

Opinnäytetyö (AMK)

Kemiantekniikka

2023

Hanna Saarinen

Turvemaiden hiilensidonta

– mahdollisuudet ja kustannukset



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Kemiantekniikan insinööri

2023 | 56 sivua

Hanna Saarinen

Turvemaiden hiilensidonta

- mahdollisuudet ja kustannukset

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää viljelijälle syntyvät kustannukset, jos hän viljelee pajua turvemaalla. Opinnäytetyö on toteutettu Green Carbon Finlandin toimeksiantona. Opinnäytetyössä tarkastellaan myös pajun jatkokäyttömahdollisuuksia ja erityisesti pajun soveltumista biohiileksi.

Suomessa vapautuu lähivuosina paljon turvemaata turvetuotannosta. Turpeen ilmastohaitat ovat suuret, sillä turve hajotessaan vapauttaa hiidioksidia ilmakehään. Vaihtoehtoisia keinoja etsitään tämän ilmastohaitan ehkäisemiseksi. Maanviljelyssä turvemaita on jo pitkään hyödynnetty osana viljelyä. Tällä hetkellä Suomessa ohjataan maanviljelijöitä tukipolitiikan avulla istuttamaan monivuotinen nurmi turvemaille. Opinnäytetyössä vertaillaan kannattavuutta erityisesti nurmen ja pajun viljelyn välillä. Opinnäytetyöni tutkimus on pohjattu julkisesti saatavilla olevaan tutkimustietoon ja hintatietoihin.

Pajun viljely turvemaalla on viljelijälle sellaisenaan kannattamatonta toimintaa. Ilmastoyksiköiden myynnin avulla toimintaa saadaan kannattavammaksi ja viljelijän kannalta houkuttelevammaksi, eikä viljely eroa tuotoiltaan nurmen viljelystä. Opinnäytetyön tulos on suuntaa antava ja vaatii lisätutkimuksia, sillä riittävästi tietoa eri osa-alueiden konkreettisista kustannuksista ei ollut saatavilla.

Asiasanat:

Turvemaa, Viljely, Hiilensidonta, Paju, Biohiili, Maataloustuet

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Bachelor of Chemical Engineering

2023 | 56 pages

Hanna Saarinen

Carbon Fixation in Peatlands

- Opportunities and Costs

The aim of the thesis was to determine the sum a farmer loses or gains if growing willow on peatland. This thesis was commissioned by Green Carbon Finland Oy. The suitability of willow as biochar and the other opportunities for willow use are also examined.

There is a lot of peatland in Finland which is going to be released from peat production within the next few years. The disadvantages for the climate are severe because peat releases carbon dioxide into the atmosphere when it degrades. Research is ongoing to find different ways to prevent degradation and utilize the land for example in agriculture. In Finland, peatlands have long been a part of agriculture. At the moment subsidy policies recommend that grass is planted on the peatlands. In the thesis the profitability of grass and peat is studied. The studies of this thesis are based on available information about research, price and agricultural subsidies.

Willow farming is unprofitable for the farmer without the climate unit sale profits. With unit sales, willow farming is made more profitable, and in the best scenario, willow farming is as profitable as planting grass. The result of the thesis is only indicative because there was not enough information about actual costs concerning the different parts of the study.

Keywords:

Peatland, Farming, Biochar, Carbon fixation, Willow, Agricultural subsidies

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	6
1 Johdanto	8
2 Hiilensidonta	9
2.1 Hiilineutraalius, net-zero ja hiilinegatiivisuus	9
2.2 Kansainväliset ja kansalliset ilmastotavoitteet hiilensidonnan tukena	10
2.3 Lait ja säädökset hiilensidontaan liittyen	12
2.4 Hyvän menetelmän kriteeristö	14
2.5 Vapaaehtoiset hiilimarkkinat ja markkinatilanne	19
3 Turvemaat Suomessa	21
3.1 Hiiliviljely	21
3.2 Hiilensidonta turvemaalla viljeltäessä	22
4 Biohiili	25
4.1 Valmistus (pyrolyysi)	25
4.2 Käyttötarkoitukset	28
4.3 Markkinat	31
5 Pajun viljely turvemaiden hiilensidonnan keinona	33
5.1 Vaikutukset hiilitaseeseen ja hyvän käytännön periaatteet	34
5.2 Viljelystä syntyvät kustannukset viljelijälle	36
5.3 Viljelyn pajun jatkokäyttömahdollisuudet	41
6 Johtopäätökset	43
7 Pohdinta	45
Lähteet	48

Kuvat

Kuva 1. Hiiliyksiköiden arvioitu tarve perustuen 700 suuren yrityksen tarpeisiin (Blaufelder ym. 2021).	20
Kuva 2. Pyrolyysiprosessi (mukaillen Bradana & Pudiman 2014, 3).	27
Kuva 3. Pyrolyysilaitteisto (mukaillen Basu 2010, 151).	27
Kuva 4. Eri tuotteiden hintakeskiarvo tuoteryhmittäin (mukaillen Puro.earth 2023b).	32

Taulukot

Taulukko 1. Pyrolyysitavat ja vaikutukset biohiilen saantiin (mukaillen Yaning ym. 2019).	28
Taulukko 2. Nurmen ja pajun maataloustuet vuonna 2023 (mukaillen Ruokavirasto 2023d).	36
Taulukko 3. Pajun ja nurmen hehtaari tuotot vuoden osalta (Luke 2023c; Puro.earth 2023b; Ruokavirasto 2023d).	37

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

Lyhenne	Lyhenteen selitys (Lähdeviite)
BSAG	Baltic Sea Action Group
Biodiversiteetti	Luonnon monimuotoisuus. Käsite pitää sisällään eri lajien runsauden, elinympäristöjen laajuuden ja lajin sisäisen geneettisen muuntelun. (Maa- ja metsätalousministeriö (jatkossa MMM) n.d.)
ESG	Environmental, social and governance on viitekehys yritysten sidosryhmille, joka kertoo yrityksen riskinhallinnasta ympäristö-, hallinto- ja sosiaalikriteerien kautta. ESGssä pyritään huomioimaan se, että kestävyys ulottuu myös ympäristötekijöiden ulkopuolelle. Alun perin termiä on käytetty lähinnä sijoittamisen tukena, on se laajentunut myös hyväksi mittariksi työntekijöiden ja yleisön käyttöön hiilensidontamenetelmien ja niiden luotettavuuden arvioinnissa. (Peterdy 2023.)
EU	Euroopan Unioni
GtCO ₂	Hiilidioksidiekvivalenttigitonni. Luvulla kuvataan yleensä globaalilla tasolla aiheutettua hiilijalanjälkeä eli kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävän vaikutuksen määrää. Pienemmistä määristä kuten yksilön hiilijalanjäljestä puhuttaessa käytetään usein yksikköä tCO ₂ e eli hiilidioksidiekvivalenttitonni. (Helen 2018; ClimateUniversity 2023.)
ICVCM	The Integrity Council for the Voluntary Carbon Market
Luke	Luonnonvarakeskus
MMM	Maa- ja metsätalousministeriö

SDG

SDG eli kestävä kehitys tavoitteet ovat YK:n hyväksymät tavoitteet, joihin jäsenmaat sitoutuvat. Tavoitteena on luoda yhdenmukainen, ekologisesti kestävä ja yhdenvertainen maailma kaikille. SDG on jaettu 17 eri osa-alueeseen ja näiden osa-alueiden alle pyritään tuottamaan keinovalikoimaa, sekä tutkittua tietoa, joita jäsenmaat voivat hyödyntää toiminnassaan. Osa-alueita ovat muun muassa nälänhädän lopettaminen, laadukas koulutus, puhtaan veden turvaaminen ja erilaiset ympäristö toimet, kuten hiilen sidonnan erilaiset toiminnot. (Yhdistyneet kansakunnat n.d.)

YK

Yhdistyneet kansakunnat

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, voiko pajua käyttää turvemaalla hiilensidontaan ja millaisia vaikutuksia sillä on. Selvitystyö sai alkunsa Green Carbon Finland Oy:n pyynnöstä. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kustannukset, jotka syntyvät pajun viljelystä biohiileksi turvemaalla. Pajun viljelyllä pyritään siihen, että turvetuotannosta poistuneiden turvemaiden hiilensidontaa saataisiin tehostettua ja hiilipäästöjä näillä alueilla vähennettyä. Opinnäytetyö kuitenkin laajentaa tätä näkökulmaa ja pohtii, että voiko jo olemassa olevia turvepeltoja mahdollisesti hyödyntää pajun viljelyssä ja miten se vaikuttaisi maanviljelijään.

Opinnäytetyön alussa avataan yleisesti teoriaa hiilensidonnasta, biohiilen valmistuksesta ja turvemaiden nykyisestä käytöstä, sekä viljelykeinoista, jotta lukijana olisi mahdollista ymmärtää ilmiöt selvityksen taustalla. Yleiskuvan avulla on helpompaa ymmärtää eri näkökulmia, jotka on otettava huomioon pajun viljelyssä turvepelloilla ja pajun jatkojalostuksessa.

Pajun viljely ei ole Suomessa kannattavaa sellaisenaan, sillä tuet ohjaavat nurmen istuttamiseen maatalouskäytössä olevalle turvemaalle. Vertailussa tuli kuitenkin esille, että pajusta saataisiin maanviljelijälle kannattavaa, jos yksiköiden myynti ja pajusta maksettava hinta otetaan huomioon. Nämä asiat huomioiden pajusta tulisi viljelijälle yhtä kannattavaa, kuin nurmesta ensimmäisten viiden vuoden aikana. Lopputuloksessa ei kuitenkaan ole kyetty huomioimaan pajun ja nurmen viljelyn kaikkia kustannuksia ja sen vuoksi lopputulos on suuntaa antava. Pajun viljelyyn liittyy myös monia epävarmuutekijöitä, jotka alentavat pajun viljelyn houkuttavuutta viljelijän kannalta. Pajussa on kuitenkin paljon potentiaalia ja sitä on mahdollista hyödyntää osana maataloutta myös turvemaalla viljelyn ulkopuolella.

2 Hiilensidonta

Hiilensidonnan lisääminen kaikessa toiminnassa on tärkeää, jotta ilmastonmuutoksen vaikutuksia saataisiin hillittyä ja ilmaston nykyinen lämpenemistahti saataisiin pysäytettyä. Ilmastonmuutoksen voidaan todeta olevan tällä hetkellä suurin yksittäinen uhkatekijä ekosysteemille ja ihmisille. Ilmastonmuutos on seurausta liiallisista kasvihuonekaasupäästöistä ja erityisesti hiilidioksidista ilmakehässä. Sen vuoksi onkin olemassa kansainvälinen tahtotila löytää toimia hiilidioksidin ja kasvihuonekaasujen poistamiseksi ilmakehästä. Nämä toimet ovat osa hiilensidontaa. (Yanbin ym. 2022.) Hiilensidonnaksi lasketaan kaikki toiminta, joka sitoo hiilidioksidia ilmakehästä ja varastoi sen itseensä. Hiilensidontaan lasketaan osaksi myös kasvien luontaisesti tekemä yhteyttäminen. (Sitra n.d.) Hiilensidontaan liittyy muun muassa erinäisiä tavoitteita, säädöksiä ja lakeja, jotka ohjaavat valtioita ja alan toimijoita. Näistä tärkein on YK:n ilmastosopimus eli Pariisin sopimus, jonka tärkein tavoite on pitää maapallon keskilämpötilan nousu alle 2 celsiusasteessa, mutta pyrkimyksenä on rajoittaa lämpötilan nousu kokonaisuudessaan 1,5 celsiusasteeseen. Tämän sopimuksen nojalla valtioiden pääsemistä tavoitteisiin kansallisen kapasiteetin puitteissa seurataan 5 vuoden välein. (Pariisin sopimus 2015, 2:1–2.)

2.1 Hiilineutraalius, net-zero ja hiilinegatiivisuus

Hiilineutraalius tarkoittaa sitä, että yritys/yksilö/valtio ei toiminnallaan lisää hiilidioksidin kokonaismäärää ilmakehässä. Koska monen yrityksen tai valtion on mahdotonta toteuttaa toimintaansa ilman päästöjä, on niiden usein ostettava hiiliyksiköitä muualta hyvittääkseen osaa toiminnassa syntyvistä päästöistään. Net-zerosta puhutaan, kun yritys tai valtio huomioi toiminnassaan myös muut kasvihuonekaasut hiilidioksidin lisäksi ja hyvittää nämäkin päästöt siten, ettei heidän toimintansa lisää minkään kasvihuonekaasun määrää ilmakehässä. Hiilinegatiivisuus sen sijaan tarkoittaa sitä, että yritys, yksilö tai valtio sitoo toiminnallaan enemmän hiilidioksidia ilmakehästä, kuin sinne yrityksen

toiminnassa vapautuu. Hiilinegatiivisuus on tällä hetkellä monen valtion ja suuryrityksen tavoite omassa toiminnassaan. (Wollerton 2021.)

2.2 Kansainväliset ja kansalliset ilmastotavoitteet hiilensidonnan tukena

Kaikilla valtioilla on omat ilmastotavoitteensa ja tavoiteajankohdat, joihin mennessä tavoitteisiin on päästävä. Ilmastotavoitteet pitävät sisällään erilaisia keinoja siihen, miten hiilensidontaa lähdetään toteuttamaan. Nämä ilmastotavoitteet ovat yhtenäisiä YK:n Pariisin sopimuksen kanssa. Kansainvälisellä tasolla on määritelty viisi tavoitetta, joiden avulla on mahdollista taistella ilmastonmuutosta vastaan. Nämä viisi tavoitetta ovat lisätä kestävyyttä erilaisia luonnonilmiöitä ja katastrofeja vastaan, sisällyttää ilmastonmuutostavoitteet osaksi päätöksentekoa ja suunnitelmia, lisätä osaamista ja tietoisuutta ilmastonmuutokseen liittyen, täytäntöön panna YK:n ilmastopimusta, sekä lisätä keinoja hallinto- ja suunnittelukapasiteetin lisäämiseksi. (The Global Goals 2023.)

Euroopan unioni on asettanut tavoitteekseen olla ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä. Osa ilmastotavoitetta on vähentää kasvihuonepäästöjä 55 % vuoteen 2030 mennessä. Euroopan unioni aikoo edesauttaa ilmastotavoitteeseen pääsemistä muun muassa lainsäädännön ja erilaisten ohjeistusten, sekä linjausten keinoin. Euroopan unionilla on myös tavoitteena luoda yhtenäiset säännöt hiilensidonnan yksiköitä tai palveluita myyville yrityksille eli vapaaehtoisille hiilimarkkinoille. (Euroopan komissio n.d.)

Suomi on asettanut tavoitteekseen olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Tämän jälkeen pyritään siirtymään hiilinegatiivisuuteen. Suomi noudattaa tavoitteiden asettelussaan ja niihin pääsemisessä Pariisin ilmastopimusta. Viime hallituskaudella (2019–2023) linjattiin, että tavoitteisiin pääsemiseksi Suomen on pyrittävä uudistamaan lainsäädäntöä, lisäämään ilmasto-osaamista eri sektoreilla ja muuttamaan tukijärjestelmiä. Tukijärjestelmät pyrittiin luomaan niin, että ne kannustavat hiilensidontaan. Tämän lisäksi Suomessa pyrittiin hallituskauden aikana lisäämään ja vahvistamaan hiilinieluja ja -varastoja, sekä

pienentämään hiilijalanjälkeä rakentamisessa ja asumisessa. Suomessa huomioitiin myös luonnon monimuotoisuuden säilyminen tärkeänä osana ilmastopolitiikkaa. (Valtioneuvosto 2019, 32–47.) Hallituskauden aikana Suomeen laadittiin ilmastolaki, joka velvoittaa kaikkia pyrkimään ilmastotavoitteisiin niin lyhyellä, kuin pitkällä tähtäimellä. Ilmastolaissa myös määriteltiin tavoitteiden seurannasta ja siitä, että kansalaisten on kyettävä vaikuttamaan ilmastopolitiikkaan. (Ilmastolaki 423/2022, 1–2.) Suomella on kunnianhimoiset tavoitteet, mutta toistaiseksi toimenpiteet eivät vastaa tavoitteita, eikä nykyisillä toimenpiteillä tulla pääsemään ilmastotavoitteisiin (Valtioneuvosto 2023a, 28).

Nykyisellä hallituskaudella päästöjen vähentäminen on edelleen nähty tärkeänä osa-alueena. Hallituksen visiona on, että Suomesta tulee edelläkävijä puhtaan energian ja ilmastokädenjäljen osalta. Tämän lisäksi Suomen puhdas ja monimuotoinen luonto nähdään edelleen etuna, jota halutaan suojella. Luonnon monimuotoisuuden häviäminen onkin tarkoitus hallituskauden aikana pysäyttää. Hallitus on hallitusohjelmassaan linjannut puhtaan energian Suomen toteutuvan kuuden eri osa-alueen kautta (Valtioneuvosto 2023b, 133–156);

1. Suomessa tuotetaan sähköä kestävästi siten, että Suomi on tulevaisuudessa sähköntuotannossa omavarainen. Tuotettu sähkö on ekologista ja kestävä.
2. Lisääntyvä sähkö käytetään suoraan asukkaiden ja teollisuuden hyväksi Suomen sisällä.
3. Suomessa lupapolitiikkaa hiilensidontaa tukevien ja ekologisten ratkaisujen osalta sujuvoitetaan ja lupapolitiikassa tullaan olemaan edelläkävijöitä.
4. Suomi kasvattaa ilmastokädenjälkeään ja etenee hiilineutraaliutta kohti vahvoin ja vaikuttavin keinoin.
5. Suomi vaalii arvokasta luontoaan ja
6. Kiertotaloudella edesautetaan Suomen puhtaan ympäristön ylläpitoa.

Näiden tavoitteiden avulla voidaan nähdä, että hiilineutraalius ja sen saavuttamiseksi kehitettävät keinot tulevat olemaan merkittävä osa-alue Suomen taloudellisessa kehityksessä.

2.3 Lait ja säädökset hiilensidontaan liittyen

Hiilensidonnan toimenpiteet sisältyvät osaksi isoja lakikokonaisuuksia, kuten esimerkiksi jo aiemmin mainittua Pariisin sopimusta ja ilmastolakia. Nämä lait määrittävät suuressa määrin sitä, miten hiilensidontaa tehostetaan valtiotasolla ja millä aikataululla hiilineutraaliustavoitteet toteutetaan. (Ilmastolaki 423/2022, 1–2; Pariisin sopimus 2015, 2:1–2.) Kioton sopimuksessa on mainittu hiilensidontaan liittyvät hiilimarkkinat ensimmäistä kertaa. Muilta osin Kioton sopimuksessa velvoitetaan sopimusta noudattavia teollisuusvaltioita muun muassa kehittämään maatalouttaan ilmastoystävälliseen ja kestävämpään suuntaan, suojelemaan hiilinieluja, tutkimaan & kehittämään uusiutuvan energian lähteitä ja jakamaan tietoa hyvistä menetelmistä yli valtiorajojen. (Kioton sopimus 1997, 2:1.) Pariisin sopimus korvasi Kioton sopimuksen vuonna 2020, mutta Kioton sopimuksessa olevia asioita on paljolti siirretty Pariisiin sopimukseen ja täydennetty siellä. (Pariisin sopimus 2015, 7–9).

Suomessa noudatetaan myös ympäristönsuojelulakia. Tätä lakia sovelletaan teolliseen tai muuhun sellaiseen toimintaan, jossa riskinä on ympäristön vaarantuminen tai pilaantuminen. Lain tarkoituksena on ehkäistä ympäristön pilaantumista, torjua ilmastonmuutosta sekä suojella luonnon monimuotoisuutta ja turvata kestävien menetelmien käyttö teollisuudessa.

Ympäristönsuojelulaissa on samoin kuin ilmastolaissa määritelty kansalaisten mahdollisuuksien parantaminen osallistua ympäristöä koskevaan päätöksentekoon. (Ympäristönsuojelulaki 2014/527, 1–2.)

Muun muassa näiden lakien perusteella on luotu erilaisia standardeja hiilensidontaan liittyen, joita alalla olevat toimijat noudattavat. Näiden lakien lisäksi on olemassa vielä monia lakeja ja säädöksiä valtiotasolla, joiden puitteissa eri alat toimivat ja suunnittelevat hiilensidonnan toimenpiteitä.

Hiiliyksiköihin ja niiden tuottamiseen liittyvät standardit

Standardit on luotu, jotta erilaisten palveluiden laatu, turvallisuus ja yhdenmukaisuus saadaan turvattu. Standardien käyttäminen turvaa eri tuottajien vastaavien tuotteiden tasalaatuisuuden. Standardien tärkeimpiä ominaisuuksia on, että niiden avulla saadaan luotua yhteisiä pelisääntöjä alalle, joita noudattamalla kyetään turvaamaan asiakkaat ja ympäristö. Hiilensidontaan on olemassa myös omat standardinsa. (Suomen standardisoimisliitto n.d.)

Vapaaehtoisilla hiilimarkkinoilla on olemassa monia eri toimijoita, jotka myyvät tuottamiaan hiiliyksiköitä yrityksille ja valtioille. Näillä toimijoilla on käytössään erilaisia menetelmiä, jotka pohjaavat yritysten standardisoimiin prosesseihin. Nämä hiiliyksiköt voidaan pääasiassa jakaa kahteen erilliseen ryhmään - sertifioituihin ja vapaaehtoisiin päästövähennyksiin. Sertifioidut yksiköt noudattavat Kioton sopimusta ja ovat Yhdistyneiden Kansakuntien hyväksymiä. Tällaisia yksiköitä ovat muun muassa Clean Development Mechanism (CDM)-, Joint Implementation (JI)- ja European Union Allowances (EUA)- standardien mukaan tuotetut yksiköt. (United Nations Framework Convention on Climate Change n.d.) Vapaaehtoisia päästövähennyksiä tuotetaan pääasiassa seuraavien standardien - VCS (Verified Carbon Standard), VOS (Voluntary Offset Standard) ja GS VER (Gold Standard Verified Emissions Reduction) - mukaan (Carbon Footprint n.d.). Yritykset, kuten Verra ja Gold Standard, antavat mahdollisuuden eri toimijoille tarjota tuottamiaan hiiliyksiköitä myyntiin heidän luoman prosessinsa puitteissa. Tällä on pyritty siihen, että markkinoille päätyvät yksiköt noudattavat hyvän käytännön periaatteita (lisää luvussa 2.4) ja viherpesua ei pääsisi tapahtumaan. Molempiin toimijoihin on kohdistunut paljon kritiikkiä, ja epäselvyyksiä saavutetuista päästövähennyksissä on ilmennyt. (Greenfield 2023.)

Päästöyksiköiden standardoinnin tueksi löytyy myös ISO 14064 –standardi, joka on jaettu kolmeen osaan. Näiden osien tarkoituksena on luoda kokonaiskuva siitä, mitä kaikkea kasvihuonepäästöjen laskenta ja poisto, sekä määrittely pitävät sisällään niin projekti, kuin organisaatiotasolla. Osa yksi sisältää tiedot

organisaatiotasolla toimimiseen, osa kahdessa kerrotaan projektitasolla tapahtuvan laskennan, seurannan ja raportoinnin rajauksista. Standardin osa kolme pitää sisällään määrittelyt kasvihuonekaasuja koskevien väittämien todentamiseen ja validointiin. Näiden standardien puitteissa onkin luotavissa luotettavia menetelmiä, jotka huomioivat monet eri näkökulmat ja ympäristön säilymisen. (SFS-EN ISO 14064-1:2019, 1; SFS-EN ISO 14064-2:2019, 1; SFS-EN ISO 14064-3:2019, 1).

2.4 Hyvän menetelmän kriteeristö

Hyvän käytännön periaatteiden avulla voidaan määritellä, onko hiilensidontamenetelmä kannattava ja sellaisenaan hyväksyttävä. Maa- ja metsätalousministeriön oppaassa vapaaehtoisille hiilimarkkinoille on jaoteltuna hyvän käytännön periaatteet yhdeksään osa-alueeseen; lisäisyys, perusura, vankka laskentamenetelmä, seuranta & raportointi, pysyvyys, hiilivuodon välttäminen, kaksoislaskennan välttäminen, merkittävän haitan välttäminen, sekä aitous, riippumaton todentaminen & sertifiointi. (Valtioneuvosto 2023a, 18–61.) The Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM) on jakanut määritelmässään hyvän menetelmän kriteeristön kolmen eri osa-alueen alle – hallinto, päästövaikutukset ja kestävä kehitys. Nämä osa-alueet pitävät sisällään paljon samoja asioita, kuin Maa- ja metsätalousministeriön opas. Molemmat oppaat ovat syntyneet alan tarpeesta saada kriteeristöjä, jonka perusteella menetelmiä voidaan arvioida ja hyväksyä käyttöön. Kriteeristöjen avulla menetelmien tehokkuutta ja luotettavuutta saadaan parannettua. Kriteeristöt eivät nykyisellään ole valmiita ja tulevat päivittymään vuosien saatossa. (The Integrity Council for the Voluntary Carbon Markets (ICVCM) 2023, 50–63; Valtioneuvosto 2023a, 137.) Näiden kriteeristöjen lisäksi EU:lla on kehitteillä oma kriteeristönsä, johon EU-komissioilla on olemassa jo luonnosehdotuksia, mutta varsinaista julkistettua kriteeristöä ei vielä ole saatavilla, sillä se on käsittelyssä parlamentilla. EU:n kriteeristö kulkee tällä hetkellä nimellä QU.A.L.ITY ja se pitää sisällään määreet kvantifioinnista (**Q**uantification), lisäisyydestä (**A**dditionality), pitkän aikavälin säilytyksestä

(Long-term storage) sekä kestävydestä (sustainability). (Euroopan Komissio 2023.) Olen itse jaotellut yllä mainitut hyvän käytännön periaatteet viiteen kategoriaan tekstin selkeyttämiseksi. Alla on menetelmistä koottuna tärkeimmät kriteerit Maa- ja metsätalousministeriön, sekä ICVCMn oppaista.

Lisäisyys ja perusura

Lisäisyys tarkoittaa sitä, että menetelmän käyttäminen tulee taloudellisesti kannattavaksi tai kannattavimmaksi vaihtoehdoksi ainoastaan yksikön myynnistä saatujen tulojen avulla. Eli sellaisenaan jo kannattava hiilensidontamenetelmää ei läpäise lisäisyydelle asetettuja kriteerejä. Taloudellisen lisäisyyden lisäksi on huomioitava sääntelyllinen lisäisyys eli menetelmää on tarkasteltava suhteessa valtion politiikkatoimiin. Menetelmän ei voida katsoa olevan lisäinen, jos suunniteltu menetelmä on jo olemassa tai se on lainsäädännön mukaan pakollinen. Myöskään menetelmä, johon myönnetään valtiolta tukea, kuten metsitystukea, ei ole lisäinen. Perusuralla sen sijaan tarkoitetaan hiilensidontan laskentaan käytettävää perustasoa, jonka avulla kyetään määrittämään menetelmää käyttämällä saatu lisähiilensidonta. Perusuran tulee olla tieteelliseen tutkimustietoon perustuva ja se huomioi lainsäädännön, sekä erilaiset epävarmuustekijät. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että menetelmän kohdalla arvioidaan taso, jonka verran hiiltä sitoutuu ilman menetelmää ja tämä taso poistetaan menetelmän tuomasta lisähyödyistä. Perusuran määrittäminen on erityisen tärkeää metsiin ja maatalouteen kohdistuvissa menetelmissä niiden hyötyjä arvioidessa. Perusuran taso ja vaikutus arvioidaan kuitenkin jokaisen menetelmän kohdalla erikseen. Perusuran määrittämiseen on olemassa jo valmiiksi tehtyjä laskelmia, joita voi hyödyntää. (Valtioneuvosto 2023a, 18–34; ICVCM 2023, 18, 31–39.)

Pysyvyys ja hiilivuodon välttäminen

Kaikessa hiilensidonnassa on tärkeintä, että aikaansaadut tulokset olisivat mahdollisimman pysyviä. Hiilensidontan voidaan määritellä olevan pysyvää,

kun hiili on menetelmällä sitoutunut vähintään 100 vuodeksi. Jos hiiltä ei menetelmällä saada sidottua näin pitkäksi ajaksi on kartoitettava erilaiset riskit, joita toimintaan liittyy ja pyrittävä minimoimaan niitä, sekä löytämään keinoja, joilla hiilensidonnan vaikutusaikaa saataisiin pidennettyä. Riskienkartoituksen jälkeen onkin luotava suunnitelmat esimerkiksi erilaisten luonnontuhojen ja niiden vaikutusten varalle. Pysyvyyteen kohdistuvia riskejä on mahdollista myös hallita erilaisin puskurein eli esimerkiksi vapauttamalla vain osa menetelmällä saaduista yksiköistä myyntiin (osittain kreditointi). (Valtioneuvosto 2023a, 45–47; ICVCM 2023, 18, 34–35.)

Hiilivuodon välttäminen on asetettu kriteeriksi, jottei menetelmiä kehitetä jo olemassa olevia hiilivarantoja vaarantaen. Hiilensidontaan kehitetty menetelmä ei saisi siis aiheuttaa kasvihuonepäästöjen kasvua, eikä pienentää hiilinieluja toiminta-alueensa ulkopuolella. Hiilivuotoa mietittäessä on aina pyrittävä kartoittamaan menetelmän liittyvät mahdolliset hiilivuotoriskit, sekä eri tavat, joilla hiilivuotoa voi mahdollisesti tapahtua. Tämän jälkeen tehdään selvitys siitä, miten mahdolliset hiilivuodot huomioidaan menetelmään kohdistuvissa laskelmissa. Laskelmissa pyritään konservatiivisuuteen ja siihen, että menetelmän haittoja tai sen aiheuttamia mahdollisia hiilivuotoja ei vähätellä. (Valtioneuvosto 2023a, 48–49; ICVCM 2023, 17, 36–37.)

Vankka laskentamenetelmä, seuranta ja raportointi

Vankalla laskentamenetelmällä turvataan se, että menetelmällä saavutetut hiilenpoistot ovat realistisia ja mahdollisimman oikeita. Kaikkien päästövähennemien ja poistojen laskentaan on käytettävä tunnustettuja laskentamenetelmiä, jotka voivat olla esimerkiksi kansainvälisten sertifiointiohjelmien yhteydessä kehitettyjä menetelmiä. Hillintätoimen vaikutuksia arvioitaessa on laskennassa huomioitava kaikki mahdolliset päästöt mukaan lukien kuljetukset, polttoaineen valmistaminen jne. Uskottavan laskennan on pidettävä sisällään soveltamis- & kelpoisuuskriteerit laskentatoimelle, hillintätoimen rajojen määrittely, lisäisyyden & perusuran määrittäminen, päästövähennysten/ poistojen kvantifiointi ja seurantakäytännöt.

Laskentaan on käytettävä konservatiivisia lähestymistapoja, sekä laskennan on perustuttava tieteellisiin menetelmiin. Laskentatulosten onkin mukailtava todellisuutta, eikä niitä saa muokata itselleen suotuisammaksi esimerkiksi jättämällä päästölähteitä huomioimatta. (Valtioneuvosto 2023a, 35–42; ICVCM 2023, 18, 36–39.)

Yksiköiden seuranta on tärkeää, jotta tiedetään, toteutuuko menetelmä odotetun laisesti ja saadaanko siitä laskelmia vastaava määrä yksiköitä. Kaikkien hiilensidontaohjelmien on ylläpidettävä rekisteriä, jossa yksiköt kyetään yksilöimään ja niiden seuranta on yksiselitteisesti mahdollista. Rekisteristä on nähtävä se, milloin ja minne tuottajan yksiköitä on siirretty. Rekisterin avulla on kyettävä myös määrittämään, että yksi yksikkö vastaa yhtä sidottua hiilidioksidiekvivalenttitonnia. Kaikkien seurantatietojen tulee olla julkisesti saatavilla ja tarkasteltavissa. Hillintätulosten ja perusuran laskenta on kyettävä tarkistamaan riippumattoman todentajan toimesta. (Valtioneuvosto 2023a, 43–44; ICVCM 2023, 17, 28.)

Kaksoislaskennan ja merkittävän haitan välttäminen

Kaksoislaskennan välttäminen tarkoittaa sitä, ettei hillintätuloksia lasketa kahteen kertaan, esimerkiksi laskemalla liikkeelle kahdesti, hyväksi lukemalla kahdesti tai käyttämällä kahdesti. Tällä hetkellä haasteena on valtiollisen ja ei-valtiollisen toimijan välisen kaksoislaskennan riski. Tämän vuoksi Suomessa ja Euroopan Unionissa kaksoislaskennan välttämiseksi ei-valtiollinen toimija ei voi käyttää maankäytön sektorilla tuotettuja hiiliyksiköitä oman hiilijalanjälkensä pienentämiseen, vaan kaikki kompensatiot menevät kansallisen ilmastotavoitteen toteuttamiseen ja tueksi. Mahdollisesti rekisterien vakiintuessa on mahdollista taas lukea hyötyjä suoraan yrityksille, mutta toistaiseksi se ei ole mahdollista. (Valtioneuvosto 2023a, 54–56; ICVCM 2023, 18, 38–39.)

Merkittävän haitan välttämiseksi on tärkeää huomioida, että menetelmän kehityksessä ja käytössä pyritään minimoimaan/ välttämään negatiivisia taloudellisia, ympäristöllisiä ja sosiaalisia haittoja. Hillintätoimi ei saa vaarantaa

kestävää kehitystä, eikä hidastaa ilmastotavoitteisiin pääsemistä. Hillintätoimi ei saa myöskään vaarantaa luonnon monimuotoisuutta. Hillintätoimen sertifiointiohjelmalla onkin oltava selkeät ohjeet ja työkalut parhaiden todettujen käytäntöjen toteutumisen arvioimiseksi. Mahdollisuuksien mukaan paikallisyhteisöjä tulisi osallistaa menetelmän kehittämisvaiheessa ja heidän mielipiteensä tulisi pyrkiä huomioimaan. Hillintätoimea toteutettaessa olisi järjestettävä palautejärjestelmä, jonka kautta ihmiset voivat raportoida mahdollisia kehityskohteita tai huomaamiaan haittoja. Tämän lisäksi hillintätoimen toteuttajan on tuotettava kaikille saatavilla olevassa muodossa tieto siitä, mitkä ovat mahdollisia lieventäviä asianhaaroja sertifiointiohjelman kestävyys-suhteen. Tämä pitää sisällään ohjelman sosiaaliset ja ympäristölliset vaikutukset. Hillintätoimen osalta on myös tiedotettava se, kuinka SDG toteutuu sen osalta. (Valtioneuvosto 2023a, 57–60; ICVCM 2023, 19, 40–44.)

Aitous, riippumaton todentaminen ja sertifiointi

Yksikön aitous tarkoittaa sitä, että yksikkö edustaa todellista päästövähennystä tai hiilenpoistoa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että hiilenpoisto on toteutunut ennen kuin siitä saatava yksikkö lasketaan liikkeelle ja ostaja käyttää sen. Hillintätulos täytyykin varmentaa, jotta voidaan varmistua hiilenpoiston todella toteutuneen. Hillintätulosten tulee olla kolmannen osapuolen todentamia ja tällä varmistetaan minimikriteerien täyttyminen. Todentamisessa varmistetaan alustavan laskennan oikeellisuus hillintätoimidokumentin perusteella ja hillintätoimen toteutuneiden päästöjen laskennan todellisuus seurantaraportin perusteella. Todentaminen on tehtävä sertifiointiohjelman mukaan. Sertifiointiohjelman on hallinnoitava tai käytettävä rekisteriä yksiköiden yksilöimiseksi ja seuraamiseksi, jotta todentaminen on mahdollista tehdä turvallisesti ja yksiselitteisesti. Nämä sertifiointiohjelmat voivat myöntää sertifiointeja, jotka näyttävät todeksi sen, että hillintätoimet ja niistä saadut hillintätulokset ovat yksiselitteisiä ja kriteeristöt täyttäviä. Todentamisen yhtenä tavoitteena on varmistaa, että hiilenpoistot on otettu huomioon kansallisissa

kasvihuoneinventaarioissa. Ostajan velvollisuutena on huolehtia, että hänen ostamansa yksiköt ovat aitoja, toteutuneita ja todennettuja. Toistaiseksi ei ole olemassa selkeää rekisteriä, jolla ostaja voi tämän todentaa, mutta sellaisia on kehitteillä. (Valtioneuvosto 2023a, 50–53; ICVCM 2023, 17, 25–30.).

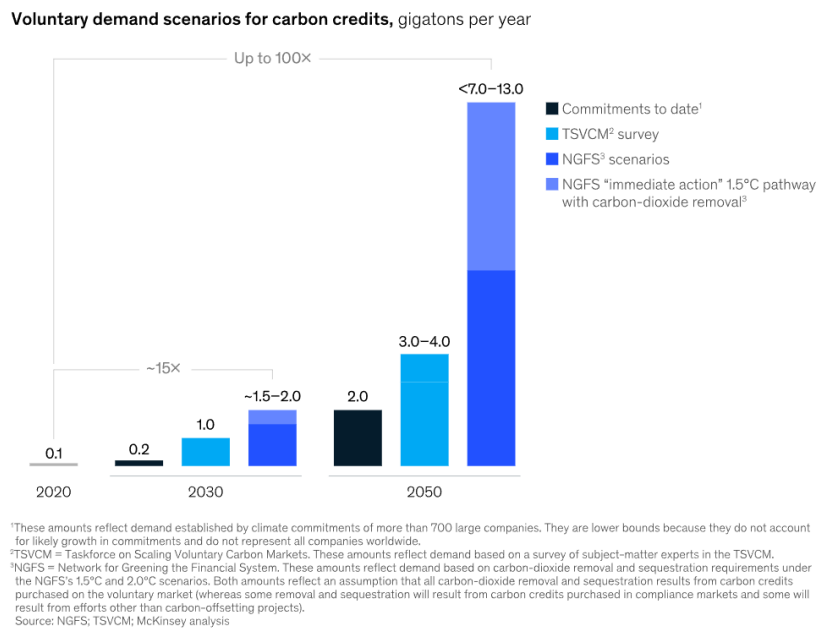
2.5 Vapaaehtoiset hiilimarkkinat ja markkinatilanne

Yleisesti ottaen voidaan ajatella, että hiilimarkkinat ovat syntyneet virallisesti jo 1997 osana Kioton sopimusta, vaikka Kioton sopimus astui voimaan vasta 2005. Sopimuksessa jäsenvaltiot sitoutuivat vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään. Lisäksi jäsenvaltioille annettiin mahdollisuus myydä ylimääräistä hiilensidontakapasiteettiaan toisille valtioille. Vapaaehtoiset hiilimarkkinat ovat kehittyneet valtioiden välisten markkinoiden rinnalle samoihin aikoihin. Vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden tavoitteena on tuottaa hiiliyksiköitä myyntiin, siten, että niiden avulla yritysten hiilijalanjälkeä saadaan pienennettyä ja tätä kautta kokonaiskasvihuonepäästöjen vaikutusta vähennettyä.

Vapaaehtoiset hiilimarkkinat ovat yksi keino Pariisin sopimuksen 1,5 asteen tavoitteen saavuttamiseen. Kuten nimestä voi päätellä, ei vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden toiminta perustu mihinkään paktoon, vaan se mahdollistaa jopa kunnianhimoisten ilmastotavoitteiden toteuttamisen yritystasolla. Yritykset voivat valita mitä ne ostamallaan yksiköillä tekevät - käytetäänkö ne yrityksen ilmastohaitan kumoamiseen vai osallistutaanko kansallisen ilmastotavoitteen toteuttamiseen. (Dabkara & Sengupta 2022; Pariisin sopimus 2015, 2:1; Luonnonvarakeskus 2023.) Toistaiseksi Suomessa ei ole mahdollista kumota yrityksen omia ilmastohaittoja maankäyttösektorin kautta tuotetuilla yksiköillä, vaan nämä ostetut yksiköt menevät valtion ilmastotavoitteen tueksi (Valtioneuvosto 2023a, 57). Tällä hetkellä vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden arvo on maailmanlaajuisesti n. 2 miljardia dollaria. Määrän odotetaan kasvavan 50–100 miljardiin dollariin vuoteen 2030 mennessä ja 250 miljardiin vuoteen 2050 mennessä. Taloudellinen kasvu tulee tulevaisuudessa olemaan alalla merkittävää edeltävien lukujen valossa. Tällä hetkellä suurin osa alan toimijoista tarjoaa yrityksille mahdollisuuksia alentaa omaa hiilijalanjälkeään erilaisten

hyvitysten avulla. Maailmanlaajuisesti tarve hiilensidonnain yksiköiden osalta tulee arvioiden mukaan kasvamaan merkittävästi vuoteen 2050 mennessä. Vuonna 2030 yksikkötarpeen on arvioitu olevan 1,5 GtCO₂ ja nousevan 7–13 GtCO₂ vuoteen 2050 mennessä. (Morgan Stanley 2023; Blaufelder ym. 2021.)

Kuvassa 1 on esitetty yritysten hiiliyksiköiden tarve ja ennuste tarpeen kasvusta:



Kuva 1. Hiiliyksiköiden arvioitu tarve perustuen 700 suuren yrityksen tarpeisiin (Blaufelder ym. 2021).

3 Turvemaata Suomessa

Turve on maanpäällisistä hiilivarastoista kaikkein tärkein. Lähes kolmannes maanpäällisistä hiilivarastoista maailmanlaajuisesti on turvemaata.

(Naukkarinen 2021.) Suomen maapinta-alasta kolmannes eli 9,3 miljoonaa hehtaaria on suota tai turvemaata. Tästä alasta noin puolet on metsitetty, 2,8 prosenttia on maatalouden käytössä ja 13,2 prosenttia on suojeltua alaa.

Turvetuotannossa Suomen turvemaista on 0,8 prosenttia. Eniten turvetuotannossa olevaa alaa on Pohjanmaalla. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2021, 16–18.) Turvemaiden kasvihuonepäästöt ovat vuositasona yhteensä noin 8,7 miljoonaa tonnia (Luke n.d). Turvetuotannossa päästöt nousevat vuositasona jopa 15 tonniin per hehtaari, sillä turpeeseen sitoutunut hiili vapautuu ilmaan muokkaustoimien aikana. Maataloudessa vastaavat päästöt ovat keskiarvallisesti 3,43 tonnia per hehtaari. 2010 -luvulla turvetuotantoalueiden ja turpeen polton päästöt ovat kattaneet 15% Suomen kokonaispäästöistä. Turvemaata vapautetaan jatkuvasti turvetuotannosta, sillä hallituksen linjausten mukaisesti turvetuotanto pyritään vähintään puolittamaan vuoteen 2030 mennessä ilmastotavoitteiden täyttämiseksi. Näiden turvetuotannosta vapautettujen maa-alojen käyttöön on ehdotettu erilaisia toimia, kuten tuulivoimapuistojen perustaminen alueelle, peltokäyttöön muuttaminen, kosteikoksi muuttaminen ja metsitys. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2021, 9, 32; Lång ym. 2022, 27–29; Luke 2023a, Matila & Alatalo 2023, 28–35.)

3.1 Hiiliviljely

Hiiliviljelyllä tarkoitetaan kaikkia sellaisia toimia, joiden avulla maanviljelystä aiheutuvia hiilipäästöjä saadaan vähennettyä. EU on jo pidempään tukenut maanviljelijöitä erilaisilla kannustimilla siirtymään kohti hiilineutraalimpaa viljelyä. EU on myös hyödyntänyt tulosperusteisia tukia, joissa vasta onnistuneita toimia vastaan maksetaan tukia hiiliviljelystä. Tämä kannustaa maanviljelijöitä huolehtimaan hiilensidonnasta pelloillaan ja sitoutumaan hiiliviljelyn menetelmiin. Maanviljelijöiden mahdollinen vastarinta uusia

hiiliviljelymenetelmiä kohtaan on tunnistettu. Yhtenä keinona vastarinnan ehkäisyyn on nimetty maanviljelijöiden osallistaminen uusien menetelmien kehittämiseen ja käyttöönottoon, jolloin mahdollista vastarintaa saadaan alennettua tai se saadaan poistettua. Lähtökohtaisesti maanviljelijät ovat kiinnostuneita uusista menetelmistä, jos ne ovat kustannustehokkaita ja tuottoisia. (COWI ym. 2021, 15–17, 37.)

Baltic Sea Action Group on kehittänyt Uudistavan viljelyn opiston tukemaan Suomessa viljelijöiden siirtymistä hiiliviljelyyn. Suomessa pellot ovat verrattain nuoria ja niiden oma hiilipitoisuus on korkea. Siksi onkin tärkeää säilöä pellossa jo oleva hiili sinne, sekä välttää jo pellossa olevan hiilen vapauttamista ilmakehään. Uudistavan viljelyn avulla jo olemassa oleva hiili säilyy maaperässä ja hiiltä saadaan parhaassa tapauksessa sidottua lisää maaperään. (Baltic Sea Action Group n.d.)

3.2 Hiilensidonta turvemaalla viljeltäessä

Maataloudessa turvepelloista aiheutuvat päästöt ovat vuosittain 6,3 miljoona tonnia, joka on noin puolet koko maatalouden päästöistä. Suomen peltopinta-alasta turvepeltoja on n. 11 %. (Hakala 2020.) Suomen kasvihuonepäästöistä noin 13,6 prosenttia syntyy turvemaiden viljelystä (BSAG n.d).

Turvemaan muutos viljelykäyttöön vapauttaa maata muokatessa ilmakehään sitoutunutta hiiltä ja onkin hyvä miettiä lohko kohtaisesti, kuinka suuria toimenpiteitä viljelykäyttöön muokkaaminen vaatisi. (Luhtala 2021.) Tällä hetkellä Ruokaviraston ehdollisuusoppaassa veloitetaan pitämään ympärivuotinen nurmi kaikilla turvemaata olevilla viljelykelposilla maa-aloilla ehtona maataloustukien saannille (Ruokavirasto 2023a). Tämä tarkoittaa sitä, ettei jo olemassa olevaa tuottamatonta turvepeltoa käytettäisi muihin viljelytarkoituksiin. Yhtenä hiilensidonnan toimenä on ehdotettu, että turvemaita muokattaisiin kosteikkoviljelyyn sopiviksi. Tällöin pellon vedenpintaa nostettaisiin korkeammalle ja se edesauttaisi hiilensidontaa. (Naukkarinen 2021, 4.) Turvemaiden muuttaminen kosteikkoviljelyyn on edelleen

Ruokaviraston ohjeistusten mukaan mahdollista. Turvemaan saa muuttaa kosteikoksi, mutta vaatimuksena on pohjaveden nostaminen sille tasolle, että se ehkäisee turpeen hajoamista. Kosteikoksi muuttamisen jälkeen alaa ei enää lueta maatalousmaaksi. (Ruokavirasto 2023b.)

Kosteikkoviljelyn hyödyt

Kosteikkoviljelyssä viljelykäyttöön otettu turvemaata pyritään saamaan lähemmäs luonnontilaista turvemaata pellon veden pintaa nostamalla. Tällä vettämisellä kyetään vähentämään turvemaan hiilidioksidipäästöjä kokonaisuudessaan. Maan riittävä märkyys edesauttaa turpeen palautumista ja luontaisten ekosysteemien eheytyä. Kosteikkoviljelyn kasveja valittaessa on tärkeää, että sadonkorjuuta tehdessä kasvin juuristoa ei tarvitse poistaa, sillä se vahingoittaisi turvemaata ja vapauttaisi turvemaahan jo kertynyttä hiilidioksidia uudelleen ilmaan. (Naukkari 2021, 4–5.)

Kuten aiemmassa kappaleessa mainittiin kosteikoksi muuttaminen poistaa maan maatalouskäytöstä. Tämä tarkoittaa sitä, että kosteikko ei ole maataloustukien alaista maa-alaa eli kosteikkoviljelyssä kasveista ei makseta maanviljelijöille viljelykorvauksia. Tämä aiheuttaa sen, ettei kosteikkoviljely ole houkutteleva vaihtoehto maanviljelijöille. (Ruokavirasto 2023a.)

Nurmittamisen hyödyt

Ruokavirasto on ehdollisuuden oppaassaan määrittänyt, että kaikki vuoden 2022 jälkeen viljelykäyttöön otetut turvemaat on säilytettävä pysyvästi nurmikasvustona ja tästä maksetaan tukia. Nurmikasvuston avulla pyritään siihen, että runsashiilistä maaperää saataisiin suojeltua ja maassa jo olevat hiilivarannot pysyisivät siellä, eivätkä muokatessa poistuisi. (Ruokavirasto 2023a.) Maanviljelijät tulevatkin varmasti muuttamaan turvepeltojaan nurmiksi, sillä tuet ohjaavat Suomessa maataloustoimintaa vahvasti. Maatalouden tuet tuottavat jopa kolmanneksen maataloustuottajien tuloista. Suomessa

maatalouden tuotantokustannukset ovat pääasiallisesti tuottoja suuremmat, jolloin ilman tukia tuotannon jatkuminen olisi uhattuna. (MMM n.d.)

Miksi nurmi sitten on valittu ehdollisuuden oppaaseen turvepelloille? Nurmi on yksi Suomessa eniten viljeltyjä kasveja. Vuoden 2023 ennusteen mukaan nurmi tulee kattamaan kokonaispeltopinta-alasta noin 770 000 hehtaaria eli noin 40 prosenttia. (Luke 2023b.) Nurmilla on kyky ylläpitää maan rakennetta, lisätä biologista aktiivisuutta sekä hillitä eroosiota. Nurmet tuovat alueelle usein myös lisää lajistollista monimuotoisuutta esimerkiksi pölyttäjien muodossa.

Hiilensidonnan kannalta juuri maan hyvä rakenne on tärkeää, sillä terveessä maaperässä kasvavat kasvit kasvavat suuremmiksi ja yhteyttävät enemmän. Terve maaperä myös pystyy sitomaan itseensä enemmän hiiltä heikkoon maaperään nähden. Nurmi kasvaa noin kolme vuotta tuottavasti, jonka jälkeen nurmi tulee uusiksi. Nurmen perustamiseen vaadittavat maanmuokkaukset pystytään kuitenkin pitämään kevyinä ja näissä tapahtuva hiilen vapautuminen on melko vähäistä. (MMM 2021, 148–150.)

4 Biohiili

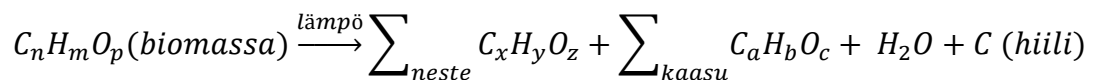
Biohiili on tuote, joka valmistetaan pyrolyysillä eli kuivatislauksella (Meers ym. 2020, 284–285). Biohiilen valmistus ja käyttö ovat lisääntyneet viime vuosina paljon, sillä biohiili on tuotteena hiilinegatiivinen eli se sitoo ilmakehästä hiilidioksidia enemmän, kuin sen tuottaminen aiheuttaa päästöjä. Biohiilellä on jo nyt olemassa monia käyttötarkoituksia muun muassa maanparannuksessa, mutta eri käyttötarkoitusten määrä tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Biohiilen eri käyttötarkoituksiin kohdistuu enenevässä määrin tutkimuksia, ja tiedon lisääntyessä myös käyttömahdollisuudet lisääntyvät. Biohiilen käytössä on toistaiseksi huomattu joitakin haasteita, mutta tutkimusten perusteella biohiilen käyttöön liittyy paljon mahdollisuuksia. (Gwenzi ym. 2020, 3, 37–40; Danesh ym. 2023.) Biohiileen perustuvia menetelmiä on jo olemassa hiilimarkkinoilla ja niistä saatuja yksiköitä on myynnissä (Puro.earth 2023a). Kuitenkaan kaikkea käytettävää biohiiltä ei hyödynnetä yksiköiden luomisessa, sillä niiden käyttöön ei ole olemassa menetelmiä tai standardeja. Paljon kiinnostusta kohdistuu erityisesti erilaisten tuotantojen sivuvirroista valmistettuun biohiileen, jolloin biohiili toimisi osana kiertotaloutta. Myös jätteiden hyödyntäminen biohiilen raaka-aineena koetaan mielenkiintoisena sovellutuksena. (Amalina ym. 2022, 1–10; Verra 2022.) Biohiilen myynti on tällä hetkellä tuottoisaa ja sen markkinat tulevat ennustuksien mukaan kasvamaan merkittävästi lähitulevaisuudessa. Nykyisellään biohiiliyksiköille on jo paljon kysyntää ja yksiköiden tuottajat lisääntyvät jatkuvasti. (Predence research 2023.)

4.1 Valmistus (pyrolyysi)

Pyrolyysi on prosessi, jossa biomassaa lämmitetään suljetussa ja hapettomassa järjestelmässä pääasiallisesti 250–900 asteen välillä. Prosessissa syntyy hiiltä, kaasua ja nesteitä. Näiden suhde vaihtelee valitun pyrolyysilämpötilan mukaan. Alle 300 asteessa tapahtuvaa pyrolyysiä kutsutaan torrefioinniksi ja yli 600 asteessa sitä kutsutaan kaasunnukseksi. (Meers ym. 2020, 284–285.) Pyrolyysejä on erilaisia tyyppejä; hidas pyrolyysi, nopea

pyrolyysi ja märkäpyrolyysi (HTC). Hitaassa pyrolyysissä lämpötilat ovat alhaiset ja pyrolyysi on ajallisesti muita pyrolyysityyppejä pidempi. Nopeassa pyrolyysissä lämpötilat ovat korkeita ja pyrolyysi tapahtuu nopeassa ajassa. Hitaassa, sekä nopeassa pyrolyysissä hyödynnetään kuivaa biomassaa. Märkäpyrolyysissä massa saa olla märkää ja se soveltuu esimerkiksi jätevesien pyrolyysiin. (Meers ym. 2020, 285.) Näiden lisäksi on olemassa erittäin nopea pyrolyysi (flash pyrolysis), jossa pyrolyysi tapahtuu pääasiallisesti noin 1000 asteessa (Sun ym. 2010, 3678–3684).

Pyrolyysiprosessi voidaan yleisellä tasolla kuvata kemiallisena reaktiona kaavan 1 mukaisesti. Eri tuotteiden osuudet riippuvat pyrolysoitavasta biomassasta ja sen määrästä, sekä pyrolyysiin valitusta lämpötilasta:



Kaava 1. Pyrolyysiprosessin kemiallinen reaktio (mukaillen Basu 2010, 150).

Pyrolyysiprosessi alkaa, kun saadaan biomassaa, joka halutaan pyrolysoida. Aluksi biomassa kuivataan. Tämän jälkeen se syötetään pyrolyysilaitteistoon. Pyrolyysin aikana biomassaa kuumennetaan halutulla lämpötilalla haluttu aika. Tällöin biomassa hajoaa nesteiksi, kaasuiksi ja kiinteäksi aineeksi (hiili). Prosessi voidaan tarvittaessa tehdä useaan kertaan peräkkäin niin, että saadaan haluttu lopputuote. Pyrolyysiprosessi kuvattuna kuvassa 2:

märkäpyrolyysiä, sillä tutkimus on tehty kuivamateriaalilla. Kuten taulukossakin on nähtävissä, suurin saanti tutkimuksen mukaan biohiillelle saadaan hitaassa pyrolyysissa. Täten sitä on hyvä käyttää, kun tarkoituksena on saada lopputuotteeksi mahdollisimman paljon biohiiltä. (Yaning ym. 2019, 195–196.)

Taulukko 1. Pyrolyysitavat ja vaikutukset biohiilen saantiin (mukailen Yaning ym. 2019).

Pyrolyysityyppi	Toimintaolosuhteet	Saannot
Hidas pyrolyysi	Lämpötila 300-700 °C Höyryn viipymäaika 10-100 min Lämmitysnopeus 0,1-1 °C/s Raaka-aineen koko 5-50 mm	Bioöljy ~ 30m % Biohiili ~ 35 m% Kaasut ~ 35 m%
Nopea pyrolyysi	Lämpötila 400-800 °C Höyryn viipymäaika 0,5-5 s Lämmitysnopeus 10-200 °C/s Raaka-aineen koko < 3 mm	Bioöljy ~ 50m % Biohiili ~ 20 m% Kaasut ~ 30 m%
Erittäin nopea pyrolyysi	Lämpötila 800-100 °C Höyryn viipymäaika < 0,5 s Lämmitysnopeus > 1000 °C/s Raaka-aineen koko < 0,2 mm	Bioöljy ~ 75m % Biohiili ~ 12 m% Kaasut ~ 13 m%

Pyrolyysissä käytettäväksi biomassaksi soveltuvat esimerkiksi puutuotannosta syntyvät jätteet, maatalouden jätteet tai muut biomassat. Käytännössä pyrolyysiä voidaan hyödyntää minkä vain orgaanisen massan käsittelyssä, mutta lopputuotteet ja niiden määrä vaihtelevat valitusta raaka-aineesta ja pyrolyysitavasta (kesto ja lämpötila) riippuen. (Basu 2010, 158–159.)

4.2 Käyttötarkoitukset

Biohiilellä on monia eri käyttötarkoituksia, mutta tällä hetkellä sitä käytetään pääasiassa kolmella eri osa-alueella: maanparannuksessa, vedenpuhdistuksessa, sekä ilmansuodatuksessa. Toistaiseksi biohiiltä käytetään eniten maanparannukseen ja sen osalta on eniten tutkimustietoa. Biohiili nähdään yhtenä merkittävänä keinona taistella ilmastonmuutosta vastaan ja sen käyttömäärien eri tarkoituksissa oletetaan kasvavan

merkittävästi lähivuosina. Maanparannukseen käytettävään biohiileen on olemassa myös standardoitu menetelmä, jota muihin biohiilen käyttötarkoituksiin ei ole vielä olemassa. (Verra 2022, Danesh ym. 2023.) Biohiili valmistetaan usein käyttötarkoituksen mukaan ja sen ominaisuuksiin, kuten huokosten kokoon ja määrään vaikutetaan valitun pyrolyysiprosessin ja -lämpötilan avulla. Biohiileen voidaan myös tarvittaessa imeyttää erilaisia aineita, jotka parantavat sen ominaisuuksia. Esimerkiksi maaperänparannukseen käytettävään biohiileen voidaan imeyttää lannoitusaineita, joita se vapauttaa tasaisesti kasveille. (Guo ym. 2022.)

Maanparannus

Biohiilen lisääminen maaperään lähtökohtaisesti parantaa maaperän laatua ja tuottavuutta. Biohiilen lisääminen maaperään myös edesauttaa pitkäaikaista hiilensidontaa, sillä biohiileen pyrolyysiprosessissa sitoutunut hiilidioksidi jää tällöin maaperään. (Meers ym. 2020, 284.) Biohiilen käytössä viljelyyn on kuitenkin havaittu myös haasteita. Biohiileen jää pyrolyysiprosessissa tietty määrä suoloja ja kivennäisaineita, jotka pitää puhdistaa ennen biohiilen laittamista maahan. Jos biohiileen jää liikaa suoloja tai orgaanisia aineita, saattavat esimerkiksi kasvien lehdet kellastua ja se heikentää kasvien yhteyttämistä. Tutkimuksissa on kuitenkin todettu, että biohiilen mahdolliset negatiiviset vaikutukset kohdistuvat lyhyelle ajalle maaperään laittamisen jälkeen ja pienenevät ajan saatossa. Biohiilellä on monia positiivisia ominaisuuksia, joiden myötä biohiilen käyttö viljelyssä ja maanparannuksessa on perusteltua. Biohiili imee itseensä vettä ja ylijäämävinteitä, joita se vapauttaa kuivana aikana kasvien käyttöön. Biohiili myös rikkoo maan rakennetta ja luo maaperään ilmataskuja kasvien juurille ja ehkäisee täten maan liiallista tiivistymistä. Biohiili vaikuttaa myös maan partikkelikokoon positiivisesti. Maan kasvukunnon on todettu paranevan biohiilen avulla ja satomäärät kasvavat tämän johdosta. (Ding ym. 2016; Mosa ym. 2023.) Maanparannukseen käytettävän biohiilen huokosten koot ovat pääasiallisesti 0,5–50 µm välillä alkumateriaalista riippuen (Lu & Zong 2018).

Vedenpuhdistus

Biohiiltä voidaan käyttää erilaisten myrkyllistenkin vesien puhdistukseen. Biohiili ei kuitenkaan pysty poistamaan kaikkea myrkkyä niin, että vedestä tulisi juomakelpoista. Sen sijaan biohiiltä voidaan käyttää suodattimena esimerkiksi jätevesien puhdistamiseen vesistöihin päätyvien myrkyjen vähentämiseksi. Lisäksi veden loppupuhdistus on biohiilisuodatuksen jälkeen helpompaa. Vedenpuhdistukseen käytettävän biohiilen kokoluokka on yleisimmin 1–5 mm välillä. Myös pienemmän tai suuremman koon biohiili toimii suodatuksessa, mutta vedenpuhdistukseen tehtävän biohiilen pyrolyysiprosessissa saatavan biohiilen koko useimmiten on 1–5 mm luokkaa. Tutkimuksissa on todettu, että suuren ligniinipitoisuuden omaavat pyrolyysin alkutuotteet, kuten puujäte, tuottavat biohiiltä, joka on ominaisuuksiltaan kaikkein lähimpänä aktiivihiihtä. (Bautista Quispe ym. 5–7,15.)

Ilmansuodatus

Viime aikoina on tutkimustiedon valossa saatu paljon todisteita siitä, että laboratoriotutkimusten perusteella biohiili toimii ilmansuodatuksessa. Kattavia käytännön tutkimuksia ei kuitenkaan ole vielä tehty mahdollisissa tulevaisuuden käyttöympäristöissä. Mahdollisia sovellutuksia biohiilen käytölle olisivat muun muassa kaasupäästöjen suodattaminen jätteenpolttolaitoksissa, erilaisten uunien ilmanpuhdistus tai ilmanpuhdistus maatalouden tuotantojärjestelmien, kuten navettojen, sisällä. Toistaiseksi riittävän laajan tutkimustiedon puuttuessa biohiilen käyttöön ilmansuodatuksessa liittyy tiettyjä rajoitteita ja käytännön haasteita. Tulevaisuuden visiona on, että biohiilellä voitaisiin poistaa ilmassa olevia liiallisia kasvihuonekaasuja ja tämän jälkeen biohiili voitaisiin varastoida osaksi maan hiilivarantoa tai pyrolysoida uudelleen käyttöön. On kuitenkin esitetty huolta siitä, saadaanko laajasti käytettynä biohiilen alkuraaka-aineiksi tarvittavia biomassoja eettisesti, sosiaalisesti ja ympäristöllisesti kestäväällä tavalla tarvittavaa määrää. Tutkimuksia asian suhteen kuitenkin tullaan

tekemään tulevaisuudessa ja biohiilen käyttömahdollisuudet kiinnostavat laajasti eri sektoreita. (Gwenzi ym. 2020, 3, 37–40.)

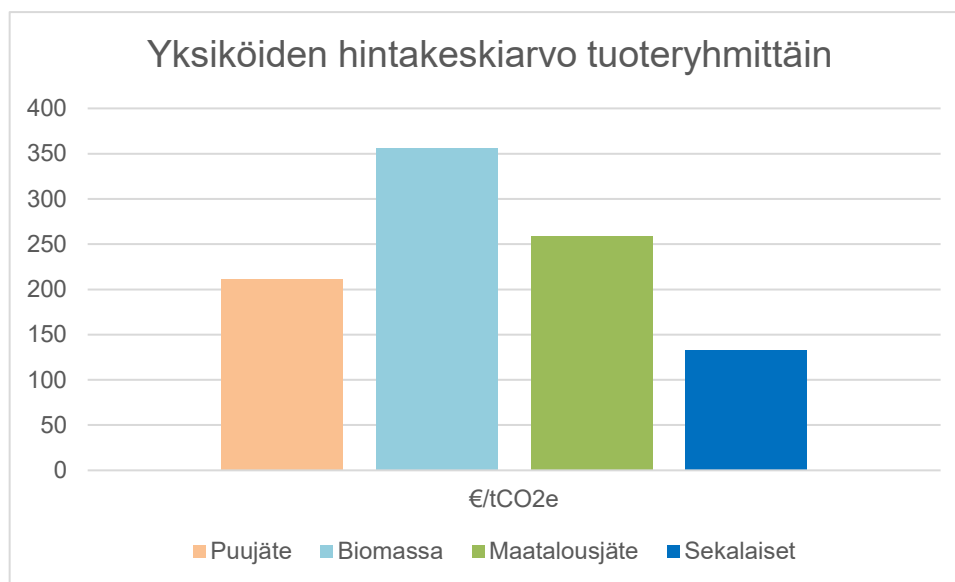
4.3 Markkinat

Markkinoilla on jo olemassa biohiilen käyttöön perustuvia menetelmiä ja yksiköitä. Puro.earth on lanseerannut vuonna 2019 oman menetelmän biohiileen perustuville yksiköille, jonka tavoitteena on saada hiiliyksiköiden kysyntä ja tarjonta kohtaamaan heidän markkinapaikassaan. Hiiliyksiköiden tarjoajia on markkinapaikalla tällä hetkellä yhteensä 38 kappaletta. Näistä 31 yritystä tarjoaa biohiiliyksiköitä. (Puro.earth 2023a.) Vuonna 2022 biohiilimarkkinoiden arvoksi määritettiin 220,27 miljoonaa dollaria globaalisti. Vuoteen 2032 mennessä markkinoiden arvon oletetaan kasvavan 633 miljoonaan dollariin. (Predence research 2023.)

Biohiilen markkinahinnat vaihtelevat biohiilen valmistukseen käytetyn alkujätteen mukaan. Puro.earth palvelussa myynnissä olevat biohiiliyksiköt olivat biojätteen alkuperän mukaan jaettavissa karkeasti neljään kategoriaan; biomassa, maatalouden jätteet, puujäte ja sekalaiset. Sekalaiset kategoria pitää sisällään esimerkiksi ylijäämää hiiliteollisuudesta ja ruokajätettä. Korkeinta hintaa Puro.earthissa maksetaan keskiarvallisesti ja mediaanitasolla erilaisista biomassoista tuotetusta biohiilestä (keskiarvo 356,25 €/tCO_{2e} ja mediaani 362,5 €/tCO_{2e}). Sen sijaan korkeinta yksittäistä hintaa (535 €/tCO_{2e}) on maksettu maatalouden jätteistä. Puujätteestä valmistetun biohiilen hinta Puro.earthin yksikkömyynnin mukaan sijoittuu 105–320 €/tCO_{2e} välille ja on täten muita edullisempaa. Kaikkein alhaisinta hintaa (140 €/tCO_{2e}) maksetaan sekalaisesta tuoteryhmästä valmistetusta biohiilestä. Puro.earthissa oli eniten tarjolla biohiiliyksiköitä, joissa alkuperäismateriaalina oli käytetty puujätettä. Tämä varmasti vaikuttaakin yksiköiden hintaan laskevasti. Puujätteestä valmistettuja yksiköistä oli saatavilla 27 hintatietoa, kun esimerkiksi biomassasta valmistetuista yksiköistä niitä oli saatavilla neljä. Tästä syystä hinnat eivät ole täysin vertailukelpoisia, mutta niiden avulla voidaan suuntaa antavasti arvioida

puujätteen hintaa alkuraaka-aineena suhteessa muihin biohiilen alkuraaka-aineisiin. (Puro.earth 2023b.)

Kuvasta 4 voi nähdä käytettyjen raaka-aineiden ja yksiköiden myyntihintojen suhteen hintojen keskiarvon perusteella.



Kuva 4. Eri tuotteiden hintakeskiarvo tuoteryhmittäin (mukailien Puro.earth 2023b).

Kuvassa 4 oleva tieto vastaa vain nykytilannetta opinnäytetyön kirjoitushetkellä, mutta biohiilimarkkinat tulevat suurella todennäköisyydellä tulevaisuudessa kasvamaan, jolloin biohiilen kysyntä kasvaa ja hinnat muuttuvat. Biohiilen valmistukseen käytettävät raaka-ainetyypit tulevat laajenemaan biohiilen käytön yleistyessä. (Basu 2010, 406–410.) Biohiilen käyttöä viherrakentamisessa on myös lisätty ja sen tarve osana vihreämpää kaupunkirakentamista on kasvamassa. Esimerkiksi Itä-Helsingissä on uuden pyöräbaanan rakennuksen yhteydessä otettu käyttöön biohiiltä ja sitä hyödynnetään Ruotsissa jo laajasti osana viherrakentamista. (Pelli 2023.)

5 Pajun viljely turvemaiden hiilensidonnan keinona

Opinnäytetyöhöni valitsin tarkempaan tarkasteluun hiilensidontamenetelmänä pajun viljelyn turvemaalla. Tavoitteena on selvittää pajun soveltumista viljelyyn turvemaalla ja sen aiheuttamaa muutosta hiilidioksidin määrään ilmakehässä. Tämän lisäksi tarkastelen tässä osa-alueessa pajun jatkokäyttömahdollisuuksia, kuten jalostamista biohiileksi. Pohjaan analyysiani aiemmin opinnäytetyössäni läpi käytyihin teemoihin. Tarkastelen pajun viljelyä erityisesti suhteessa hyvään menetelmään kohdistuvaan kriteeristöön. Pyrin myös huomioimaan maanviljelijälle koituvat taloudelliset haitat tai hyödyt mahdollisimman kattavasti.

Paju itsessään on monipuolinen viljelykasvi, jolla on monia jatkojalostus mahdollisuuksia. Pajun kuoressa on bioaktiivisia yhdisteitä, jonka vuoksi sitä voitaisiin hyödyntää lääketeollisuudessa raaka-aineena. Tämän lisäksi paju sopii hyvin bioenergian raaka-aineeksi ja siitä kyetään valmistamaan biohiiltä. Pajua on pohdittu myös turpeen korvikkeeksi energiantuotannossa. (Naukkarinen 2021, 9.)

Paju viihtyy hyvin kosteassakin kasvualustassa. Tämän vuoksi pajua voi kasvattaa kosteikoilla tai turvemaissa. Tutkimusten mukaan tietyt pajulajikkeet kasvavat Suomessa hyvin. Pajulajia valittaessa on otettava huomioon se, että se on sopeutunut kasvupaikan ilmasto-olosuhteisiin ja kestää tauteja, sekä tuholaisia. Pajulle on myös tärkeää sen kyky kestää korjuita ja tuottaa uutta kasvustoa nopeasti. Pajun viljelyssä on kuitenkin otettava huomioon sen verrattain suuri tarvi ravintoaineille, jonka vuoksi lannoitus on tärkeää. Hyvällä lannoituksella pajun kasvua kyetään lisäämään merkittävästi. Paju on myös herkkä rikkakasveille ja niiden torjunnasta onkin huolehdittava aina istutusvaiheesta korjuuseen saakka. Rikkakasvit yleensä menestyvät pajua kuivemmissä olosuhteissa, joten kostea maaperä/ turvema on pajun kasvatukselle eduksi. (Naukkarinen 2021, 9; Viherä-Aarnio ym. 2022, 16, 19.)

Pajun viljely on tällä hetkellä sellaisenaan kannattamatonta. Kosteikkoviljelystä ei makseta tukia ja muusta viljelystä saatavan pajun ostohinta on liian alhainen suhteessa viljelyn kuluihin. Energiapaju on itsessään maataloustukijärjestelmän

piirissä, mutta 2022 jälkeen viljelykäyttöön otetulla turvemaalla sen viljely ei ole maataloustukien alaista. (Viherä-Aarnio ym. 2022, 5; Ruokavirasto 2023a.)

5.1 Vaikutukset hiilitaseeseen ja hyvän käytännön periaatteet

Paju itsessään sitoo ilmasta hiilidioksidia yhteyttäessään. Paju kasvattaa laajan juuriston, jonka kautta hiilidioksidi varastoituu maaperään. Erityisesti pajun ohuet juuristot hajoavat nopeasti ja niihin sitoutunut hiili jää tällöin osaksi maan hiilivarantoa. Pajun viljelykierron aikana ohutta juuristoa hajoaa jatkuvasti, sillä ohuen juuren kasvu-aika on laskettu olevan noin 1 vuosi. Pajun juuristossa ja korjuun jälkeisessä maanpäällisessä massassa on sitoutuneena hiilidioksidia. Tämä hiilidioksidi pyritään sitouttamaan maaperään muokkaamalla kannot ja juuristo osaksi maaperää viljelykierron lopussa ennen uusien pajujen istuttamista. Myös maanpäälliseen pajun korjattavaan osaan on sitoutunut hiiltä. Tämän hiilen pysyvyys riippuu pajun jatkokäytöstä. Korjuussa hiiltä ei juurikaan vapaudu ilmakehään ja parhaan hiilensidontatuloksen saa, kun pajusta tehdään esimerkiksi biohiiltä. Jos paju poltetaan energianvalmistus tarkoituksessa siihen sitoutunut hiili vapautuisi ilmakehään ja tällöin pajun kokonaishiilensidonta pieneneisi merkittävästi. (Rytter 2012, 86–95; Viherä-Aarnio ym. 2022, 45.) Pajun on biohiileksi muutettaessa tutkittu pystyvän poistamaan hiilidioksidia ilmasta 1875 hiilidioksidiekvivalenttikiloa tuhatta biohiilikiloa kohden kun kaikki vaiheet tuotannossa on otettu huomioon (Leppäkoski ym. 2021, 9). Pajun viljelyn voidaan todeta olevan hiiliviljelyn periaatteiden mukaista, sillä pajun viljely sitoo itseensä hiiltä ja parantaa maaperän kuntoa. On myös huomioitava, että pajun avulla kyetään lisäämään biodiversiteettia viljelyalueella ja sitä voidaan käyttää viljelykaistojen reunoilla valumavesien puhdistukseen. (Sas ym. 2021, 1–4, 10.) Tämän lisäksi paju olisi hyödynnettävissä osana monimuotoisuuskaistoja, joilla saadaan peltoalueiden monimuotoisuutta kasvatettua ja lajien kirjoa lisättyä. Monimuotoisuuskaista perustetaan vähintään kahdelle tuotantoon hyödynnettävälle pellolle ja se on monivuotinen eli kyseistä kaistaa ei voi perustaa vain vuodeksi. (Ruokavirasto 2023c.)

Pajun viljely turvemaalla on hyvän käytännön periaatteiden mukaista. Pajun viljely on sääntelyllisesti, sekä taloudellisesti lisäistä, sillä itsessään pajun viljelyyn ei ole olemassa velvoitteita, eikä pajun viljely ole taloudellisesti kannattavinta ja siitä tulee kannattavaa vasta hiiliyksiköistä saatavien tulojen avulla. Pajun viljelylle kyetään myös määrittämään perusura, jonka perusteella voidaan arvioida pajun viljelyn ilmastovaikutuksia. Vankkaa laskentamenetelmää ei ole juuri pajulle olemassa, mutta soveltuvia menetelmiä on olemassa, kun paju jatkojalostetaan biohiileksi. Pajusta tehty biohiili täyttää pysyvyydelle asetetut rajoitteet, sillä biohiilen voidaan ajatella olevan pysyvä keino hiilensidontaan. Hillintätoimeja kyetään seuraamaan ja yksiköiden tuottajan on huolehdittava riittävästä raportoinnista. Hiilivuoto kyetään välttämään, kun käytetään alueita, jotka eivät kilpaile ruuantuotannon kanssa. (Valtioneuvosto 2023a, 18–34, 45–49.) Turvema soveltuu tähän, sillä vaikka siihen suositellaan istutettavaksi nurmea maatalouskäytössä ei ruuantuotanto vaarannu. Nurmi yleensä jatkoxyödynnetään lihatuotannon rehuihin, mutta lihatuotanto ei merkittävästi kärsisi, jos osa turvemaasta otetaan pajun kasvatukseen. Nurmen kasvatus on osa normaalia vuoroviljelyä ja sitä kasvatetaan lihantuotannon tarpeisiin riittävästi. Nurmi myös menestyy sellaisilla pelloilla, joilla ruokakasvien viljely olisi mahdotonta eli sitä voidaan kasvattaa hyvin laajalla pinta-alalla Suomessa eli jopa mailla, jossa pajua ei olisi kannattavaa viljellä. (Nousiainen 2022.) Kun paju muutetaan biohiileksi on kaksoislaskentaa vältettävä hiiliyksiköiden myynnissä. Tällä hetkellä kaksoislaskennan riskiä ei ole, sillä biohiiltä maanparannusaineena ei lasketa osaksi kansallista kasvihuonekaasuinventaariota. (Valtioneuvosto 2023a, 54–60; Ympäristöministeriö 2023.) Merkittävää haittaa on myös pyrittävä välttämään. Pajun viljely viljelijän mailla ei kuitenkaan lähtökohtaisesti aiheuta haittaa esimerkiksi paikallisyhteisöille tai taloudellisesti alueelle. Pajusta muutetun biohiilen aitous pystytään takaamaan siten, ettei yksiköitä luoda ennen, kuin paju on muutettu biohiileksi ja lisätty esimerkiksi maaperään. Todentaminen tulee tapahtua kolmannen osapuolen toimesta ja yksiköt olisi kyettävä sertifoimaan sertifiointiohjelman kautta. Nämä ovat kuitenkin yksiköiden tuottajan vastuulla. (Valtioneuvosto 2023a, 50–60.)

5.2 Viljelystä syntyvät kustannukset viljelijälle

Pajun viljelystä syntyy maanviljelijälle erinäisiä kustannuksia. Itsessään pajun viljelyyn soveltuvat pitkälti jo viljelijän olemassaolevat laitteet eli suurta alkuinvestointia ei tule (Leppäkoski ym. 2021). Viljelijöille maksetaan maataloustukia kasvilajikohtaisesti ja erilaisia ehtoja noudattaen. Tukien määrään vaikuttaa paljon se, mitä ja miten viljellään, sekä missä päin Suomea viljeltävä maa-ala sijaitsee. Suomi on jaettu tukien puitteissa kahteen alueeseen (AB ja C). AB- tukialue kattaa Etelä-Suomen eli Varsinais-Suomen ja Uudenmaan. C-alue kattaa loput alueet. (Ruokavirasto 2023a.) Hyvän menetelmän periaatteiden mukaisesti pajua ei voida viljellä maa-alalla, joka on ruuantuotannossa eli vertailuun on valittu turvepelto, jota ei ole hyödynnetty ruuantuotannossa. Tällä hetkellä turvemaalle on tukien puitteissa suosituksena istuttaa pysyvä nurmi ja ylläpitää sitä, joten käytän tätä esimerkkinä tuottojen eroavuuden ja taloudellisen kannattavuuden määrittämiseksi (Ruokavirasto 2023a).

Taulukko 2. Nurmen ja pajun maataloustuet vuonna 2023 (mukaan Ruokavirasto 2023d).

Saatavat tuet per hehtaari AB-alueella (€/ha)						
	Luonnonhaittakorvaus	Ympäristökorvaus	Perustulotuki	Ekojärj.tuki	Uudelleenjako	YHT: **
Pajun viljely*	0	0	138,56	0	0	138,56
Nurmi turvepelto	217	100	138,56	50	17,68	523,24

* Pajun viljely toteutetaan osana muuta maataloustoimintaa

** Pysyvästä nurmesta turvemaalla maksetaan 5 vuoden jälkeen 610 €/ha.

Taulukosta 2 on huomattavissa, että nurmella saatavat tuet ovat huomattavasti pajun viljelyä suuremmat. Jos pajua ei viljellä osana maataloustoimintaa, on siitä saatavat tuet 0 €, sillä tällöin pajun kasvatus ei ole maataloustukien alaista toimintaa. Tämä ei vaikuta muiden peltomaiden tukiin, kunhan

ehdollisuusoppaassa mainitut peltoalueiden vähimmäispinta-alat täyttyvät. Kuten jo aiemmin mainittu, pajua voidaan viljellä kosteikoilla tai esimerkiksi kosteikoksi muutetuilla turvemailla. Toistaiseksi ei ole olemassa tukia, joita maksettaisiin kosteikkoviljelystä. (Ruokavirasto 2023a.) Opinnäytetyössäni oletuksena on, että pajua viljellään osana muuta toimintaa, sillä tarkoituksena on tutkia, kannattaisiko maanviljelijöiden muuttaa osa viljelmistään pajuksi, jolloin pajun ilmastovaikutuksia saataisiin kasvatettua. Taulukosta 3 on nähtävissä laskelman lopputulos, jonka mukaan pajun viljelystä saataisiin yhtä kannattavaa, kuin nurmen viljelystä. Kokonaislaskelmat vaiheittain löytyvät alla olevista kappaleista.

Taulukko 3. Pajun ja nurmen hehtaari tuotot vuoden osalta (Luke 2023c; Puro.earth 2023b; Ruokavirasto 2023d).

	Nurmi (€/ha)	Paju (€/ha)
Tuet	523,24	138,56
Korjuusta saadut tuotot	0	331,25
Hiiliyksiköiden myynnistä saadut tuotot	0	53,43
Yht.	523,24	523,24

Pajusta maksetaan korjattuna viljelijälle 26,5€/ m³. Pajun voidaan ajatella tuottavan kuiva-ainesta n. 16 m³ per vuosi. Toisaalta joissakin tutkimuksissa pajun keskimääräiseksi kuiva-ainetuotoksi on arvioitu vuosittain 6,8 m³/ha, joka on huomattavasti 16 m³ alhaisempi tuotos. On kuitenkin arvioitu, että pajun tuotot hehtaarilla olisivat 4 vuodessa n. 50 m³ luokkaa eli 4 vuoden välein tuottoa syntyisi 1325 €/ha, joka olisi vuositasolla 331,25 €/ha. (Viherä-Aarnio ym. 2022, 22-23; Luke 2023c.)

Lasku pajun hehtaari tuotoista vuositasolla,

$$50 \text{ m}^3 \times 26,5 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 1325 \text{ €}$$

$$\frac{1325 \text{ €}}{4} = 331,25 \text{ €}$$

Kun tämä summa lisätään pajun saamiin tukiin (138,56 €/ ha) saadaan pajun vuosituotoksi tukien kanssa hehtaarilla 469,81 €.

Lasku pajun vuosituotosta hehtaarilla (myynti + tuet),

$$331,25 \text{ €} + 138,56 \text{ €} = 469,81 \text{ €}$$

Nurmella vastaava summa on 523,24 €/ha/vuosi. Näin voidaankin todeta, että pajusta saatava tuotto tukineen on 53,43 € pienempi, kuin nurmesta saatavat tuet ilman huomioituja tuottoja.

Lasku nurmen ja pajun tuottojen erosta,

$$523,24 \text{ €} - 469,81 \text{ €} = 53,43 \text{ €}$$

Kuten on nähtävissä, niin pajun viljely sellaisenaan ei ole yhtä kannattavaa taloudellisesti kuin nurmen viljely turvemaalla. Paalatusta nurmesta myös maksetaan, mutta yleensä nurmi tuotetaan oman tilan eläinten rehuksi, jolloin myynnistä ei tule tuottoja vaan tilan hankintarehukustannukset pienenevät. Tämä lisää nurmen kannattavuutta suhteessa pajuun entisestään taloudellisilta osin. Nurmen tuet myös maksetaan vuosittain ja niihin ei liity satovaatimuksia. Pajusta saatava tuotto taas vaihtelee paljon sen mukaan, kuinka hyvä sato saadaan aikaiseksi. Pajusta ainoa säännöllinen vuositulo syntyy maataloustuesta. Nurmen tuet kasvavat viiden vuoden viljelyn jälkeen 610 €, jolloin pajun viljely on suhteessa entistä kannattamattomampaa. (Leppäkoski ym. 2021; Luke 2023c; Ruokavirasto 2023c.)

Vertailussa ei ole otettu huomioon nurmen tai pajuviljelmän perustamisesta ja ylläpidosta syntyviä kustannuksia opinnäytetyön laajuuden ja tietojen heikon saatavuuden vuoksi. Niiden on kuitenkin oletettu olevan opinnäytetyössä melko samalla tasolla. Nurmi on mahdollista niittää tällä hetkellä useammin kasvun niin vaatiessa, joka aiheuttaa kustannuksia, mutta nämä kustannukset tulevat katetuiksi niitettävällä nurmella. Vuoden 2025 jälkeen turvemaalle istutetun nurmen saa niittää vain neljän vuoden välein, jolloin niitettävästä nurmesta saadut tulot tulevat samalla syklillä, kuin pajun korjuusta saatavat tuotot. Nurmea voidaan käyttää myös laidunnuksessa kesäkaudella. (Ruokavirasto

2023c.) Pajua ja nurmea molempia lannoitetaan kasvun aikana, mutta näiden kustannusten voidaan olettaa olevan lähes yhtäläiset. On kuitenkin otettava huomioon, että edellä mainittujen tietojen puuttuessa tulos on lähinnä suuntaa antava.

Paju on tarkoitus jatkojalostaa esimerkiksi biohiileksi. Maanviljelijä ei kuitenkaan välttämättä hyödy myymänsä pajun muuttamisesta biohiileksi ja siitä saatavista hiiliyksikön myynneistä rahallisesti. Tämä riippuu siitä, kuka yksiköitä myy ja millaisen sopimuksen hän tekee viljelijän kanssa. Lisäksi on huomioitava, ettei viljelijä itse tee pyrolyysia pajulle. Hiiliyksiköiden tuottajan on siis tuottoja laskiessaan otettava huomioon pyrolyysiprosessin ja pajun ostohinnan lisäksi mahdollisesti viljelystä maksettavat palkkiot. Viljelijälle maksettavan palkkion tulisi olla vähintään 53,43 €/ha, jotta päästäisiin samalle tasolle nurmen viljelyn kanssa. Kuten aiemmin todettu, sijoittuu puujätteestä valmistetun biohiilen yksiköiden myyntihinta 105–320 €/tCO_{2e} välille. Näin ollen tuottajalla olisi mahdollisuus maksaa viljelijälle hiilensidonnasta hehtaarisella riittävä summa, jotta pajun kasvattamisesta tulisi kannattavaa. Hehtaari pajua sitoo hiiltä biohiileksi muunnettuna 1875 tCO_{2e}, joten hehtaarilta saatu yksiköiden myyntitulo olisi 197-600€ välillä.

Lasku hehtaarilta saatujen hiiliyksiköiden myyntituloista,

$$1,875 \text{ tCO}_2e \times 105 - 320 \frac{\text{€}}{\text{tCO}_2e} = 197 - 600 \text{ €}$$

Vaikka tuottaja maksaisi viljelijälle vaaditun 53,43 €, jäisi käyttöön vielä vähintään 143,57 € muihin kustannuksiin ja voittoihin, jos oletetaan, että biohiiliyksiköistä maksetaan halvinta mahdollista hintaa. Sen sijaan, jos yksiköistä maksetaan korkeinta hintaa 600 € jää käyttöön 546,57 €. Tässä tapauksessa myös viljelijälle voitaisiin mahdollisuuksien mukaan maksaa enemmän. Yhden tutkimuksen mukaan pyrolyysin osuun tuotetusta biohiilen hinnasta on noin 33% eli kolmasosa. Voidaankin ajatella, että halvimmalla mahdollisella yksikköhinnalla yksiköiden tuottajalla menisi n. kolmasosa

myynnistä saaduista tuloista viljelijälle ja noin kolmasosa biohiilen tuottajalle. (Torres-Morales ym. 2023, 12.) Kyseessä on kuitenkin vain yksi tutkimus, jossa on tutkittu maatalousjätteestä tuotetun biohiilen hintarakennetta Kolumbiassa, eikä se anna tarpeeksi luotettavaa perustaa johtopäätökselle, mutta toimii suuntaa antavana esimerkkinä kustannusrakenteesta. Kyseessä ei ole myöskään puusta valmistettavan biohiilen pyrolyysin hinta. Halutessaan biohiilen tai yksiköiden valmistaja voivatkin jakaa kustannuksia viljelijälle pajusta maksettavasta hinnasta. Toki voi olla, että yksiköiden valmistaja maksaa suoraan biohiilen valmistajalle valmiista biohiilestä ja kustannukset biohiileen vaadittavan raaka-aineen (pajun) hankinnasta jäävät biohiilen valmistajalle.

Lasku summasta, joka jää hiiliyksiköiden tuottajalle viljelijälle maksamisen jälkeen alhaisin ja korkein hinta huomioiden,

$$197\text{€} - 53,43\text{€} = 143,57\text{€}$$

$$600\text{€} - 53,43\text{€} = 546,57\text{€}$$

Tukien säännöllisyys on seikka, joka saattaa painaa maanviljelijän vaakakupissa viljeltävää kasvia valittaessa. Pajulla olisi kuitenkin mahdollista päästä samoihin tuottoihin nurmen kanssa ideaalitulanteessa, mutta tuotto syntyisi korjuu vaiheessa neljän vuoden välein. Pajun tuottoihin viljelijälle vaikuttaa kuitenkin hyvin oleellisesti se hinta, jota pajusta maksetaan. $26,5\text{€/m}^3$ on vuoden 2022 keskiarvo energiapuun hinnasta, joten eri vuosien aikana tuotot muuttuvat ja lopullinen myyntihinta on tiedossa vasta korjuuvuotena. Jos korjuuvuodelle sattuu osumaan alhainen hinta puulle, jää tuotto pienemmäksi. Sen sijaan korkealla puun hinnalla ostajan on mietittävä omia kustannuksiaan ja pohdittava, onko pajun ostaminen kannattavaa. Viljelijällä on kuitenkin mahdollisuus istuttaa kasveja eri aikoihin, jolloin satoa olisi saatavilla joka vuosi. Hehtaarin alueella tehtävänä se ei ole kannattavaa, mutta jos on olemassa useampia muutettavia maa-aloja, saa tuotoista tätä kautta vakaampia. Myös hiiliyksiköistä saatava hinta vaikuttaa viljelijän kanssa tehtävään sopimukseen ja siihen, paljonko tuottoa viljelijä saa pajun viljelystä.

5.3 Viljelyn pajun jatkokäyttömahdollisuudet

Pajun nykyisistä kasvatusmääristä ja kasvatuspinta-aloista ei ole tarkkaa tilastotietoa. Luken arvion mukaan pajua viljeltiin vuonna 2022 70 hehtaaria. Satomääränä tämä olisi keskimääräisesti n. 840 tonnia. Tämä paju on pääasiassa mennyt energiantuotantoon. Pajulle on kuitenkin ehdotettu monia käyttötarkoituksia energiantuotannon ohella aina lääketuotannosta biohiileen. (Viherä-Aarnio ym. 2022, 5, 16.) Paju soveltuu biohiilen valmistukseen hyvin sen huokoisan rakenteen vuoksi. Paju ei myöskään vaadi juurikaan esikäsitteilyä kuivaamisen lisäksi ennen pyrolyysiprosessiin syöttämistä. Esimerkiksi sianlantaa joutuu käsittelemään huomattavasti pajua enemmän ennen pyrolyysia. (Rajabi Hamedani ym. 2019, 3–6; Viherä-Aarnio ym. 2022, 56.) Pajusta tehtävälle biohiilelle paras jatkokäyttö olisi maanparannus, sillä se sitoo hiiltä ilmakehästä varmimmin. Biohiilen käyttäminen maanparannusaineena on biohiilen käyttömahdollisuuksista tutkitusti hiilensidontan kannalta pitkäkestoisin. Yhtenä vaihtoehtona olisi esimerkiksi käyttää pajusta tehtyä biohiiltä maanparannusaineena pajupellossa pellon perustamisen ja/tai uusimisen yhteydessä. Paju kasvaa pelloilla pitkään (n. 19–25 vuotta), joten mahdolliset biohiilen haittavaikutukset kumoutuvat nopeasti ja tämän jälkeen paju pystyy hyödyntämään biohiilessä olevia ravinteita ja siihen kertynyttä vettä. Koska paju tarvitsee kasvatuksen alkuvaiheessa paljon lannoitteita, voisi maahan laitettavan biohiilen ladata tarvittavilla lannoiteaineilla jolloin ylilannoitukseen ei ole niin suuri riski, kun paju pystyy ottamaan vain tarvitsevansa määrän lannoitetta ja hyödyntämään niitä optimaalisesti kasvunsa tukena. (Abujabhah ym. 2016, 1–3, 8.)

Yleisesti ottaen biohiilen jatkokäyttö maanparannukseen on suositeltavaa, vaikkei se menisi suoraan pajuviljelmiin. Monilla huonoillakin maa-aloilla ja hukkamailla maiden kasvukuntoa kyetään parantamaan biohiilen avulla. Tämä lisää välillisesti hiilensidontaa, kun maaperässä olevat kasvit alkavat kasvaa suuremmiksi ja yhteyttävät paremmin. Hyvässä maaperässä myös kasvien monimuotoisuus yleensä lisääntyy ja sitä kautta saadaan alueelle enemmän pölyttäjiä tai muita hyönteisiä. Tämä taas lisää luonnon monimuotoisuutta, joka

on mainittu tärkeänä osa-alueena muun muassa Suomen hallitusohjelmassa. Biohiiltä on myös ruvettu hyödyntämään kaupunkialueilla maanparannuksessa ja kasvien kasvukunnon turvaamisessa. Itä-Helsingin pyöräbaanan yhteydessä biohiiltä on lisätty uusien istutettujen puiden juurelle turvaamaan puiden ravinteiden ja veden saantia, jotteivat ne kuolisi äärisääolosuhteiden vuoksi. (Kalu 2022, 13–18; Pelli 2023; Valtioneuvosto 2023b, 133–156.)

6 Johtopäätökset

Pajun voidaan katsoa soveltuvan biohiilen valmistukseen, sillä sen huokoinen rakenne saa aikaan hyvälaatuista biohiiltä, joka on hyödynnettävissä maanparannukseen. Paju myös kasvaa nopeasti ja siitä on saatavissa paljon lähtömateriaalia biohiilelle korjuuvuosina. Paju ei myöskään tarvitse paljoa esikäsitteilyä ja sen osalta se on helpompaa muuttaa biohiileksi esimerkiksi sianlantaan verrattuna. Pajun muuttaminen biohiileksi ja kyseisen biohiilen käyttäminen maanparannukseen sitoo hiiltä 1875 tCO₂e hehtaarilta.

Pajun viljelylle ei ole esteitä maatalouskäytössä olevilla turvemailla. Alkuun pajun viljely turvemailla ei näytä kovinkaan houkuttelevalta vaihtoehdolta viljelijöille, sillä tukipolitiikan avulla kannustetaan nurmen istuttamiseen. Pajun tuotot myös toteutuvat korjuuvuosien mukaan, ellei ole olemassa eri aikaan istutettuja pajuja, joissa korjuu tapahtuu eri vuosina. Pajulla voidaan kuitenkin parhaassa tilanteessa päästä samoihin tuottoihin, kuin nurmen viljelyssä. Viljelijän on kuitenkin mietittävä, onko kannattavampaa tilan kannalta kasvattaa nurmea tai pajuja. Tämä on merkittävää erityisesti silloin, jos tilalla on karjatuotantoa, jonka rehuksi nurmi menisi. Tällöin pajun viljeleminen mailla, jotka olisivat nurmella ei ole enää yhtä kannattavaa, sillä rehunhankintakustannukset tulevat nousemaan. Lähtökohtaisesti pajun viljely sellaisilla turvema-aloilla, jotka eivät aiheuta taloudellisia menetyksiä on viljelijälle kannattavaa ja hyvä vaihtoehto nurmelle.

Voidaankin todeta, että pajun viljely nurmen sijasta on kiinnostava ja mahdollisesti kannattava vaihtoehto viljelijän kannalta. Viljelijä ei menetä rahaa pajun viljelystä suhteessa nurmen viljelyyn. Toisaalta pajun viljelyyn liittyy monia muuttujia ja epävarmuustekijöitä, jotka alentavat pajun viljelyn mielekkyyttä viljelijän näkökulmasta. Suurin vaikutus pajun viljelyn kannattavuuteen on pajusta korjuun jälkeen maksettavan ja hiilensidontayksiköiden myynnistä saatavien tulojen määrä. Mitä pienemmäksi nämä tulot jäävät, sitä kannattamattomampaa pajun viljely on suhteessa nurmen viljelyyn.

Opinnäytetyöstä saatujen tietojen perusteella on mahdotonta täysin varmaksi sanoa, että pajun viljely on viljelijälle kannattavaa toimintaa. Pajun viljelyä olisi kuitenkin syytä harkita osana maataloustoimintaa esimerkiksi suojakaistoilla, jolloin ne samalla suojaisivat alueen vesistöjä. Tämän lisäksi pajua voisi mahdollisesti hyödyntää monimuotoisuuskaistoissa, joissa peltojen monimuotoisuutta lisätään istuttamalla esimerkiksi kukka- tai pajukaistoja. Nämä olisivat viljelijän kannalta rahallisesti turvallisempia vaihtoehtoja, eivätkä uhkaisi ruuantuotantoa millään tavalla. Toisaalta monimuotoisuuskaistat ovat osa tukiohjelmaa ja eivät sen vuoksi täyttäisi sääntelyllisen lisäisyyden ehtoja. Suojakaistalla paju on maataloustukien saamisen edellytysten vastainen ratkaisu ja tällöin sääntelyllisen lisäisyyden ehdot ovat täytettävissä.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli saavuttaa arvio euromäärästä, jonka viljelijä saavuttaa/ menettää pajun viljelyssä suhteessa maataloustukien määrittämään turvemaiden viljelyyn eli nurmittamiseen. Opinnäytetyötä aloitettaessa tällaista summaa ei ole ollut saatavilla, eikä asian tiimoilta ollut tutkimustietoa saatavilla. Sen sijaan tutkimuksia on tehty laajalti pajun ja biohiilen hyödyistä ilmastonmuutoksen hillitsijöinä. Pajun pyrolyysistä biohiileksi on myös löydettävissä tutkimustietoa. Tämän vuoksi paju hiilensidonnan keinona turvemaalla oli selkeä valinta opinnäytetyön tutkimukseen. Opinnäytetyössä päästiin tavoitteeseen ja arvio on, että parhaassa tapauksessa rahallista menetystä ei viljelijälle tule. Tähän kuitenkin vaikuttaa moni viljelijästä riippumaton seikka, joten välttämättä viljelijälle pajun viljely ei ole nurmea houkuttelevampi vaihtoehto.

Turvemaiden tulevaisuuden käyttötarkoituksia tutkitaan paljon, eikä tietty ratkaisu ole noussut ylivoimaisesti parhaaksi, joten turvetuotannosta poistuvien turvemaiden käyttöön annetaan monia vaihtoehtoja. Yleisesti pajuun, kosteikkoviljelyyn ja biohiileen kohdistuu paljon kiinnostusta alalla ja tutkimuksia tehdään jatkuvasti. Opinnäytetyöni tarjoaa yhden näkökulman lisää jo olemassa olevaan tutkimustietoon. Viljelijöiden näkökulmaa erilaisten ratkaisujen pohdinnassa ei ole laajemmin selvitetty, eikä taloudellista näkökulmaa ole heidän kannaltaan tutkittu, sillä toistaiseksi tutkimukset painottuvat enemmän hiilensidontaan. Uskon, että tulevaisuudessa myös viljelijöitä ja menetelmien toteuttajien näkökulmia tullaan tutkimaan lisää.

Opinnäytetyön teossa rajoitteeksi nousi tutkimustiedon puuttuminen pajun ja nurmen viljelyn taloudellisista kustannuksista viljelijälle. Tutkimustietoa ei ollut saatavilla yksittäisten vaiheiden kustannuksista ja tämä heikentää opinnäytetyön tulosta. Tuloksia olisi ollut saatavilla yksittäisiltä toimijoilta, mutta nämä eivät kuvaa riittävällä tavalla kokonaistilannetta ja ovat vain yksittäisotantoja tietyiltä alueilta, eivätkä näin soveltuvia tutkimukseen. Kustannusten osalta olisikin tehtävä lisätutkimuksia, jotta saataisiin tarkempaa

tietoa kustannusten jakautumisesta alueellisesti ja siitä, onko pajun viljely turvemaalla kannattavampaa tietyissä osissa Suomea. Asian tiimoilta olisi myös hyvä tehdä koeviljelykset nurmen ja pajun vertailemiseksi, jotta saataisiin ajantasaista tutkimusta. Toinen seikka, joka heikentää lopputuloksen luotettavuutta on se, ettei ole tiedossa millainen tuottorakenne mahdollisella hiiliyksiköiden myynnillä on ja näin ei ole mahdollista antaa konkreettista summaa korvauksesta viljelijätasolla. Opinnäytetyön perusteella arvio tarvittavasta summasta on kuitenkin tehtynä ja hiiliyksiköiden tuottamista suunnitteleva taho voi arvioida olisiko kyseistä summaa mahdollista viljelijälle maksaa.

Tulevaisuudessa ennustusten mukaan biohiilen tarve tulee kasvamaan ja sen tuottamiseen tullaan tarvitsemaan enevissä määrin raaka-aineita. On mahdotonta ennustaa paljonko esimerkiksi pajuun kohdistuu kiinnostusta tulevaisuudessa ja nostaako tämä pajun myyntihintaa, jolloin viljelystä tulee viljelijälle kannattavampaa. Biohiilestä saatavien hiiliyksiköiden hinnankehitystä ei myöskään voi täysin ennustaa ja pahimmillaan yksiköiden hinnan laskiessa pajun viljelystä tulee viljelijälle kannattamattomampaa. Biohiiltä tullaan kuitenkin tarvitsemaan ja raaka-aineita täytyy tavalla tai toisella saada, joten aika näyttää, kuinka kannattavaa pajun viljelemisestä tulee. Tulevaisuuden maatalouden tukiratkaisut tulevat myös vaikuttamaan siihen, mihin suuntaan viljelijät toimintaansa ohjaavat. Tällä hetkellä on tiedossa, että nurmien viljelystä turvemailla maksettavien tukien ehtoja tullaan laajentamaan ja vuodesta 2025 alkaen ne tulevat koskemaan kaikkia viljelijöitä, myös luomuviljelijöitä.

Jatkotutkimuksia tulisikin siis tehdä konkreettisella tasolla pajun ja nurmen viljelyn kulurakenteista eri osissa Suomea. Myös viljelijöiden osalta olisi hyvä tehdä tutkimusta heidän kiinnostuksestaan pajun viljelyä kohtaan ja näkemyksiä siitä, millaisena mahdollisuutena he näkevät pajun viljelyn ja millä laajuudella olisivat sitä valmiita toteuttamaan. Viljelijöiden osallistaminen tutkimukseen olisi tärkeää, sillä mahdollisen menetelmän käyttöön ottamisen vastarinta vähenee huomattavasti, kun viljelijät ovat saaneet antaa mielipiteensä asiasta. Tutkimusta olisi myös hyvä kohdistaa pajusta tehtävän biohiilen

kokonaiskustannuksiin ja siihen, paljonko on realistia maksaa palkkiota hiiliyksiköiden myynnistä viljelijälle.

Kokonaisuudessaan voidaan todeta, että opinnäytetyö antoi hyvän pohjavastauksen tutkimuskysymykseen, mutta lisätutkimuksia olisi tehtävä konkreettisella tasolla, jotta kyettäisiin arvoimaan pajun viljelyn soveltuvuutta laajemmassa käytössä Suomessa ja sitä, mitä kustannukset tulevat konkreettisesti olemaan.

Lähteet

Abujabhah, I.S., Doyle, R. & Bound, S.A. 2016. The effect of biochar loading rates on soil fertility, soil biomass, potential nitrification, and soil community metabolic profiles in three different soils. *J Soils Sediments* 16/2016. Saatavilla sähköisenä <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1411-8> Vaatii kirjautumisen.

Amalina, F., Razak, A., Krishnan, S., Sulaiman, H., Zularisam, A.W. & Nasrullah, M. 2022. Biochar production techniques utilizing biomass waste-derived materials and environmental applications – A review. *Journal of Hazardous Materials Advances: Volume 7/2022*. Saatavilla sähköisenä <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100134>

Baltic Sea Action Group. n.d. Uudistavan viljelyn e-opisto, luku 4 – hiili, vesi, ilmasto. Viitattu 20.6.2023
<https://courses.minnalearn.com/fi/courses/regenfarming/hiili-vesi-ilmasto/hiili/>

Basu, P. 2010. Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefication – Practical Design and Theory. Amsterdam: Elsevier Science & Technology. Saatavilla sähköisenä <https://doi.org/10.1016/C2009-0-20099-7> Vaatii kirjautumisen.

Bautista Quispe, J.I. Campos, L.C., Mašek, O. & Bogush, A. 2022. Use of biochar-based column filtration systems for greywater treatment: A systematic literature review. *Journal of Water Process Engineering*, Volume 48. Viitattu 14.8.2023 <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102908>.

Blaufelder, C.; Levy, C.; Mannion, P. & Pinner, D. 2021. A blueprint for scaling voluntary carbon markets to meet the climate challenge. Viitattu 8.6.2022
<https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/a-blueprint-for-scaling-voluntary-carbon-markets-to-meet-the-climate-challenge>

Carbon Footprint. n.d. Carbon Offset Standards. Viitattu 1.8.2023
<https://www.carbonfootprint.com/offsetstandards.html>

ClimateUniversity. 2023. Ilmasto.nyt – 1.3 Kasvihuonekaasut. Viitattu 16.10.2023 <https://digicampus.fi/mod/book/view.php?id=184387> Vaatii kirjautumisen.

COWI, Ecologic Institute and IEEP. 2021. Technical Guidance Handbook - setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the

EU Report to the European Commission, DG Climate Action, under Contract No. CLIMA/C.3/ETU/2018/007. Kongens Lyngby: COWI. Saatavilla sähköisenä osoitteesta: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/10acfd66-a740-11eb-9585-01aa75ed71a1>

Dabkara, M. & Sengupta, S. 2022. The carbon credits market: The past, present and future! Viitattu 8.6.2023
<https://timesofindia.indiatimes.com/blogs/voices/the-carbon-credits-market-the-past-present-and-future/>

Danesh, P.; Niaparast, P.; Ghorbannezhad, P. & Ali, I. 2023. Biochar Production: Recent Developments, Applications, and challenge. Fuel. Volume 337. Viitattu 3.8.2023 <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126889>.

Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., Zeng, G., Zhou, L. & Zheng, B. 2016. Biochar to improve soil fertility. A review. Agronomy for Sustainable Development 36, artikkeli 36. Viitattu 14.8.2023 <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0372-z>

Euroopan komissio. 2023. Carbon Removal Certification. Viitattu 15.8.2023
https://climate.ec.europa.eu/eu-action/sustainable-carbon-cycles/carbon-removal-certification_en

Euroopan komissio. n.d. 2030 Climate target plan. Viitattu 6.6.2023
https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en

Greenfield, P. 2023. Revealed: more than 90% of rainforest carbon offsets by biggest certifier are worthless, analysis shows. Viitattu 1.8.2023
<https://www.theguardian.com/environment/2023/jan/18/revealed-forest-carbon-offsets-biggest-provider-worthless-verra-aoe>

Guo, S., Li, Y., Wang, Y., Wang, L., Sun, Y. & Liu, L. 2022. Recent advances in biochar-based adsorbents for CO₂ capture. Carbon Capture Science & Technology. Volume 4. Viitattu 3.8.2023
<https://doi.org/10.1016/j.ccst.2022.100059>

Gwenzi, W., Chaukura, N., Wenga, T. & Mtisi, M. 2020. Biochars as media for air pollution control systems: Contaminant removal, applications and future research directions. Science of The Total Environment, Volume 753. Viitattu 16.8.2023 10.13140/RG.2.2.33647.87206

Hakala, T. 2020. Reducing emissions from peat fields – but how? Viitattu 13.6.2023 <https://www.valio.com/articles/reducing-emissions-from-peat-fields/>

Helen. 2018. Miten vähennän päästöjäni niin, että sillä on oikeasti vaikutusta? Viitattu 16.10.2023 <https://www.helen.fi/blogi/2018/paastotpienemmiksi>

Ilmastolaki 10.6.2022/ 423.

Kalu, S. 2022. Long-term effects of biochars as a soil amendment in boreal agricultural soils. Helsinki: Helsingin yliopisto. Saatavilla sähköisenä: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-51-8233-3>

Kioton sopimus. 10.12.1997/ 2303 U.N.T.S. 162.

Leppäkoski L, Marttila MP, Uusitalo V, Levänen J, Halonen V & Mikkilä MH. 2021. Assessing the Carbon Footprint of Biochar from Willow Grown on Marginal Lands in Finland. Sustainability. Vol. 13(18):10097. Viitattu 2.10.2023 <https://doi.org/10.3390/su131810097>

Lu, S. & Zong, Y. 2018. Pore structure and environmental serves of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis conditions. Environmental Science and Pollution Research. Volume 25. Viitattu 16.8.2023 <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3018-7>

Luonnonvarakeskus (Luke). 2023. Vapaaehtoiset hiilimarkkinat ja ilmastoyksiköiden käytön perusteet. Viitattu 8.6.2023 <https://hiilikompensaatioinfo.fi/vapaaehtoiset-hiilimarkkinat/>

Luke. 2023a. Kasvihuonekaasulaskenta. Viitattu 28.8.2023. https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/taloustohtori/kasvihuonekaasulaskenta/aikasarja/kasvihuonekaasupaastot_per_hehtaari/viljanviljely/

Luke. 2023b. Käytössä oleva maatalousmaa 2023 (ennakko). Viitattu 2.8.2023 <https://www.luke.fi/fi/tilastot/kaytossa-oleva-maatalousmaa/kaytossa-oleva-maatalousmaa-2023-ennakko>

Luke. 2023c. Energiapuun kauppa, 4. vuosineljännes 2022 ja vuosi 2022. Viitattu 2.10.2023 <https://www.luke.fi/fi/tilastot/energiapuun-kauppa/energiapuun-kauppa-4-vuosineljannes-2022-ja-vuosi-2022>

Luke. n.d. Usein kysytyt kysymykset. Viitattu 20.6.2023 <https://projects.luke.fi/sompa/materiaalit/usein-kysytyt-kysymykset/>

Lång, K., Aro, L., Assmuth, A., Haltia, E., Hellsten, S., Larmola, T., Lempinen, H., Lindfors, L., Lohila, A., Miettinen, A., Minkkinen, K., Nieminen, M., Ollikainen, M., Ojanen, P., Sarkkola, S., Sorvali, J., Seppälä, J., Tolvanen, A., Vainio, A., Wall, A. & Vesala T. 2022. Turvemaiden käytön vaihtoehdot hiilineutraalissa Suomessa. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2022. Saatavilla sähköisenä osoitteessa <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2022/04/ilmastopaneelin-raportti-2-2022-turvemaiden-kayton-vaihtoehdot-hiilineutraalissa-suomessa.pdf>

Maa- ja metsätalousministeriö (jatkossa MMM). n.d. Luonnon monimuotoisuus. Viitattu 10.10.2023 <https://mmm.fi/luonto-ja-ilmasto/luonnon-monimuotoisuus>

Matila, A. ja Alatalo, I. 2023. Turvetuotannosta poistuvien alueiden maankäytön ohjauskeinot. Tapion raportteja nro 54. Saatavilla sähköisenä osoitteesta <https://tapio.fi/julkaisut-ja-raportit/turvetuotannosta-poistuvien-alueiden-maankayton-ohjauskeinot/>

Meers, E., Velthof, G., Michels, E. & Rietra, R. 2020. Biorefinery of Inorganics: Recovering Mineral Nutrients from Biomass and Organic Waste. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.

MMM. 2021. Ratkaisuja ja kehitysehdotuksia maatalouden ympäristöhaasteisiin MATO –tutkimusohjelman perusteella. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2021:17. Helsinki: Valtioneuvosto. Saatavilla sähköisenä: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163434/MMM_2021_17.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MMM. n.d. Tukien osuus maatalouden kokonaistuotosta noin kolmanneksen. Viitattu 2.8.2023 <https://mmm.fi/maataloustukien-merkitys1>

Morgan Stanley. 2023. Where the Carbon Offset Market Is Poised to Surge. Viitattu 8.6.2023 <https://www.morganstanley.com/ideas/carbon-offset-market-growth>

Mosa, A., Mansour, M., Soliman, E., El-Ghamry, A., El Alfy, M. & El Kenawy, A. 2023. Biochar as a Soil Amendment for Restraining Greenhouse Gases Emission and Improving Soil Carbon Sink: Current Situation and Ways Forward. Sustainability. Volume 15 (2). Viitattu 16.8.2023 <https://doi.org/10.3390/su15021206>

Naukkarinen, V. 2021. Kosteikkoviljelyn kasviopas. Baltic Sea Action Groupin julkaisu. Nurmijärvi: Nurmiprint Oy. Saatavilla sähköisenä osoitteesta https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2022/07/Kosteikkoviljelyn_kasviopas_2021_web.pdf

Nousiainen, J. 2022. Nurmeen perustuva ruoantuotanto lisää ruokaomavaraisuutta. Viitattu 2.10.2023 <https://www.valio.fi/artikkelit/nurmeen-perustuva-ruoantuotanto-lisaa-ruokaomavaraisuutta/>

Pariisin sopimus 12.12.2015/ T.I.A.S. No.16-1104.

Pelli, P. 2023. Itä-Helsingin uuteen pyöräbaanaan upotettiin mustaa ainetta, joka ratkaisee kerralla useampaa ilmasto-ongelmaa. Viitattu 17.10.2023 <https://www.hs.fi/talous/art-2000009897348.html>

Peterdy, K. 2023. What is ESG (Environmental, Social, and Governance)? Viitattu 6.6.2023 <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/esg/esg-environmental-social-governance/>

Pradana, Y. & Budiman, A. 2014. Bio-syngas derived from Indonesian oil palm empty fruit bunch (EFB) using middle-scale gasification. Journal of Engineering Technology. Special Issue 8; 1/2015. Saatavilla sähköisenä osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/280738399_Bio-syngas_derived_from_Indonesian_oil_palm_empty_fruit_bunch_EFB_using_middle-scale_gasification

Precedence research. 2023. Biochar Market (By Technology: Pyrolysis, Gasification, Others; By Feedstock: Woody Biomass, Agricultural Waste, Animal Manure, Others; By Application: Agriculture, Forestry, Electricity Generation, Others) - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, Regional Outlook, and Forecast 2023–2032. Viitattu 13.6.2023 <https://www.precedenceresearch.com/biochar-market>

Puro.earth. 2023a. CORC Supplier Listing. Viitattu 9.6.2023. https://puro.earth/CORC-co2-removal-certificate/page-4/?carbon_removal_method%5B0%5D=7363

Puro.earth. 2023b. Biochar Finland. Viitattu 31.5.2023 <https://puro.earth/CORC-co2-removal-certificate/biochar-finland-100008>

Rajabi Hamedani, S.; Kuppens, T.; Malina, R.; Bocci, E.; Colantoni, A. & Villarini, M. 2019. Life Cycle Assessment and Environmental Valuation of Biochar Production: Two Case Studies in Belgium. *Energies* 2019:12, 2166. Viitattu 2.10.2023 <https://doi.org/10.3390/en12112166>

Ruokavirasto. 2023a. Ehdollisuuden opas 2023. Viitattu 13.6.2023 <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/perusehdot/ehdollisuus/ehdollisuuden-opas/ehdollisuuden-opas-2023/#id-22-turvemaiden-suojelu-ja-maatalousmaaksi-muu>

Ruokavirasto. 2023b. Näin perustat kosteikon. Viitattu 13.6.2023 <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/investoinnit/ei-tuotannolliset-investoinnit/kosteikkoinvestoinnit/>

Ruokavirasto 2023c. Ympäristökorvauksen sitoumusehdot 2023. Viitattu 17.10.2023 <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/peltotuet/ymparistokorvaus/ymparistokorvauksen-sitoumusehdot/ymparistokorvauksen-sitoumusehdot-2023/#id-2-monivuotiset-monimuotoisuuskaistat>

Ruokavirasto. 2023d. Kasvien ilmoittaminen ja tukitasot 2023. Viitattu 2.10.2023 <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/oppaat/hakuoppaat/hakuoppaat/kasvien-ilmoittaminen-ja-tukitasot/kasvien-ilmoittaminen-ja-tukitasot-2023/#oljykasvit>

Rytter, R. 2012. The potential of willow and poplar plantations as carbon sinks in Sweden. *Biomass and Bioenergy*. Volume 36: 2012. Saatavilla sähköisenä <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.10.012>

Sas, E., Hennequin, L.M., Frémont, A., Jerbi, A., Legault, N., Lamontagne, J., Fagoaga, N., Sarrazin, M., Hallett, J.P., Fennell, P.S., Barnabé, S., Labrecque, M. Brereton, N.J.B. & Pitre, F.E. 2021. Biorefinery potential of sustainable municipal wastewater treatment using fast-growing willow. *Science of The Total Environment*. Volume 792: 2021. Saatavilla sähköisenä <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148146>.

SFS-EN ISO 14064-1:2019. Kasvihuonekaasut. Osa 1: Määrittelyt ja opastusta kasvihuonekaasujen päästöjen ja poistojen laskennasta ja raportoinnista organisaatiossa. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 14064-2:2019. Kasvihuonekaasut. Osa 2: Määrittelyt ja opastusta kasvihuonekaasujen päästövähennysten ja poistojen lisäysten laskennasta,

seurannasta ja raportoinnista projektitasolla. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 14064-3:2019. Kasvihuonekaasut. Osa 3: Määrittelyt ja opastusta kasvihuonekaasuja koskevien väittämien todentamisesta ja validoinnista. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Sitra. n.d. Tulevaisuussanasto. Viitattu 6.6.2023
<https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/hiilen-sidonta/>

Sun, S., Tian, H., Zhao, Y., Sun, R. & Zhou, H. 2010. Experimental and numerical study of biomass flash pyrolysis in an entrained flow reactor. *Bioresource Technology*, Volume 101, Issue 10, ISSN 0960-8524. Saatavilla sähköisenä osoitteesta: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.092>.

Suomen standardisoimisliitto. n.d. Standardeista on hyötyä meille kaikille. Viitattu 15.8.2023 <https://sfs.fi/standardeista/standardien-hyodyt/>

The Global Goals. 2023. 13 Climate Actions. Viitattu 6.6.2023
<https://www.globalgoals.org/goals/13-climate-action/>

The Integrity Council for the Voluntary Carbon Markets (ICVCM). 2023. Core Carbon Principles, Assesment framework and Assesment procedure. Saatavilla sähköisenä <https://icvcm.org/wp-content/uploads/2023/07/CCP-Book-R2-FINAL-26Jul23.pdf>

Torres-Morales, E., Khatiwada, D., Xylia, M. & Johnson, F.X. 2023. Investigating biochar as a net-negative emissions strategy in Colombia: Potentials, costs, and barriers. *Current Research in Environmental Sustainability*: Volume 6/2023. Saatavilla sähköisenä <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2023.100229>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2021. Turvetyöryhmän loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2021:24. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavilla sähköisenä osoitteesta:
<https://tem.fi/documents/1410877/67934370/Turvety%C3%B6ryhm%C3%A4n+%20loppuraportti+TEM+2021+24.pdf/153eaa9c-3a4c-ee27-ccfe-5bebf4af0047/Turvety%C3%B6ryhm%C3%A4n+loppuraportti+TEM+2021+24.pdf?t=1652772934680>

United Nations Framework Convention on Climate Change. n.d. United Nations Carbon Offset Platform. Viitattu 1.8.2023 <https://unfccc.int/climate-action/united-nations-carbon-offset-platform>

Valtioneuvosto. 2019. Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Valtioneuvoston julkaisuja 2019: 23. Helsinki: Valtioneuvosto. Viitattu 6.6.2023. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN_2019_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Valtioneuvosto. 2023a. Opas vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden hyviin käytäntöihin – vapaaehtoisten ilmastotekojen edistäminen ilmastoyksiköillä. Valtioneuvoston julkaisuja 2023: 3. Helsinki: Valtioneuvosto. Viitattu 6.6.2023 https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164604/VN_2023_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Valtioneuvosto. 2023b. Vahva ja välittävä Suomi. Valtioneuvoston julkaisuja 2023: 58. Helsinki: Valtioneuvosto. Viitattu 21.6.2023 <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165042/Paaministeri-Petteri-Orpon-hallituksen-ohjelma-20062023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Verra. 2022. Verra Publishes VCS Biochar Methodology. Viitattu 30.10.2022 <https://verra.org/program-notice/verra-publishes-vcs-biochar-methodology/>

Viherä-Aarnio, A., Jyske, T. & Beuker, E. (toim.). 2022. Pajut biokiertoaloudessa : Materiaaleja, arvoaineita, ympäristöhyötyjä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. Saatavilla sähköisenä <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-368-8>

Wollerton, M. 2021. Carbon neutral vs. carbon negative: What's the difference? Viitattu 13.7.2023 <https://www.cnet.com/home/energy-and-utilities/carbon-neutral-vs-carbon-negative-whats-the-difference/>

Yanbin, H.; Qiang, Z.; Shujuan, H.; Guoju, X.; Xiangyue, C.; Jianshun, W.; Yue, Q.; Liang, Z. & Lanying, H. 2022. Research progress and prospects of ecosystem carbon sequestration under climate change (1992–2022). Ecological Indicators, Volume 145/2022. Viitattu 6.6.2023 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109656>.

Yaning, Z.; Yunlei, C.; Paul, C.; Shiyu, L.; Nan, Z.; Kuan, D.; Liangliang, F.; Peng, P.; Min, M.; Yanling, C.; Yunpu, W.; Yiqin, W.; Yuhuan, L.; Bingxi, Li. &

Roger, R. 2019. Chapter 14 - Gasification Technologies and Their Energy Potentials, Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches. Amsterdam: Elsevier Science & Technology. Saatavilla sähköisenä osoitteesta <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64200-4.00014-1>. Vaatii kirjautumisen.

Yhdistyneet kansakunnat. n.d. The 17 goals. Viitattu 6.6.2023
<https://sdgs.un.org/goals>

Ympäristölaki 27.6.2014/ 527.

Ympäristöministeriö 2023. Yhteiset pelisäännöt vapaaehtoisille hiilimarkkinoille lisäävät alan luotettavuutta. Viitattu 17.10.2023 <https://ym.fi/-/yhteiset-pelisaannot-vapaaehtoisille-hiilimarkkinoille-lisaavat-alan-luotettavuutta>