltoheiton kohdalla 9 % (suurin arvo 16 %).

6. Tulosten tarkastelu

6.1. Havaintoja tuloksista

Indikaattorit ja vaihtoehtojen suoriutuminen indikaattoreilla

Tuloksien avulla onnistuttiin vastaamaan tutkimuskysymyksen, millaisilla indikaattoreilla turvepellon käyttövaihtoehtojen sopivuutta erilaisiin tavoitteisiin nähdessä voidaan arvioida. Indikaattoreiden arvoissa oli huomattavaa vaihtelua käyttömuotojen välillä taloudellisilla (taulukko 1), tuotannollisilla (taulukko 2), säätelevillä (taulukko 3) ja kulttuurillisilla osa-alueilla (taulukko 4). Korkean vedenpinnan käyttömuotojen havaittiin menestyvän keskimäärin kaikki osa-alueet yhteenlaskettuna kokonaisuudessaan matalan vedenpinnan viljelymuotoja paremmin, matalan vedenpinnan vaihtoehtojen menestyessä hyvin taloudellisella ja osin tuotannollisella osa-alueella, mutta korkean vedenpinnan käyttömuotoihin verraten huonosti säätelevällä ja kulttuurillisella osa-alueella (kuva 1). Vaikka painottamattomalla suoriutumisella ei sinällään ole ratkaisevaa merkitystä monitavoitteisen päätösanalyysin lopputuloksen kannalta, painottamaton suoriutuminen kuitenkin ilmaisee potentiaalia, joka kullakin vaihtoehdolla on kullakin osa-alueella ja indikaattorilla. Kuvasta 1 voidaan nähdä, että säilörehunurmella ja kauran viljelyllä on suurta potentiaalia taloudellisella osa-alueella,

mutta mikäli asianomainen antaa edes kohtalaisesti painoa säätelevälle ja kulttuurilliselle osa-alueelle, nämä tuskin valikoituvat parhaiksi käyttömuodoiksi.

Vaihtoehtojen suoriutuminen tutkijaryhmän painotuksilla

Monitavoitteinen päätösanalyysi oli tarkoitus toteuttaa viljelijöiden antamien painotusten avulla, mutta koska vastauksien kerääminen kyselylomakkeen avulla epäonnistui, vastauksia jäljellä oleviin tutkimuskysymyksiin etsittiin tutkijaryhmän ja simulaation antamien painotusten avulla. Huolimatta pienestä otoksesta (n=5), tutkijaryhmän sisältä voitiin kuitenkin havaita kaksi taloudellista tai säätelevää osa-aluetta painottavaa painotusprofiilia.

Huolimatta eroista tutkijoiden antamissa painotuksissa, kolme parasta käyttövaihtoehtoa olivat kullekin vastaajalle jokainen korkean vedenpinnan viljelymuotoja (kuva 2). Ruokohelven viljely säilörehuksi ja osmankäämin viljely eristelevyksi valikoituivat tutkijaryhmässä parhaaksi vaihtoehdoksi molemmat kaksi kertaa, ja ruokohelpilaidun yhden kerran. Ryhmien väliset painotuserot näkyivät matalan ja korkean vedenpinnan vaihtoehtojen välisessä sijoittumisessa vasta neljänneksi parhaasta vaihtoehdosta eteenpäin (kuva 3, kuva 4). Säilörehunurmen viljely esiintyi ensimmäisenä syvään ojitettuna viljelymuotona vasta neljänneksi parhaana vaihtoehtona taloudellista osa-aluetta painottavassa osajoukossa (kuva 3).

Vaihtoehtojen suoriutuminen simuloituilla painotuksilla

Simulaation tuottamien painotusten avulla tehdyn monitavoitteisten päätösanalyysin perusteella osmankäämin viljely eristelevyksi valikoitui useimmiten parhaaksi turvepellon käyttömuodoksi (32,5 %), metsityksen tervalepällä (25,5 %) ja ruokohelven viljelyn säilörehuksi (18 %) valikoituessa toiseksi ja kolmanneksi useimmiten parhaiksi vaihtoehdoiksi (kuva 5). Syvälle ojitetut käyttömuodot menestyivät huonosti myös simulaation perusteella tehdyssä tarkastelussa: säilörehunurmen viljely ja peltoheitto olivat parhaita vaihtoehtoja yhteensä 3,5 prosentilla iteraatioista, ja ne valikoituivat parhaiksi useimmiten iteraatioilla, joiden painotuksessa taloudellinen osa-alue oli ylikorostunut, ja säätelevä osa-alue alikorostunut (taulukko 5).

Kauran ja nurmen viljelyn kokonaissuoriutumisen ja taloudellisen osa-alueen suhteellisen painotuksen välillä havaittiin odotetusti positiivinen korrelaatio (kuva 6), johtuen vaihtoehtojen heikommasta suoriutumisesta säätelevillä ja kulttuurillisilla osa-alueilla (kuva 1). Säättösalojitus paransi sekä kauran, että säilörehunurmen utiliteettia säättösalojittamattomiin viljelymuotoihin verrattuna muissa kuin eniten taloudellista osa-alueetta painottavassa neljänneksessä, mutta säättösalojituksen tuoma lisäarvo ei riittänyt nostamaan niiden keskimääräistä utiliteettia kosteikkoviljelyvaihtoehtojen tasolle. Yhtenä säättösalojituksen ongelmana on, ettei mikään laki velvoita pitämään säättösalojitetun lohkon vedenpintaa tietyllä korkeudella. Tästä johtuen ei voida olettaa, että nämä lohkot olisivat sen märempiä, ja sitä kautta kasvihuonekaasupäästöiltään sen vähäisempiä kuin säättösalojittamattomat vastineensakaan.

Ruokohelpinurmen, ruokohelpilaitumen ja osmankäämin viljelyn utiliteetit eivät vaikuttaneet olevan riippuvaisia taloudellisen osa-alueen saamasta suhteellisesta painosta (kuva 6), sillä ne menestyivät muiden osa-alueiden lisäksi hyvin myös taloudellisella osa-alueella (kuva 1). Sen sijaan järviruo'on ja tervalepän utiliteetin havaittiin olevan sitä suurempi mitä pienemmän suhteellisen painoarvon taloudellinen osa-alue oli saanut. Järviruo'on huonon menestymisen taloudellisella osa-alueella verrattuna ruokohelpeen ja osmankäämiin voi selittää ruokohelven tukikelpoisuus, ja eristelevyksi jalostettavasta osmankäämibiomassasta saatavat paremmat tulot verrattuna kasvatusalustaksi myytävään järviruokoon. Tervalepän muihin käyttömuotoihin nähden paras menestyminen säätelevillä ja kulttuurillisilla indikaattoreilla, huolimatta pisteettömyydestä tuotannollisilla indikaattoreilla, nosti sen utiliteetiltään parhaaksi vaihtoehdoksi, kun taloudelliselle osa-alueelle annettiin vain hyvin pieni painoarvo.

Vähäpäästöisten turvepellon käyttömuotojen vastaavuus tavoitteisiin

Vähäpäästöisempien turvepellon käyttömuotojen sopivuudesta viljelijöiden tavoitteisiin ei tämän työn perusteella voida vastata, mutta tutkijoiden ja simulaation antamien painotusten avulla tehdyissä monitavoitteisissa päätösanalyseissa vähäpäästöisemmät kosteikkoviljelyvaihtoehdot suoriutuivat keskimäärin huomattavasti paremmin kuin syvää ojitusta vaativat käyttömuodot (kuva 2, kuva 5, kuva 6). Syvälle ojitetut

vaihtoehdot vastasivat kuitenkin paremmin tavoitteita muutamilla taloudellista osa- aluetta korostavilla ja säätelevää osa-aluetta väheksyvillä painotuksilla (taulukko 2). Tästä johtuen viljelijöiden painotuksilla tehdyille monitavoitteiselle päätösanalyysille on edelleen tarve.

Taloudellisia indikaattoreita ja niiden arvoja kartoittaessa havaittiin, että perinteisten syväälle ojitettujen käyttömuotojen (kauran viljely, säilörehunurmen viljely ja peltoheitto) hyvään taloudelliseen suoriutumiseen vaikuttivat huomattavasti maataloustuet. Jos taloudellinen vertailu tehtäisiin poistamalla tuet vertailusta, syväälle ojitettujen vaihtoehtojen houkuttelevuus viljelijöille laskisi todennäköisesti merkittävästi.

Vähäpäästöisiin viljelymuotoihin siirtymistä jarruttavat tekijät

Kysymykseen vähäpäästöisiin viljelymuotoihin siirtymistä jarruttavista tekijöistä oli tarkoitus etsiä vastausta viljelijöiltä itseltään kyselylomakkeen avoimien vastauskenttien avulla. Vastauksia ei vielä kuitenkaan saatu viljelijöiltä, mutta tutkijaryhmän avoimeen osioon antamien vastausten perusteella joitakin asioita voidaan nostaa esille pohdittavaksi.

Epävarmuus markkinoiden löytymisestä kosteikkokasveille nousi esiin useammassa vastauksessa, ja kosteikkoviljelyä toivottiin vähintään samaa katetta kuin nykytuotannosta (vilja, nurmi). Kosteikkoviljelyä ei Suomessa ole juuri tehty ja markkinat ovat suurimmilta osin muodostumatta. Ruokohelpeä lukuun ottamatta kosteikkoviljelykasvit eivät ole tukikelpoisia EU:n lainsäädännössä, joten markkinoiden epävarmuus on vielä suurempi tekijä katteiden kannalta kuin tukikelpoisilla kasveilla, ja riskit voivat olla suuria.

Myös ojien tukkiminen arvelutti yhtä vastaajista. Kaikki lohkot eivät välttämättä sovellu vedenpinnan nostoon, etenkin jos vedenpinnan nosto vaikuttaa esimerkiksi naapuripellon vedenpintaan. Kosteikkoviljelyyn siirtyvän lohkon tulisi olla hydrologialtaan siihen sopiva, ja myöskin tilusjärjestelyn synergialtaan sopiva muutoksiin alueen hydrologiassa.

Lisätutkimustarpeet

Tutkimuskysymykseen indikaattoreiden keskinäisestä tärkeydestä, ja turvepellon vaihtoehtoisten käyttömuotojen sopivuudesta viljelijöille ei tässä työssä onnistuttu vastaamaan, sillä kyselylomakkeeseen ei saatu ainuttakaan vastausta viljelijöiltä, eikä päätösanalyysia voitu suorittaa viljelijöiden antamalla painotuksilla. Viljelijät ovat kuitenkin ratkaisevassa asemassa turvepeltojen käyttömuotojen suhteen, joten kyselyn onnistuneelle suorittamiselle on edelleen tarve. Olisi syytä myös selvittää ovatko valitut indikaattorit relevantteja viljelijöille, ja voidaanko tähän työhön valikoitujen käyttömuotojen ja indikaattoreiden valikoimaa parantaa viljelijöiden näkökulmasta, jotta monitavoitteisen päätösanalyysin lopputulos saadaan vastaamaan paremmin todellista tilannetta.

Viimeistään siinä vaiheessa, kun painotukset on onnistuttu hankkimaan viljelijöiltä, olisi myös syytä suorittaa tuloksista herkkyysanalyysi. Herkkyysanalyysin avulla voitaisiin esimerkiksi tarkastella miten muutokset indikaattoreiden arvoissa eri käyttömuodoilla vaikuttavat päätösanalyysin lopputulokseen, ja eniten lopputulokseen vaikuttavat indikaattorit kyettäisiin löytämään.

Kosteikkoviljelyn tutkimiseen Suomessa kenttäkokein on myös suuri tarve, jotta kosteikkoviljelymuotojen vaikutusta sääteleviin indikaattoreihin verrattuna nykytuotantoon voitaisiin arvioida käyttäen Suomessa saatuja mittaustuloksia. Sekä Suomessa, että myös globaalisti tarvitaan pidempiaikaisia koejärjestelyjä, jotta mahdolliset muutokset indikaattoreiden arvoissa pitkällä aikavälillä tulevat esiin kosteikkoviljelyvaihtoehdoilla.

6.2. Virhelähteet

Monitavoitteisen päätösanalyysin tekoon ja tulosten tulkintaan tässä työssä sisältyy useita virhelähteitä. Indikaattorien valinta toteutettiin ilman asianomaisia, toisin kuin monitavoitteisessa päätösanalyysissa suositellaan (Mustajoki ym. 2019), joten on mahdollista että viljelijöille relevantteja indikaattoreita on jäänyt tarkastelun ulkopuolelle, ja toisaalta irrelevantteja indikaattoreita on voinut sisältyä tarkasteluun.

Epätasainen määrä indikaattoreita osa-alueiden sisällä voi myös korostaa tai heikentää joidenkin indikaattorien merkitystä päätösanalyysissa.

Useiden indikaattorien arvot ovat myös suurelta osin spekulatiivisia yleistyksiä, ja niissä voi olla huomattavaa vuosittaista ja kasvupaikkakohtaista vaihtelua. Kosteikkoviljely on suhteellisesti niin uusi viljelymuoto, eikä varsinkaan pidempiaikaista tutkimustietoa ole juuri saatavilla, joten esimerkiksi säätelevien indikaattorien arviointi on haastavaa. Suomessa kosteikkoviljelyä ei ole tutkittu käytännössä lainkaan, joten monen säätelevän indikaattorien arvot on tässä työssä jouduttu arvioimaan käyttäen muun muassa Tanskassa, Alankomaissa, Saksassa ja Virossa suhteellisen lyhytaikaisilla mittauksilla saatuja arvoja. Myös koko taloudellisen osa-alueen arvioiminen kosteikkoviljelyvaihtoehdoilla sisältää paljon epävarmuutta, sillä esimerkiksi katteet ovat riippuvaisia markkinoista, jotka eivät ole vielä muodostuneet Suomessa. Myös kulttuurillisten indikaattorien arviointi on haastavaa, sillä indikaattorit ovat vaikeasti mitattavia.

Indikaattorien ilmastonmuutoksen vähentäminen tulkinnessa ei tässä analyysissa otettu huomioon poikkeavuutta kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa viljelykasvien ja metsityksen välillä. Kummassakaan metsitysvaihtoehdoissa puiden biomassaan sitoutuvaa hiiltä ei lasketa vapautuvaksi ilmakehään saman vuoden aikana, kuten tavanomaisessa viljelyssä ja kosteikkoviljelyssä (kappale 5.1.3.). Tämän tarkastelun ajanjaksolla (0-20v) laskennallisella erolla ei ole välttämättä merkitystä, mutta pidemmän aikavälin tarkastelussa puiden biomassaan sitoutuneen hiilen kohtalo tulee ottaa huomioon.

6.3. Johtopäätökset

Vaikka kysymykseen viljelijöiden tavoitteisiin sopivuudesta ei onnistuttu vastaamaan, tämä työ osoittaa, että turvepellon vaihtoehtoisilla märillä käyttömuodoilla on suuri potentiaali vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, ravinnepäästöjä ja painumaa, tarjota kulttuurillisia hyötyjä, ja lisäksi kosteikkoviljelyvaihtoehdoilla on potentiaalia vastata myös taloudellisiin tavoitteisiin, mikäli kosteikkoviljelytuotteille kehittyvät markkinat. Kosteikkoviljelyvaihtoehtojen taloudellinen houkuttelevuus nousisi entisestään, mikäli nykyistä useammat kasvit, kuten järviruoko ja osmankäämi tunnistettaisiin

tukikelpoisiksi viljelykasveiksi EU:n lainsäädännössä, tai kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksestä maksettaisiin suoraa korvausta viljelijälle. Kasvihuonekaasupäästöistä, ravinnepäästöistä ja painumasta tarvitaan kuitenkin pitkäaikaisia mittaustuloksia kosteikkoviljelyvaihtoehtojen kohdalla. Kosteikkoviljelyn tutkiminen kenttäkokein tulisi aloittaa myös Suomessa, jotta saataisiin tarkempaa tietoa päästöjen vähennyspotentiaalista Suomen ilmastossa ja olosuhteissa.

Lähteet

- ”38 hehtaarin lohko säätösalojiin”. 2018. *Maatilan Pellervo* (blog). 3. lokakuuta 2018. <https://maatilanpellervo.fi/2018/10/03/38-hehtaarin-lohko-saatosalaojiin/>.
- Alm, Jukka, Narasinha J. Shurpali, Kari Minkkinen, Lasse Aro, Jyrki Hytonen, Tuomas Laurila, Annalea Lohila, ym. 2007. ”Emission Factors and Their Uncertainty for the Exchange of CO₂, CH₄ and N₂O in Finnish Managed Peatlands”. *Boreal Environment Research* 12 (2): 191–209.
- Beek, Lisanne van, Denys van den Berg, Wenyan Zheng, Xueyuan Leng, Maarten Verhoog, ja Egbert Bernard Wesselink. 2015. ”Cattail Production Chain Development in Northeast Friesland”. Friesland, Netherlands: Knowledge Centre Northeast Friesland. <http://kenniswerkplaatsnoordoostfryslan.nl/uploads/files/Rapport-Better-Wetter-Lisdodde-2015.pdf>.
- Belton, Valerie, ja Theodor Stewart. 2002. *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Springer Science & Business Media.
- Berglund, Kerstin. 1989. ”Ytsänkning på mosstorvjord”. *Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för lantbrukets hydroteknik* Avdelningsmeddelande (89:3). https://pub.epsilon.slu.se/5122/1/berglund_k_100915.pdf.
- Canadell, J G. 2014. ”Ask the Experts: The IPCC Fift Assessment Report, Carbon management, 5:1, 17-25, DOI: 10.4155/cmt.13.80”.
- Conrad, R. 1996. ”Soil Microorganisms as Controllers of Atmospheric Trace Gases (H₂, CO, CH₄, OCS, N₂O, and NO).” *Microbiological Reviews* 60 (4): 609–40.
- Eggelston, H S, L Buendia, L Miwa, T Ngara, ja K Tanabe. 2006. ”2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Miscellaneous) | ETDEWEB”. 6. tammikuuta 2006. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20880391>.
- Evans, Chris D., Flo Renou-Wilson, ja Maria Strack. 2016. ”The Role of Waterborne Carbon in the Greenhouse Gas Balance of Drained and Re-Wetted Peatlands”. *Aquatic Sciences* 78 (3): 573–90. <https://doi.org/10.1007/s00027-015-0447-y>.
- Firestone, M.K., ja E.A. Davidson. 1989. ”Microbiological Basis of NO and N₂O Production and Consumption in Soil”. *Exchange of Trace Gases between Terrestrial Exosystems and the Atmosphere*, 7–21.
- Geurts, Jeroen, ja Christian Fritz. 2018. *Paludiculture pilots and experiments with focus on cattail and reed in the Netherlands*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12916.24966>.
- Gorham, E. 1991. ”Northern Peatlands - Role in the Carbon-Cycle and Probable Responses to Climatic Warming”. *Ecological Applications* 1 (2): 182–95. <https://doi.org/10.2307/1941811>.
- Grosshans, Richard. 2014. ”Cattail (*Typha* spp.) biomass harvesting for nutrient capture and sustainable bioenergy for integrated watershed management”, huhtikuuta. <https://mspace.lib.umanitoba.ca/xmlui/handle/1993/23564>.
- Grønlund, Arne, Atle Hauge, Anders Hovde, ja Daniel P. Rasse. 2008. ”Carbon Loss Estimates from Cultivated Peat Soils in Norway: A Comparison of Three Methods”. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 81 (2): 157–67. <https://doi.org/10.1007/s10705-008-9171-5>.
- Günther, Anke, Vytas Huth, Mathias Hoffmann, Gerald Jurasinski, Kerstin Albrecht, Jürgen Augustin, ja Stephan Glatzel. 2016. ”Paludiculture as a chance for

- peatlands and climate: case studies from three sites in northern Germany". Teoksessa .
- Günther, Anke, Vytas Huth, Gerald Jurasinski, ja Stephan Glatzel. 2015. "The Effect of Biomass Harvesting on Greenhouse Gas Emissions from a Rewetted Temperate Fen". *Global Change Biology Bioenergy* 7 (5): 1092–1106. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12214>.
- Haddaway, Neal R., Annette Burden, Chris D. Evans, John R. Healey, Davey L. Jones, Sarah E. Dalrymple, ja Andrew S. Pullin. 2014. "Evaluating effects of land management on greenhouse gas fluxes and carbon balances in boreo-temperate lowland peatland systems". *Environmental Evidence* 3 (1): 5. <https://doi.org/10.1186/2047-2382-3-5>.
- Hiraishi, T, T Krug, K Tanabe, N Srivastava, B Jamsranjav, M Fukuda, ja T Troxler. 2014. "2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands". 2014. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/pdf/Wetlands_separate_files/WS_Cover_Foreword.pdf.
- Huhta, Harri, ja Antti Jaakkola. 1993. "Viljelykasvin ja lannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen turvemaasta Tohmajärven huuhtoutumiskentällä v. 1983-87". Tiedote 20/93. Maatalouden tutkimuskeskus. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/442842/maatut20_93.pdf?sequence=1.
- Huth, Vytas, Mathias Hoffmann, Sarah Bereswill, Yulia Popova, Dominik Zak, ja Jürgen Augustin. 2018. "The climate warming effect of a fen peat meadow with fluctuating water table is reduced by young alder trees". *Mires and Peat* 21 (maaliskuuta): 1–18. <https://doi.org/10.19189/MaP.2017.OMB.291>.
- Isolahti, Mika, Päivi Lamminen, ja Arto Huuskonen. 2006. "Ruokohelven käyttökelpoisuus rehukasvina". Teoksessa .
- Järveoja, Järvi, Matthias Peichl, Martin Maddison, Alar Teemusk, ja Ülo Mander. 2016. "Full Carbon and Greenhouse Gas Balances of Fertilized and Nonfertilized Reed Canary Grass Cultivations on an Abandoned Peat Extraction Area in a Dry Year". *GCB Bioenergy* 8 (5): 952–68. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12308>.
- Kandel, Tanka P., Poul Erik Lærke, Carl Christian Hoffmann, ja Lars Elsgaard. 2019. "Complete annual CO₂, CH₄, and N₂O balance of a temperate riparian wetland 12 years after rewetting". *Ecological Engineering* 127 (helmikuuta): 527–35. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.019>.
- Karki, S., T. P. Kandel, L. Elsgaard, R. Labouriau, ja P. E. Lærke. 2019. "Annual CO₂ Fluxes from a Cultivated Fen with Perennial Grasses during Two Initial Years of Rewetting". *Mires and Peat* 25: 01. <https://doi.org/10.19189/MaP.2017.DW.322>.
- Karki, Sandhya, Lars Elsgaard, Joachim Audet, ja Poul Erik Lærke. 2014. "Mitigation of Greenhouse Gas Emissions from Reed Canary Grass in Paludiculture: Effect of Groundwater Level". *Plant and Soil* 383 (1–2): 217–30. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2164-z>.
- Karki, Sandhya, Lars Elsgaard, Tanka P. Kandel, ja Poul Erik Lærke. 2016. "Carbon Balance of Rewetted and Drained Peat Soils Used for Biomass Production: A Mesocosm Study". *Global Change Biology Bioenergy* 8 (5): 969–80. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12334>.
- Kasimir-Klemedtsson, Å, L. Klemedtsson, K. Berglund, P. Martikainen, J. Silvola, ja O. Oenema. 1997. "Greenhouse Gas Emissions from Farmed Organic Soils: A

- Review". *Soil Use and Management* 13 (s4): 245–50.
<https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1997.tb00595.x>.
- Kekkonen, Hanna, Hannu Ojanen, Markus Haakana, Arto Latukka, ja Kristiina Regina. 2019. "Mapping of cultivated organic soils for targeting greenhouse gas mitigation". *Carbon Management* 10 (2): 115–26.
<https://doi.org/10.1080/17583004.2018.1557990>.
- Klove, Bjorn, Kerstin Berglund, Orjan Berglund, Simon Weldon, ja Marja Maljanen. 2017. "Future Options for Cultivated Nordic Peat Soils: Can Land Management and Rewetting Control Greenhouse Gas Emissions?" *Environmental Science & Policy* 69 (maaliskuuta): 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.12.017>.
- Korhonen R., Korpela L., Sarkkola S. 2008. *Suomi - Suomaa*. Suoseura ry, Maahenki ry. s. 139, 141-143, 238, 241.
- Kotiaho, Kuusela, Nieminen, ja Päivinen. 2015. "Elinympäristöjen tilan edistäminen Suomessa". Suomen Ympäristö.
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/156982/SY_8_2015.pdf.
- Lamers, Leon P. M., Melanie A. Vile, Ab P. Grootjans, Mike C. Acreman, Rudy van Diggelen, Martin G. Evans, Curtis J. Richardson, ym. 2015. "Ecological Restoration of Rich Fens in Europe and North America: From Trial and Error to an Evidence-Based Approach". *Biological Reviews* 90 (1): 182–203.
<https://doi.org/10.1111/brv.12102>.
- Leifeld, Jens, Lena Gubler, ja Andreas Gruenig. 2011. "Organic Matter Losses from Temperate Ombrotrophic Peatlands: An Evaluation of the Ash Residue Method". *Plant and Soil* 341 (1–2): 349–61. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0649-y>.
- Leppelt, T., R. Dechow, S. Gebbert, A. Freibauer, A. Lohila, J. Augustin, M. Droesler, ym. 2014. "Nitrous Oxide Emission Budgets and Land-Use-Driven Hotspots for Organic Soils in Europe". *Biogeosciences* 11 (23): 6595–6612.
<https://doi.org/10.5194/bg-11-6595-2014>.
- Lohila, A., M. Aurela, J. Hatakka, M. Pihlatie, K. Minkkinen, T. Penttilä, ja T. Laurila. 2010. "Responses of N₂O Fluxes to Temperature, Water Table and N Deposition in a Northern Boreal Fen". *European Journal of Soil Science* 61 (5): 651–61. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01265.x>.
- Lohila, A., T. Laurila, L. Aro, M. Aurela, J.-P. Tuovinen, J. Laine, P. Kolari, ja K. Minkkinen. 2007. "Carbon Dioxide Exchange above a 30-Year-Old Scots Pine Plantation Established on Organic-Soil Cropland".
<http://jukuri.luke.fi/handle/10024/513712>.
- Lötjönen, Timo, ja Teuvo Paappanen. 2013. "Bale Density of Reed Canary Grass Spring Harvest". *Biomass and Bioenergy* 51 (huhtikuuta): 53–59.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.12.041>.
- Maddison, Martin, Tõnu Muring, Kalle Remm, Merje Lesta, ja Ülo Mander. 2009. "Dynamics of *Typha latifolia* L. populations in treatment wetlands in Estonia". *Ecological Engineering, Pollution control by wetlands*, 35 (2): 258–64.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.06.003>.
- Maljanen, Marja, Jyrki Hytonen, Paivi Makiranta, Jukka Alm, Kari Minkkinen, Jukka Laine, ja Pertti J. Martikainen. 2007. "Greenhouse Gas Emissions from Cultivated and Abandoned Organic Croplands in Finland". *Boreal Environment Research* 12 (2): 133–40.
- Maljanen, Marja, B. D. Sigurdsson, J. Guomundsson, H. Oskarsson, J. T. Huttunen, ja P. J. Martikainen. 2010. "Greenhouse Gas Balances of Managed Peatlands in the

- Nordic Countries - Present Knowledge and Gaps". *Biogeosciences* 7 (9): 2711–38. <https://doi.org/10.5194/bg-7-2711-2010>.
- Meehan, Peter, Brendan Burke, Deirdre Doyle, Susanne Barth, ja John Finnan. 2017. "Exploring the Potential of Grass Feedstock from Marginal Land in Ireland: Does Marginal Mean Lower Yield?" *Biomass and Bioenergy* 107 (joulukuuta): 361–69. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.10.014>.
- Minke, Merten, Jürgen Augustin, Andrei Burlo, Tatsiana Yarmashuk, Hanna Chuvashova, Annett Thiele, Annette Freibauer, Vitalij Tikhonov, ja Mathias Hoffmann. 2016. "Water level, vegetation composition, and plant productivity explain greenhouse gas fluxes in temperate cutover fens after inundation". *Biogeosciences* 13 (heinäkuuta): 3945–70. <https://doi.org/10.5194/bg-13-3945-2016>.
- Minkkinen, Kari, ja Jukka Laine. 2006. "Vegetation Heterogeneity and Ditches Create Spatial Variability in Methane Fluxes from Peatlands Drained for Forestry". *Plant and Soil* 285 (1): 289–304. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9016-4>.
- Minkkinen, Kari, Paavo Ojanen, Timo Penttilä, Mika Aurela, Tuomas Laurila, Juha-Pekka Tuovinen, ja Annalea Lohila. 2018. "Persistent Carbon Sink at a Boreal Drained Bog Forest". *Biogeosciences* 15 (11): 3603–24. <https://doi.org/10.5194/bg-15-3603-2018>.
- Mustajoki, Jyri, Heli Saarikoski, Valerie Belton, Turo Hjerppe, ja Mika Marttunen. 2019. "Utilizing ecosystem service classifications in multi-criteria decision analysis – Experiences of peat extraction case in Finland". *Submitted manuscript to Ecosystem Services magazine*, huhtikuuta.
- Mäkinen, Ahti. 2018. "Vegetation and ecology of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) dominated swamps and mesic forest sites in Finland". <http://www.suo.fi/pdf/article10128.pdf>.
- Mäkiranta, P., J. Hytönen, L. Aro, M. Maljanen, M. Pihlatie, H. Potila, N. J. Shurpali, ym. 2007. "Soil Greenhouse Gas Emissions from Afforested Organic Soil Croplands and Cutaway Peatlands". <http://jukuri.luke.fi/handle/10024/513713>.
- Nieminen, Henri. 2017. "Säätösalaajituksen vaikutukset pellon vesitalouteen. Case Mustiala 2016". *Fi=AMK-opinnäytetyö|sv=YH-examensarbete|en=Bachelor's thesis*. Hämeen ammattikorkeakoulu. 2017. <http://www.theseus.fi/handle/10024/125004>.
- Paasonen-Kivekäs, Maija. 2009. *Maan vesi ja ravinnetalous: ojitus, kastelu ja ympäristö*. Salaojayhdistys.
- Parnell, Gregory S., ja Timothy E. Trainor. 2009. "2.3.1 Using the Swing Weight Matrix to Weight Multiple Objectives". *INCOSE International Symposium* 19 (1): 283–98. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2009.tb00949.x>.
- Paul, Carsten, Réamonn Fealy, Owen Fenton, Gary Lanigan, Lilian O'Sullivan, ja Rogier P. O. Schulte. 2018. "Assessing the role of artificially drained agricultural land for climate change mitigation in Ireland". *Environmental Science & Policy* 80 (helmikuuta): 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.004>.
- Pijlman, J., J. Guerts, R. Vroom, M. Bestman, C. Fritz, ja N. van Eekeren. 2019. "The effects of harvest date and frequency on the yield, nutritional value and mineral content of the paludiculture crop cattail (*Typha latifolia* L.) in the first year after planting". *Mires and Peat*, nro 25 (toukokuuta): 1–19. <https://doi.org/10.19189/MaP.2017.OMB.325>.
- Regina, Kristiina, Jatta Sheehy, ja Merja Mylly. 2015. "Mitigating Greenhouse Gas Fluxes from Cultivated Organic Soils with Raised Water Table". *Mitigation and*

- Adaptation Strategies for Global Change* 20 (8): 1529–44.
<https://doi.org/10.1007/s11027-014-9559-2>.
- Riet, B. P. van de, M. M. Hefting, ja J. T. A. Verhoeven. 2013. "Rewetting Drained Peat Meadows: Risks and Benefits in Terms of Nutrient Release and Greenhouse Gas Exchange". *Water, Air, & Soil Pollution* 224 (4): 1440.
<https://doi.org/10.1007/s11270-013-1440-5>.
- Saarikoski, Heli, Jyri Mustajoki, Turo Hjerppe, ja Kaisu Aapala. 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 (elokuuta): 17–28.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.04.010>.
- Tiemeyer, Bärbel, Elisa Albiac Borraz, Jürgen Augustin, Michel Bechtold, Sascha Beetz, Colja Beyer, Matthias Drösler, ym. 2016. "High Emissions of Greenhouse Gases from Grasslands on Peat and Other Organic Soils". *Global Change Biology* 22 (12): 4134–49. <https://doi.org/10.1111/gcb.13303>.
- Van den Heuvel, R. N., S. E. Bakker, M. S. M. Jetten, ja M. M. Hefting. 2011. "Decreased N₂O Reduction by Low Soil PH Causes High N₂O Emissions in a Riparian Ecosystem". *Geobiology* 9 (3): 294–300.
<https://doi.org/10.1111/j.1472-4669.2011.00276.x>.
- Vroom, Renske J. E., Fujun Xie, Jeroen J. M. Geurts, Aleksandra Chojnowska, Alfons J. P. Smolders, Leon P. M. Lamers, ja Christian Fritz. 2018. "Typha Latifolia Paludiculture Effectively Improves Water Quality and Reduces Greenhouse Gas Emissions in Rewetted Peatlands". *Ecological Engineering* 124 (joulukuuta): 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.09.008>.
- Waddington, J. M., ja S. M. Day. 2007. "Methane Emissions from a Peatland Following Restoration". *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences* 112 (G3): G03018. <https://doi.org/10.1029/2007JG000400>.
- Wichtmann, W., C. Schroder, ja H. Joosten, toim. 2016. *Paludiculture - Productive Use of Wet Peatlands: Climate Protection - Biodiversity - Regional Economic Benefits*. Stuttgart, Germany: E Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. s. 3, 8-12, 22-24, 33-38, 89, 92, 106, 115)
- Wilson, D., D. Blain, J. Couwenberg, C. D. Evans, D. Murdiyarso, S. E. Page, F. Renou-Wilson, ym. 2016. "Greenhouse Gas Emission Factors Associated with Rewetting of Organic Soils". *Mires and Peat* 17: UNSP 04.
<https://doi.org/10.19189/MaP.2016.OMB.222>.
- Worrall, Fred, Alona Armstrong, ja Joseph Holden. 2007. "Short-Term Impact of Peat Drain-Blocking on Water Colour, Dissolved Organic Carbon Concentration, and Water Table Depth". *Journal of Hydrology* 337 (3–4): 315–25.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.01.046>.
- Zak, Dominik, ja Joerg Gelbrecht. 2007. "The Mobilisation of Phosphorus, Organic Carbon and Ammonium in the Initial Stage of Fen Rewetting (a Case Study from NE Germany)". *Biogeochemistry* 85 (2): 141–51.
<https://doi.org/10.1007/s10533-007-9122-2>.

https://serc.carleton.edu/microbelife/research_methods/biogeochemical/organic_carbon.html

Niittymaa, Veikko. 2018. Pelto halpeni viime vuonna keskimäärin 400 euroa per hehtaari - kaupat painottuivat itään ja pohjoiseen
<https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/artikkeli-1.224708> Viitattu 26.2.2020

<https://www.maanmittauslaitos.fi/ajankohtaista/tilasto-kiinteistokauppa-laski-edellisvuodesta>

Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut [verkkajulkaisu].
ISSN=1797-6049. 2018. Helsinki: Tilastokeskus
Saantitapa: http://www.stat.fi/til/khki/2018/khki_2018_2019-12-12_tie_001_fi.html
Viitattu: 8.1.2020.

<https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/virkistyskaytto/> Viitattu 17.4.2020

Liitteet

Liite 1. Käyttömuotojen välille (0-1) normalisoitu indikaattorikohtainen suoriutuminen.

	kate A 0-5v	kate A 5-20v	Työ- tunnit	inves- toinnit	maan arvo	Markki- noiden vakaus	Satoa rehuksi tai elin- tarvikkeeksi	Vaihto- ehtoisten materiaalien tuottaminen	Painuman vähentäminen	Typpi- päästöjen vähentäminen	Ilmaston- muutoksen vähentäminen	Mahdollisuus virkestys- käyttöön	Tietoa uusista viljely- muodoista
1) Kauran viljely	0,60	0,49	0,53	1,00	0,81	0,50	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2) Säilörehunurmen viljely	1,00	0,79	0,06	1,00	0,81	1,00	1,00	0,00	0,33	0,58	0,01	0,00	0,00
3) Peltoheitto	0,43	0,37	0,94	1,00	0,23	1,00	0,00	0,00	0,67	0,58	0,27	1,00	0,00
4) Säättösalaajitettu kauran viljely	0,48	0,46	0,47	0,00	1,00	0,50	0,44	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00	0,50
5) Säättösalaajitettu säilörehunurmen viljely	0,80	0,79	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,33	0,81	0,01	0,00	0,50
6) Kosteikkoviljely 1: ruokohelpilaidun	0,31	0,43	0,65	0,71	0,75	0,50	0,94	0,00	0,87	0,85	0,66	0,00	1,00
7) Kosteikkoviljely 2: ruokohelpi säilörehuksi	0,42	0,57	0,06	0,71	0,75	0,50	0,94	0,00	0,87	1,00	0,73	0,00	1,00
8) Kosteikkoviljely 3: osmankäämi rakennuslevyksi	0,77	1,00	0,65	0,47	0,23	0,00	0,00	1,00	0,93	1,00	0,69	0,00	1,00
9) Kosteikkoviljely 4: järviruoko kasvatusalustaksi	0,07	0,13	0,65	0,18	0,23	0,00	0,00	0,84	1,00	1,00	0,83	0,00	1,00
10) Ennallistaminen	0,00	0,04	0,94	0,85	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,75	1,00	0,50
11) Metsitys 1: kuusi-koivu-sekametsä	0,00	0,00	1,00	0,39	0,20	1,00	0,00	0,00	0,77	0,58	0,68	1,00	0,00
12) Metsitys 2: tervaleppä	0,00	0,02	1,00	0,24	0,20	0,50	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Liite 2. Arvioidut investoinnit ja menot kosteikkoviljelyvaihtoehdoilla. *) Lannoituksen ja kalkituksen tarve perustuu Mattilan suulliseen arvioon (2020).

		Siemenet		Lannoitus: 60 kg N	Kalkitus 500kg	Traktoriyö	Säilöntäaine	Kuivaus	Kuljetus
	Maatyöt (€)	(€)	Taimet (€)	(€/v/ha) *	(€/v/ha) *	(€/v/ha)	(€/v/ha)	(€/v/ha)	(€/v/ha)
Ruokohelpilaidun	500	458	-	83,3	22	-	-	-	107,6
Ruokohelpi säilörehuksi	500	458	-	83,3	22	96	48	-	-
Osmankäämi	922	400	-	83,3	22	32	-	123,2	127,6
Järviruoko	500	-	2200	83,3	22	32	-	-	-