



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikka

Järviruokopohjaisen kasvualustan soveltuminen hiilensidontatuotteeksi

Päivi Pirinen

Opinnäytetyö, marraskuu 2024

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2024
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Päivi Pirinen

Nimeke
Järviruokopohjaisen kasvualustan soveltuminen hiilensidontatuotteeksi

Toimeksiantaja
Kiteen Mato ja Multa Oy

Tiivistelmä

Ilmasto lämpenee tällä hetkellä noin 0,2 °C vuosikymmenessä. Kansallisiin ja kansainvälisiin päästövähennystavoitteisiin pyritään samaan aikaan sekä vähentämällä päästöjä, että sitomalla hiilidioksidia ilmakehästä erilaisin menetelmin. Ilmakehästä poistetulla ja varastoidulla hiilellä käydään kauppaa vapaaehtoisilla hiilimarkkinoilla. Puro.earth Oy on maailman ensimmäinen päästövähennysyksiköiden markkinapaikka ja se tarjoaa myös sertifiointia luotettavina pitämilleen hiilenpoistotoimille.

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin järviruokopohjaisen kasvualustatuotteen hiilensidontaominaisuuksia ja selvitettiin sen soveltuvuutta Puro.earthin myöntämän sertifikaatin vaatimuksiin. Työ toteutettiin kvalitatiivisena eli laadullisena tutkimuksena, pitkälti tutkimuksellisen kirjallisuuskatsauksen menetelmin. Lisätietoa haettiin haastattelemalla asiantuntijoita.

Työn tuloksena todettiin, ettei kasvualusta pysty täyttämään Puro Standardin tämänhetkisiä vaatimuksia. Sidotun hiilen tulisi pysyä sidottuna vähintään 100 vuotta, mitä ei nähty realistisena kasvualustan kaltaiselle orgaaniselle ja maatuvalle tuotteelle. Toisekseen standardi ei hyväksy vältettyjä päästöjä hiilikrediittien laskentaan. Järviruokotuotteille tehdyt hiilijalanjälkilaskelmat osoittavat sen suurimman ilmastohyödyn olevan nimenomaan vältetyissä päästöissä. Koska tuotteella on kuitenkin nähtävissä monia merkittäviä ympäristöhyötyjä, jatkotutkimuksen aiheena voisi olla hakea niiden todentamiseen paremmin soveltuvia standardeja. Myös EU:n valmisteilla oleva asetus hiilenpoiston ja hiiliviljelyn sertifiointia koskien tuonee aikanaan lisää mahdollisuuksia hiilimarkkinoille.

Kieli
suomi

Sivuja 63
Liitteet 1
Liitesivumäärä 1

Asiasanat
hiilensidonta, järviruoko, kasvualustat, päästökompensaatio.



THESIS
November 2024
Degree Programme in Energy and
Environmental Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Päivi Pirinen

Title
The Suitability of Common Reed-Based Growing Medium as a Carbon Sequestration Product

Commissioned by
Kiteen Mato ja Multa Oy

Abstract

The climate is currently warming by about 0.2 °C per decade. National and international emission reduction targets are pursued at the same time by both reducing emissions and sequestering carbon dioxide from the atmosphere using different methods. Carbon removed from the atmosphere and stored is traded on the voluntary carbon market. Puro.earth Oy is the world's first marketplace for emission reduction units and it also offers certification for the carbon removal operations it considers reliable.

In this thesis, the carbon sequestration properties of the common reed-based growing medium were examined and its suitability for the requirements of the certificate issued by Puro.earth Oy was investigated. The work was carried out as a qualitative study, using the methods of a research literature review. Additional information was sought by interviewing experts.

As a result of the work, it was concluded that the growth medium cannot meet the current requirements of the Puro Standard. The carbon should remain bound for at least 100 years, which was not considered realistic for a biodegradable product such as growing medium. Secondly, the standard does not accept avoided emissions for the calculation of carbon credits. The carbon footprint calculations made for common reed products show that its greatest climate benefit is precisely in avoided emissions. However, since the product has many environmental benefits, the topic of further research could be to search for standards that are better suited to their verification. Also, the EU regulation in preparation regarding the certification of permanent carbon removals and carbon farming can bring more opportunities to the carbon markets.

Language
Finnish

Pages 63
Appendices 1
Pages of Appendices 1

Keywords
carbon sequestration, common reed, growing media, emission compensation.

Sisältö

1	Johdanto	11
2	Kasvihuonekaasut.....	13
2.1	Hiilidioksidi CO ₂	14
2.2	Metaani CH ₄	16
2.3	Dityppioksidi N ₂ O	17
2.4	Fluorikaasut eli f-kaasut.....	18
3	Hiilimarkkinat	19
3.1	Päästökauppa.....	19
3.2	Vapaaehtoinen päästöjen kompensointi	20
3.3	Hiilensidontamenetelmät	21
4	Elinkaariarviointi (LCA) ja ympäristöseloste (EPD)	22
4.1	Elinkaariarviointi (LCA)	22
4.2	EPD-ympäristöseloste	24
5	Puro.earth Oy	24
5.1	Taustaa.....	24
5.2	Puro Standardin kriteerit	25
5.2.1	Hiilivaraston pysyvyys.....	25
5.2.2	Elinkaarianalyysi (LCA) ja nettonegatiivisuus	25
5.2.3	Hiilivuodon välttäminen	26
5.2.4	Täydentävyys.....	26
5.2.5	Riskit minimiin, hyödyt maksimiin	27
5.3	Hyväksytyt menetelmät.....	27
5.4	Sertifiointiprosessin kulku	31
6	Järviruoko	32
7	Kosteikkoviljely	33
8	Kasvualustat	34
8.1	Kasvuturve.....	34
8.2	Järviruokokasvualustan ominaisuudet	35
8.2.1	Niitetyn järviruokokasvualustan elinkaariarviointi.....	36
8.2.2	Kosteikkoviljelyn järviruokokasvualustan elinkaariarviointi.....	40
9	Opinnäytetyön tavoite	44
10	Työn toteutus	45
10.1	Menetelmälliset valinnat	45
10.2	Aineiston hankinta	46
10.3	Aineiston käsittely ja analysointi	47
11	Tulokset ja tulosten tarkastelu	48
11.1	Tarkasteltavan järviruokokasvualustan elinkaari.....	48
11.2	Haastattelu.....	50
11.3	Järviruokokasvualustan peilaus Puro Standardin kriteereihin.....	52
11.3.1	Hiilivaraston pysyvyys.....	52
11.3.2	LCA ja nettonegatiivisuus	52
11.3.3	Täydentävyys ja hiilivuodon välttäminen.....	54
11.3.4	Riskit ja lisähyödyt	54
12	Pohdinta.....	55
12.1	Yhteenveto ja jatkotoimenpidesuositukset.....	55
12.2	Tutkimuksen eettisyys ja luotettavuus	57
12.3	Oma ammatillinen kehitys.....	57

Lähteet.....	59
--------------	----

Liitteet

Liite 1	Haastattelulomake
---------	-------------------

Lyhenteet

ACR	American Carbon Registry, maailman ensimmäinen hiilidioksidihyvitysohjelma.
BECCS	Bioenergy with carbon capture and storage, teknologia, jolla hiilidioksidi otetaan talteen bioenergian tuotannosta ja varastoidaan.
CAR	Climate Action Reserve, hiilihyvitysrekisteri, joka tarjoaa muun muassa hiililuottojen rekisteröintiä, riippumatonta varmennusta ja hiililaskentastandardien kehittämistä.
CORC	CO ₂ Removal Certificate, Puro.earth Oy:n luoma CO ₂ -poistotodistus, joita yritys myöntää sertifioimilleen hiilenpoistotoimille.
CORSIA	The Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, lentoliikenteen päästöhyvitysjärjestelmä.
DACCS	Direct Air Capture with Carbon Storage, teknologia, jolla hiilidioksidia otetaan talteen ja varastoidaan suoraan ilmasta.
EPD	Environmental Product Declaration, ympäristöseloste.
GS	Gold Standard, hyväntekeväisyysjärjestöjen perustama maailmanlaajuinen hiilikompensaatiomenetelmien sertifiointijärjestelmä.
ICROA	International Carbon Reduction and Offset Alliance, kansainvälinen hiilidioksidipäästöjen vähentämisen ja kompensoinnin toimialajärjestö.
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisoimisjärjestö.
LCA	Life Cycle Assessment, elinkaariarviointi.
NETs	Negative Emission Technologies, negatiivisten päästöjen teknologiat, eli ilmakehästä hiilidioksidia poistavat menetelmät.
PCR	Product Category Rules, ympäristöselosteiden julkaisujärjestelmän eri tuotekategorioille luodut tuoteryhmäsäännöt.
ppb	Parts per billion, ilmaisee, kuinka monta miljardisosaa jokin on jostakin.

ppm	Parts per million, ilmaisee, kuinka monta miljoonasosaa jokin on jostakin.
PyCCS	Pyrogenic carbon capture and storage, hiilen sidonta ja varastointi pyrolyysin avulla, eli biohiiletys.
RTS	Rakennustietosäätiö.
SFS-EN	SFS kertoo, että standardi on vahvistettu Suomessa. Loppuosa EN viittaa siihen, että standardi on vahvistettu eurooppalaiseksi standardiksi.
Verra	Yhdysvaltalainen vapaaehtoisia päästökompensatioita Verified Carbon Standard-standardillaan sertifioiva organisaatio.

Termit

Biohiili

Biomassasta pyrolyysin avulla valmistettua hiilipitoista kiinteää ainetta.

Biodiversiteetti

Luonnon monimuotoisuus. Kattaa lajien määrän, niiden geneettisen variaation moninaisuuden sekä eri elämänmuotojen vuorovaikutuksen monimutkaisissa ekosysteemeissä.

Carbon Credit (hiiliyksikkö, hiilikrediitti, hillintäyksikkö tai päästöhyvitys)

Vapaaehtoisilla päästöjen kompensatiomarkkinoilla käytettävä yksikkö, joka symboloi yhden hiilidioksidiekvivalenttonnin suuruista hiilenpoistoa tai vältettyjä päästöjä.

Eroosio

Kallio- ja maaperän kulumista veden, jään, tuulen, mekaanisen kulutuksen tai jonkin muun maaperää kuluttavan tekijän vaikutuksesta.

Hiilidioksidiekvivalentti (CO₂-ekv.)

Kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävä vaikutus yhteismitallistettuna vastaavaan määrään hiilidioksidia. Eri kasvihuonekaasut muutetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi omien kertoimiensa avulla.

Hiilensidonta

Hiilen talteenottoa ja varastointia erilaisten teknologioiden ja menetelmien avulla. Hiilensidonta kasvattaa hiilivarastoa.

Hiilineutraalius

Tuote, yritys, kunta tai valtio voi saavuttaa hiilineutraaliuden, mikäli se tuottaa hiilidioksidipäästöjä vain sen verran kuin pystyy sitomaan.

Hiilinielu

Prosessi, toiminta tai mekanismi, joka sitoo hiilidioksidia ilmakehästä.

Hiilivarasto

Kohde, jossa siihen sitoutunut hiili pysyy tallessa, esim. metsän puuston tai suon sammaleiden biomassassa, pitkäikäiset puutuotteet tai hiilensidontateknologioilla talteen otetun hiilen säilytyspaikka.

Hiilivuoto

Ilmastotoimien aiheuttamaa hiilidioksidipäästöjen siirtymistä hillintätoimien alaisen alueen ulkopuolelle

Ilmastonmuutos

Ihmisen aiheuttamasta kasvihuonekaasujen pitoisuuden kasvusta johtuva kasvihuoneilmaston voimistuminen.

Inventaarioanalyysi

Elinkaariarvioinnin vaihe, jossa kerätään tietoa kohdejärjestelmän panoksista ja tuotoksista.

Kasvihuoneilmiö

Kasvihuonekaasujen aikaansaama maapallon lämpimänä pitävä ilmiö.

Kasvihuonekaasu

Ilmakehässä esiintyviä kaasuja, muun muassa vesihöyry, hiilidioksidi, metaani ja dityppioksidi, jotka päästävät auringonsäteilyn lävitseen, mutta imevät itseensä maan pinnalta kohoavaa lämpösäteilyä aiheuttaen kasvihuoneilmaston.

Kaksoislaskenta

Tilanne, jossa sama päästövähennys lasketaan kahteen kertaan eri tahojen, esimerkiksi päästöjä kompensoivan yrityksen ja valtion

hyväksi. Tämä voi aiheuttaa harhaanjohtavia päästövähennystietoja ja vaikeuttaa ilmastotavoitteiden saavuttamista.

Karbonisointi

Menetelmä, jossa tietyt materiaalit, kuten kaivosjätteiden teräskuona tai emäksinen vesi, reagoivat CO₂:n kanssa mineralisoituen ja muodostaen karbonaatteja, jolloin hiili sitoutuu ja varastoituu materiaaliin pitkäaikaisesti.

Lisäisyys

Hiilenpoistotoimien lisäisyys tarkoittaa, ettei niitä olisi taloudellisesti kannattavaa toteuttaa ilman poistoyksiköiden myynnistä saatavaa tuloa.

Metodologia

Joukko ohjeita, periaatteita, käytäntöjä ja tekniikoita.

Nettonegatiivisuus

Nettonegatiivinen hiilenpoistoprosessi poistaa ilmakehästä enemmän CO₂:sta kuin toiminnallaan aiheuttaa.

Positiivinen vuoto

Hiilenpoiston yhteydessä tullaan välttäneeksi päästöjä, joita muutoin tapahtuisi.

Päästöjen kompensatio, hiilikompensaatio

Päästövähennysyksiköiden ostaminen korvaamaan esimerkiksi yrityksen, yksilön tai kunnan toiminnasta syntyviä päästöjä.

Päästökatto

Direktiivissä säädetty, EU:n alueen markkinoille tulevien päästöoikeuksien kokonaismäärä.

Päästökauppa

Kasvihuonekaasujen kustannustehokkaan vähentämisen toteuttamiseksi kehitetty menetelmä, jossa säädetään alueellinen päästökatto ja käydään kauppaa myönnettyillä päästöoikeuksilla.

Sertifikaatti

Dokumentti, joka todistaa henkilön, yrityksen, prosessin, tuotteen tai palvelun täyttävän tietyn standardin tai kriteerit.

Sertifiointi

Kolmannen osapuolen arviointiin pohjautuvaa todistusten (sertifikaattien) myöntämistä.

Standardi

Asiakirja, joka sisältää suosituksia, ohjeita tai vaatimuksia tietyistä aiheista.

Validointi

Prosessi, jossa tarkistetaan, että prosessin kohde täyttää tietyt kriteerit.

Verifiointi

todentamismenettely, jolla varmistetaan, että tuote vastaa alkuperäisiä suunnitteluvaatimuksia.

Vettäminen

Aikanaan ojitetun turvepellon vedenpinnan nostaminen takaisin luonnolliselle tasolle esimerkiksi patoamalla ojat.

Ympäristösuorituskyky

Kertoo yrityksen kyvystä hallita ja vähentää toimintansa aiheuttamia ympäristövaikutuksia.

1 Johdanto

Ilmastonmuutos on yksi aikamme suurimmista haasteista ihmiskunnan tulevaisuuden kannalta. Ilmaston lämmetessä sään ääri-ilmiöt helleaalloista rankkasateisiin ja myrskyihin tulevat lisääntymään ja voimistumaan. Valtamerten lämpeneminen ja napajäätiköiden sulaminen nostavat merenpinnan korkeutta uhaten rannikkoalueita. Ilmaston muuttuminen muokkaa elinympäristöjä, mikä vaikuttaa paikallisiin ekosysteemeihin aiheuttaen lajien sukupuuttoja ja luonnon monimuotoisuuden heikkenemistä. Ilmasto-olosuhteiden muutokset vaikuttavat jo nyt maatalouteen ja ruokaturvaan eri puolilla maapalloa, kun kuivuus ja toisaalta rankkasateet uhkaavat viljelysten kasvua ja satoja. (Euroopan komissio 2024a.)

Ilmastonmuutoksen aiheuttaja on sinänsä täysin luonnollinen ja tarpeellinen kasvihuoneilmiö. Ihmisen toiminnasta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt kuitenkin vauhdittavat ja voimistavat ilmiötä aiheuttaen ilmaston lämpenemistä. Tutkimusten mukaan ilmasto lämpenee tällä hetkellä 0,2 °C vuosikymmenessä. Vuonna 2019 maapallon keskilämpötila oli noussut 1,1 °C esiteolliseen aikaan verrattuna. Kahden celsiusasteen nousua pidetään vaarallisena tasona, josta aiheutuu vakavaa haittaa niin luonnonympäristölle kuin ihmisten terveydelle ja hyvinvoinnillekin. Kansainvälinen yhteisö onkin sopinut tavoitteesta rajoittaa lämpeneminen 1,5 °C:een erilaisilla yhteisesti sovitulla ilmastotoimilla. Suurimmiksi ilmastonmuutosta vauhdittaviksi tekijöiksi on todettu fossiilisten polttoaineiden käyttö, metsien hakkuut ja kotieläintuotanto. (Euroopan komissio 2024b.)

Suomi on osana Euroopan Unionia sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasujen nettopäästöjä 55 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä, ja saavuttamaan hiilineutraaliuden vuoteen 2050 mennessä (Eurooppa-neuvosto 2024). Suomen kansalliseen ilmastolakiin kirjatut päästövähennystavoitteet ovat kuitenkin tätä kunnianhimoisempia. Sen mukaan päästöjä tulisi vähentää vuoden 1990 tasoon nähden 60 % vuoteen 2030

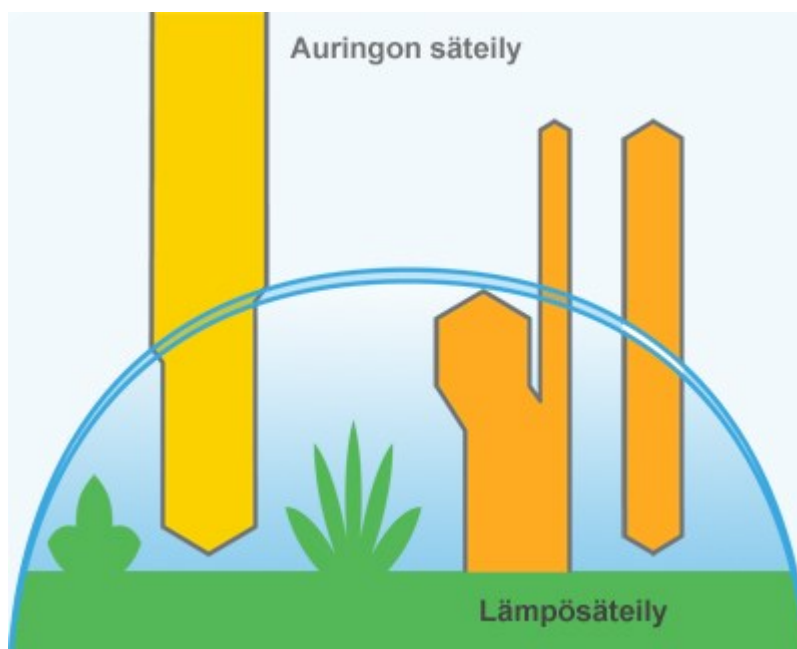
mennessä, 80 % vuoteen 2040 mennessä ja 90 % vuoteen 2050 mennessä. Hiilineutraalius tulisi ilmastolain mukaan saavuttaa viimeistään vuonna 2035. (Ympäristöministeriö 2024b.) Tavoitteen saavuttaminen edellyttää radikaaleja päästövähennyksiä, mutta ne eivät yksin riitä vastaamaan valtavaan hiilinielujen tarpeeseen. Lisäksi tarvitaan hiilen poistamista ilmakehästä niin luonnon hiilinielujen kuin erilaisten hiilensidontateknologioidenkin avulla. Hiilensidonta ei ole ilmaista, joten sen kannustimeksi tarvitaan taloudellista kompensatiota ja toimivia markkinoita. Tähän tarkoitukseen on kehitetty vapaaehtoisia päästöjen kompensatiomarkkinoita. (Bioenergia 2024.) Tässä työssä perehdytään ensimmäiseen suomalaiseen hiilenpoistoyksiköiden markkinapaikkaan Puro.earth Oy:n, josta käytetään jäljempänä myös nimeä Puro.

Työn toimeksiantajana toimi Kiteen Mato ja Multa Oy, joka on kehittänyt järviruoko- ja ruokohelpipohjaisia tuotteita yli kymmenen vuoden ajan. Yrityksen tuotantoon kuuluu muun muassa matomultaa, komposti- ja huussikuiviketta, eläinkuiviketta sekä kotimaisia onki- ja kompostilleroja. Yritys sai helmikuussa 2024 Suomen messusäätiön rahoittaman Pelasta Itämeri-palkinnon osoituksena arvokkaasta työstään ympäristön hyväksi (Stt-info 2024). Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan yrityksen kehittämää järviruokopohjaista kasvualustaa, joka on tarkoitus tuoda markkinoille kestävämmäksi vaihtoehdoksi kasvuturpeelle. Turpeen korvaamisen lisäksi tuotteella on nähtävissä monia muitakin ympäristöhyötyjä, esimerkiksi vesistöjen ravinnekuorman vähentäminen ja hiilen sidonta. Tähän asti järviruokomateriaali on saatu rantojen ruovikkoja niittämällä, mutta tulevaisuudessa sen tuotanto tulee painottumaan kosteikkoviljelyyn. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää tämän kasvualustatuotteen potentiaalia Puron sertifiointin hakemiseen, mikä mahdollistaisi hiilenpoistoyksiköiden myynnin ja toisi tuotteelle lisäarvoa.

Opinnäytetyön teossa käytettiin apuna tekoälysovelluksia ChatGPT:tä ja Microsoft Copilotia tietoperustan jäsentelyyn, tutkimusmenetelmien vertailuun sekä keskusteluapuna työn ongelmakohtissa. Microsoft Translatoria käytettiin tukena englanninkielisten sivustojen lukemisessa.

2 Kasvihuonekaasut

Ilmakehässä luonnollisesti esiintyvien kaasujen aiheuttama kasvihuoneilmiö estää maapallolle saapuvaa auringon lämpöenergiaa karkaamasta kokonaisuudessaan takaisin avaruuteen. Kuvassa 1 kuvataan, kuinka auringon lämpösäteily (keltainen nuoli) läpäisee ilmakehän kuin kasvihuoneen lasikaton, mutta katto pidättää suurimman osan ulos heijastuvasta säteilystä (oranssi haarautuva nuoli). Pieni osa lämmöstä läpäisee ilmakehän haihtuen avaruuteen, mutta suurin osa imeytyy ilmakehään. Ilmakehän kaasuihin absorboitunut lämpö säteilee sekä avaruuteen että maan pinnalle (kaksisuuntainen oranssi nuoli). Kasvihuoneilmiö on maapallon elämän kannalta välttämätön, mutta ihmistoiminnan voimistamana se aiheuttaa ongelmia. (Ilmasto-opas 2024a.)



Kuva 1. Kasvihuoneilmiö (Ilmasto-opas 2024a).

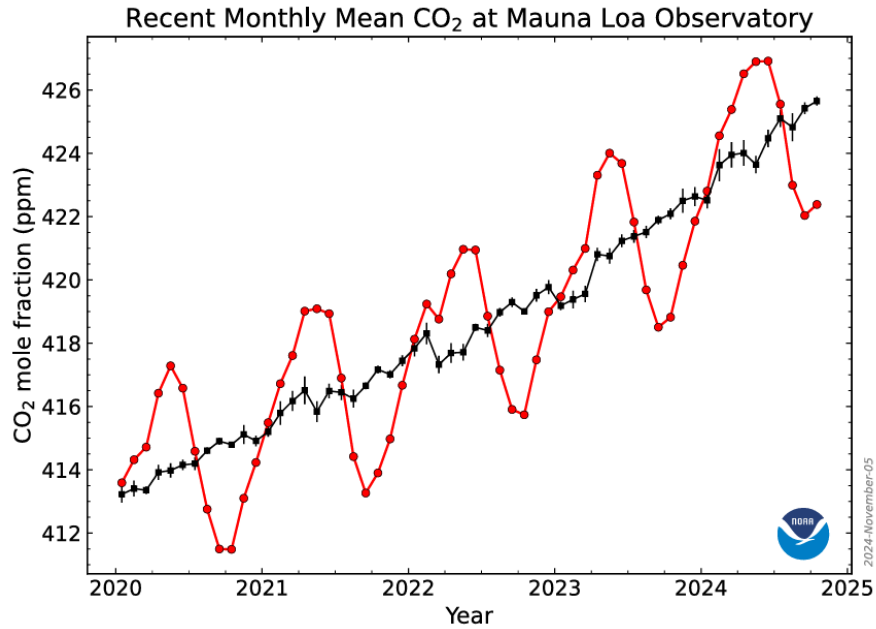
Ilmakehä koostuu suurimmalta osin typestä ja hapestä. Ne ovat kuitenkin kasvihuoneilmiön kannalta merkityksettömiä. Sen sijaan pitoisuudeltaan vähäpätöiset vesihöyry ja hiilidioksidi vastaavat noin 90 % ilmakehän pidättämästä lämpösäteilystä. (Ilmasto-opas 2024a.) Ihmistoiminnan vaikutuksesta tietyt kasvihuoneilmiötä voimistavat kaasut ovat erityisesti

lisääntyneet. Niitä ovat hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi sekä fluorikaasut. Suurin vaikutus ilmaston lämpenemiseen on hiilidioksidilla, jonka pitoisuus ilmakehässä on mittausten mukaan kasvanut vuosien 1750 ja 2020 välillä 48 %. (Euroopan komissio 2024b.)

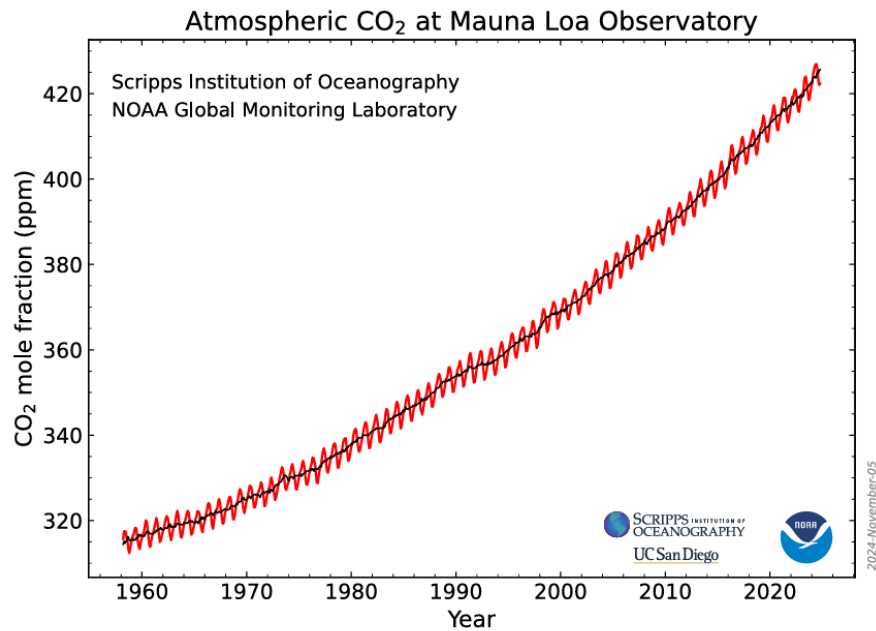
2.1 Hiilidioksidi CO₂

Ihmistoiminnan aiheuttamista kasvihuonekaasuista määrällisesti merkittävin on hiilidioksidi. Se on oleellinen osa hiilen kiertoa ilmakehän, meren, maaperän ja biomassan välillä. Tämä luonnollinen kierto kuitenkin horjuu ihmisen vapauttaessa ilmaan ”ylimääräisiä” hiilidioksidipäästöjä erityisesti fossiilisten polttoaineiden käytöllä ja häiritessä luontaisten hiilinielujen toimintaa muun muassa sademetsien hakkuilla ja erilaisilla maankäytön muutoksilla. Esimerkiksi vuosien 2000–2005 välillä fossiilisten polttoaineiden poltosta aiheutui vuosittain 7,2 gigatonnin suuruiset hiilipäästöt. Aiheutetun hiilidioksidin on todettu pysyvän kierrossa yli 100 vuotta, minkä vuoksi sen vaikutus ilmastoon on kauaskantoinen. (Ilmatieteen laitos 2024. Ilmasto-opas 2024b.)

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden yksikkönä käytetään lyhennettä ppm (parts per million) eli miljoonasosaa. Teollistumista edeltävänä aikana, eli ennen vuotta 1750, pitoisuuden on arvioitu olleen noin 280 ppm. (Ilmasto-opas 2024b.) Havaijilla sijaitsevan Mauna Loa havaintoasemalla suoritettujen mittausten perusteella CO₂-pitoisuus oli vuoden 2023 lokakuussa jo 418,82 ppm. Vuotuinen kasvu on tällä hetkellä noin 2,5 ppm:n. Kuviot 1 ja 2 havainnollistavat ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvua viimeisen viiden vuoden (kuvio 1) aikana ja koko tähänastisen ilmakehästä suoritettujen mittaushistorian (kuvio 2) aikana. Kaavioiden punaiset ympyrät ja viivat esittävät kuukausittaista keskimääräistä hiilidioksidiarvoa. Mustat neliöt ja viivat esittävät samaa, mutta korjattuna keskimääräisen kausisyklin mukaan. Pystypalkit mustilla viivoilla osoittavat kunkin kuukausikeskiarvon epävarmuuden, mikä perustuu CO₂:n havaittuun vaihteluun eri sääjärjestelmissä. (NOAA 2024.)



Kuvio 1. Mauna Loan havaintoaseman mittaamat ilmakehän hiilidioksidipitoisuudet (ppm) vuosina 2020–2025 (NOAA 2024).



Kuvio 2. Mauna Loan havaintoaseman mittaamat ilmakehän hiilidioksidipitoisuudet (ppm) vuosina 1960–2020 (NOAA 2024).

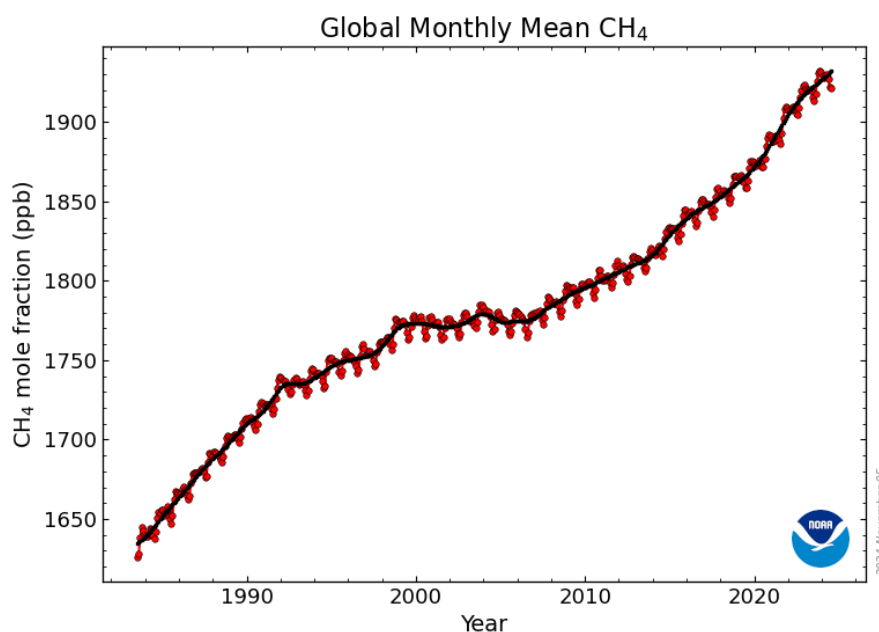
2.2 Metaani CH₄

Metaani on ihmisen tuottamista kasvihuonekaasuista toiseksi merkittävin.

Metaanin ilmastoa lämmittävä vaikutus on yhtä molekyyliä kohden voimakkaampi kuin hiilidioksidilla, mutta sen pitoisuus ilmakehässä on huomattavasti pienempi ja hajoaminen nopeampaa. Metaani säilyy ilmakehässä noin 12 vuotta, kunnes se hajoaa auringonvalon myötävaikutuksella useiden kemiallisten reaktioiden kautta vedeksi ja hiilidioksidiksi. (Ilmasto-opas 2024c.)

Metaania muodostuu eloperäisen aineksen maatuessa hapettomissa oloissa. Luontaisesti metaania syntyy esimerkiksi järvien pohjakerroksissa, soilla sekä kosteikoilla. Noin kolmannes ilmakehän metaanista arvioidaan syntyvän luonnollisista lähteistä, kaksi kolmasosaa ihmisen aiheuttamina. Ihmistoiminnan metaanilähteitä ovat muun muassa maatalous, kaatopaikat, vuotavat maakaasuputket, hiilikaivokset sekä huonosti palava puu. (Ilmasto-opas 2024c.)

Ilmakehän metaanipitoisuus ilmoitetaan tilavuuden miljardisosina eli yksikkönä on tällöin ppb (parts per billion). Ennen teollistumisen aikaa pitoisuuden on arvioitu olleen noin 715 ppb (Ilmasto-opas 2024c). Vuoden 2023 heinäkuussa metaanin määrä oli National Oceanic and Atmospheric Administration:n (NOAA 2024) mittaustulosten mukaan jo 1913,60 ppb. NOAA:n näytteenottoapaikkojen verkosto on hajautettu ympäri maailmaa. Kuviossa 3 esitetään ilmakehän metaanipitoisuuden maailmanlaajuisten keskiarvojen kuukausittaiset keskiarvot vuodesta 1983 tähän päivään saakka. Punaiset viivat ja ympyrät edustavat kuukausikeskiarvojen globaalia keskiarvoa. Musta viiva näyttää pitkän aikavälin trendin, josta on poistettu keskimääräinen kausisykli.



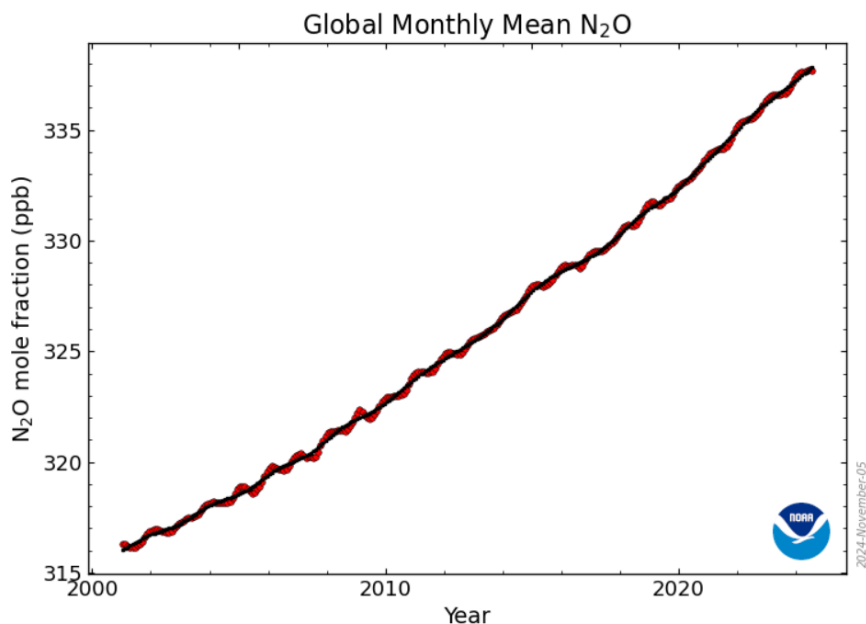
Kuvio 3. Ilmakehän globaalien metaanipitoisuuden (ppb) keskiarvot vuodesta 1983 nykyhetkeen (NOAA 2024).

2.3 Dityppioksidin N₂O

Dityppioksidin, eli typpioksiduuli tai ilokaasu, kuuluu myös merkittävimpiin ilmastoa lämmittäviin kasvihuonekaasuihin, joiden määrää ihmiskunnan päästöt kasvattavat. Vaikka dityppioksidin osuus ilmakehän kaasuista on erittäin pieni, sen lämmittävä vaikutus on voimakas ja se säilyy ilmakehässä noin 110 vuotta, huomattavasti kauemmin kuin metaani. Luonnollisia lähteitä N₂O:lle ovat muun muassa maaperän ja merien mikrobitoiminta, joista muodostuu noin 2/3 ilokaasupäästöistä. Kolmannes päästöistä aiheutuu ihmisten toimista, kuten maataloudessa käytettävien typpilannoitteiden hajoamisesta. (Ilmasto-opas 2024d.)

Dityppioksidin määrä ilmakehässä on kasvanut suhteellisen maltillisesti. Ennen teollista aikaa (ennen 1750) pitoisuus on ollut noin 270 ppb (Ilmasto-opas 2024d). Heinäkuussa 2023 N₂O-pitoisuuden keskiarvoksi mitattiin 336,63 ppb. Suunta on tasaisesti kasvava, kuten NOAA:n mittaustuloksista voidaan havaita (kuvio 4). Kaaviossa punaiset viivat ja ympyrät esittävät kuukausikeskiarvojen

globaaleja keskiarvoja. Musta viiva näyttää pitkän aikavälin trendin, josta on poistettu keskimääräinen kausisykli. (NOAA 2024.)



Kuvio 4. Dityppioksidin kuukausittainen keskiarvopitoisuus (ppb) ilmakehässä v.2001–2024 (NOAA 2024).

2.4 Fluorikaasut eli f-kaasut

Fluorikaasuja ei synny luonnossa, vaan päästöt saavat alkunsa ihmistoiminnasta. F-kaasut ovat kemiallisia yhdisteitä, joita käytetään muun muassa kylmä- ja ilmastointilaitteissa, lämpöpumpuissa, aerosoleina ja liuottimina. Ne kehitettiin korvaamaan aiemman sukupolven kylmäaineita, jotka osoittautuivat tuhoisiksi otsonikerrokselle ja joiden käyttö kiellettiin otsonikerroksen suojelusopimuksen Montrealin pöytäkirjan myötä. F-kaasut jaetaan neljään ryhmään: fluorihilivedyt (HFC-yhdisteet), perfluorihilivedyt (PFC-yhdisteet), rikkiheksafluoridi (SF₆) ja typpitrifluoridi (NF₃). Vaikka ne eivät aiheuta haittaa otsonikerrokselle, ne ovat osoittautuneet voimakkaiksi kasvihuonekaasuiksi. F-kaasuille on kuitenkin olemassa jo monia haitattomampia vaihtoehtoja, joihin on alettu siirtyä EU-sääntelyn myötävaikutuksella. (Ymparisto.fi 2024)

3 Hiilimarkkinat

3.1 Päästökauppa

Kasvihuonekaasujen kustannustehokkaan vähentämisen toteuttamiseksi on kehitetty markkinavetoinen päästökauppa. Euroopan unionissa on käyty päästökauppadirektiivin (2003/87/EY) ohjaamaa päästökauppaa vuodesta 2005 alkaen. Direktiivissä säädetään päästökatto, EU:n alueen markkinoille tulevien päästöoikeuksien kokonaismäärä, joka uudistetaan kausittain vastaamaan sen hetkisiä päästövähennystavoitteita. (Motiva 2024a.) Osa kauden päästöoikeuksista jaetaan huutokaupalla, osa myönnetään toimijoille ilmaiseksi harmonisoitujen ilmaisjakosääntöjen mukaisesti. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2024.)

Päästökaton alle pyritään sisällyttämään koko Euroopan talousalueen teollisuus-, sähkön- ja energiantuotantolaitokset, jotka ovat kokonaislämpöteholtaan yli 20 MW:n, sekä Euroopan sisäisen lento- ja meriliikenteen päästöt suurista matkustaja- ja rahtialuksista. Suomessa myös 20 MW:n tai pienemmät kaukolämpöä tuottavat laitokset kuuluvat päästökauppajärjestelmän alaisuuteen. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2024.)

Toimijat tarvitsevat päästöoikeuksia saman määrän kuin tuottavat päästöjä. Ne voivat valita päästövähennysten toteuttamisen ja päästöoikeuksien hankkimisen väliltä itselleen edullisemman vaihtoehdon. Kaupankäynnin tarkoituksena on ohjata päästövähennykset sinne, missä niiden toteuttaminen on halvinta. Päästöoikeuksien hinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan mukaan. Kauppaa käydään koko EU:n laajuisilla pörssimarkkinoilla, mutta myös niiden ulkopuolella. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2024.)

Päästölupien myöntämisestä ja valvonnasta vastaa kansallinen päästökauppa-
viranomaisena, Suomessa Energiavirasto, joka myös ylläpitää
päästökaupparekisteriä, valvoo päästökaupan velvoitteiden noudattamista ja
hyväksyy päästökauppatodentajat (Motiva 2024b.)

3.2 Vapaaehtoinen päästöjen kompensatio

Velvoitteeseen perustuvan päästökaupan lisäksi päästöjä kompensoidaan myös vapaaehtoisilla päästökompensaatiomarkkinoilla. Vapaaehtoisilta markkinoilta kuka tahansa voi ostaa päästövähennysyksiköitä ja näin hyvittää aiheuttamiaan kasvihuonekaasupäästöjä. Ostajina voivat olla esimerkiksi kunnat, yritykset, järjestöt ja kuluttajat. (Ympäristöministeriö 2021, 13.)

Päästövähennysyksiköitä tuottavat markkinoille erilaiset standardoidut hankkeet, jotka sitovat kasvihuonekaasuja toiminnallaan ja varastoivat sen tiettyjen kriteerien mukaisesti. Hankkeet voivat tuottaa päästövähennyksiä tai nielunlisäyksiä esimerkiksi seuraavien asiakokonaisuuksien kautta: uusiutuvan energian lisääminen, energiatehokkuuden lisääminen, voimakkaiden kasvihuonekaasujen talteenotto ja tuhoaminen, hiilivarastojen lisääminen, maankäyttösektorin päästöjen pienentäminen, sekä ilmakehän hiilen varastointi ja hyödyntäminen. (Ympäristöministeriö 2021, 21.)

Päästövähennysten laatu ja toteutuminen pyritään varmistamaan erilaisten standardijärjestelmien avulla. Standardin kriteerit määrittävät toiminnan vähimmäisvaatimukset, joihin markkinoille pyrkivien hankkeiden toimia verrataan. Eri standardien kriteereissä on eroja, mutta yleisimpiä vaatimuksia hyväksyttävälle päästövähennysyksiköille ovat mitattavuus, pysyvyys, lisäisyys, riippumaton todentaminen, kaksoislaskennan välttäminen ja hiilivuodon välttäminen. Toimet tulee myös monitoroida, varmentaa ja raportoida läpinäkyvästi. (Ympäristöministeriö 2021, 24–25.)

Päästökompensaatiomarkkinoita koskeva lainsäädäntö on vielä monin paikoin puutteellista, eikä markkinoiden valvonta ole kansainvälisesti yhtenäistä. Tämä on aiheuttanut paljon epäselvyyttä ja epäilyksiä päästökompensaatioita hyödyntävien yritysten ilmastoväittämiä kohtaan. EU-sääntely hiilenpoistojen sertifiointille on kuitenkin valmisteilla, ja Suomen ympäristöministeriö yhdessä maa- ja metsätalousministeriön kanssa julkaisivat helmikuussa 2023 oppaan vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden hyviin käytäntöihin. Opas tarjoaa neuvoja niin

yksiköiden tuottajille kuin ostajillekin, ja perustuu senhetkiseen ja kehitteillä olevaan EU-sääntelyyn ja kansainvälisiin ohjeistuksiin. (Ympäristöministeriö 2024a.)

Tunnetuimpia ja luotettavimpina pidettyjä standardien kehittäjiä ovat yhdysvaltalainen organisaatio Verra, hyväntekeväisyysjärjestöjen perustama Gold Standard (GS), American Carbon Registry (ACR) ja Climate Action Reserve (CAR). Näiden toimijoiden osuus vapaaehtoisista päästökompensaatiomarkkinoista vuonna 2019 oli noin 60 %. Esimerkiksi kansainvälinen hiilidioksidipäästöjen vähentämisen ja kompensoinnin toimialajärjestö ICROA (International Carbon Reduction and Offset Alliance) ja lentoliikenteen päästöhyvitysjärjestelmä CORSIA (The Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) ovat hyväksyneet käyttöönsä edellä mainittujen standardien alaisia päästövähennysyksiköitä. (Ympäristöministeriö 2021, 22.)

Vapaaehtoisia päästövähennysyksiköitä on tuotettu maailmanlaajuisesti ainakin 83 valtiossa. Suurimmat tuottajamaat vuonna 2019 olivat Intia, Yhdysvallat ja Kiina. Intian ja Kiinan tuotanto painottui uusiutuvaan energiaan, Yhdysvalloissa taas jätteiden käsittelyyn, kemiallisiin ja teollisiin prosesseihin sekä metsiin. Innokkaimmin päästövähennysyksiköitä ostettiin Yhdysvaltoihin, Ranskaan, Yhdistyneeseen kuningaskuntaan, Saksaan ja Sveitsiin. (Ympäristöministeriö 2021, 22–23.)

3.3 Hiilensidontamenetelmät

Metsät, suot ja meret ovat luonnon hiilinieluista merkittävimpiä. Niiden vahvistaminen on tärkeässä roolissa ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden madaltamisessa, mutta ne eivät yksin riitä vastaamaan hiilinielun kasvavaan tarpeeseen. Hiilen sidontaan ja varastointiin on kehitetty useita erilaisia tekniikoita. Ilmakehästä hiilidioksidia poistavia tekniikoita kutsutaan negatiivisten päästöjen teknologioiksi (Negative Emission Technologies, NETs). Tällä hetkellä potentiaalisimpina teknologioina pidetään bioenergian tuotannon

yhteydessä tapahtuvaa hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia (Bioenergy with carbon capture and storage, BECCS), biohiiltä (Pyrogenic carbon capture and storage, PyCCS) sekä hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia suoraan ilmasta (Direct Air Capture with Carbon Storage, DACCS). Näistä suurimmat mahdollisuudet Suomessa ovat BECCS:in ja biohiilen hyödyntämisessä. (Bioenergia 2024.)

Kustannukset eri menetelmien välillä vaihtelevat muutamista euroista satoihin euroihin varastoitua hiilidioksiditonnin kohden. Hiilensidonnan ja varastoinnin toteuttaminen vaativat toimivia markkinoita ja taloudellista tukea. (Bioenergia 2024.)

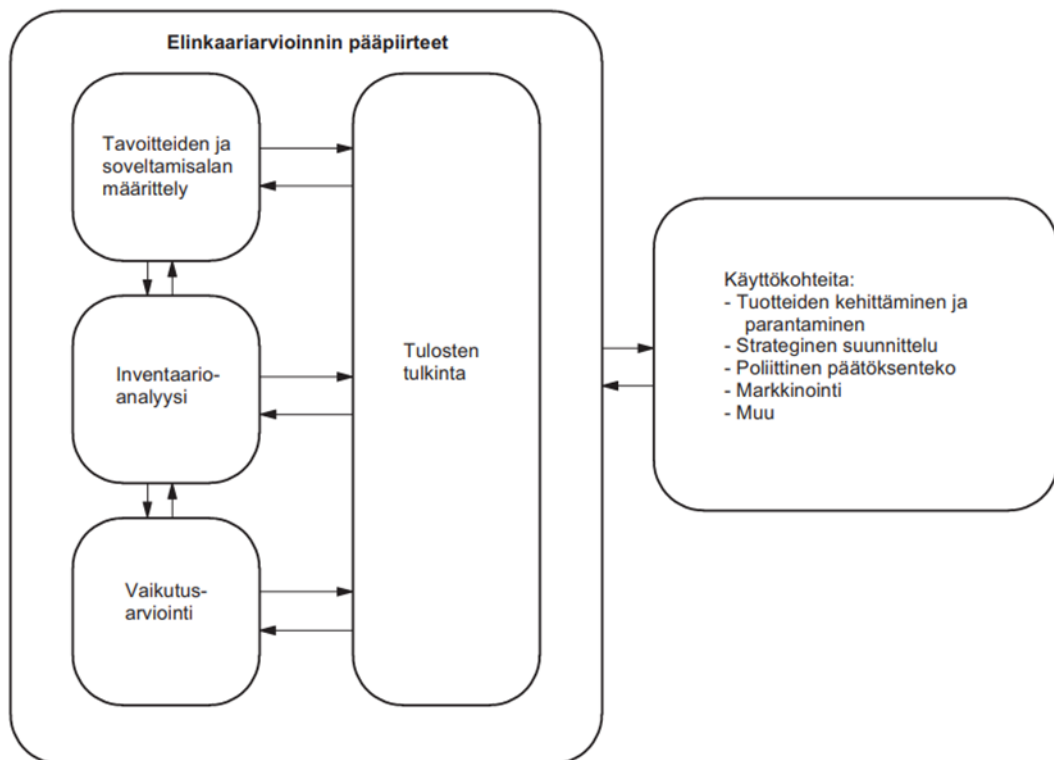
4 Elinkaariarviointi (LCA) ja ympäristöseloste (EPD)

4.1 Elinkaariarviointi (LCA)

Hiilensidontatoimien tehokkuuden ja kestävä kehityksen mukaisen toiminnan varmistamiseen käytetään usein elinkaariarviointia (Life Cycle Assessment, LCA). Elinkaariarviointi on tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten määrittämiseen kehitetty ISO-standardoitu menetelmä. Elinkaari käsittää palvelun tai tuotteen vaiheet ns. kehdestä hautaan, esimerkiksi tuotteen raaka-aineen hankinnan, prosessoinnin ja tuotannon, kuljetuksen kauppaan ja kuluttajalle, sen käytön ja lopulta kierrätyksen tai loppusijoituksen. (Suomen ympäristökeskus 2024.) Elinkaarianalyysin avulla tuotantoketjusta voidaan tunnistaa potentiaalisimmat vaiheet, joissa tuotteen tai palvelun ympäristösuorituskykyä voidaan parantaa. Arvioinnin laajuus ja yksityiskohtaisuus vaihtelee selvityksen tavoitteista ja rajauksesta riippuen. (SFS-EN ISO 14040:2006 + A1:2020, 7.)

Elinkaariarvioinnin aluksi määritetään tehtävän selvityksen tavoitteet ja soveltamisala aihetta ja käyttötarkoitusta vastaaviksi (kuva 2). Seuraavaksi suoritetaan inventaarioanalyysi, eli kerätään tietoa kohdejärjestelmän

panoksista ja tuotoksista. Kolmanneksi toteutetaan laskennallinen vaikutusarviointi, joka lisää ymmärrystä järjestelmän vaiheiden ympäristövaikutuksista. Lopuksi elinkaariarvioinnin tulokset kootaan yhteen ja niitä tulkitaan tavoitteiden ja soveltamisalan määrittämällä tavalla. Tulkinnoista tehtyihin johtopäätöksiin nojaten voidaan esittää suosituksia järjestelmän kehittämiseksi. (SFS-EN ISO 14040:2006 + A1:2020, 7.)



Kuva 2. Elinkaariarvioinnin pääpiirteet (SFS-EN ISO 14040, 16).

Saatuja tuloksia voidaan hyödyntää markkinoinnissa ja tuotteen ympäristöselosteen (Environmental Product Declaration, EPD) laadinnassa ja tuoda tietoa päätöksenteon tueksi esimerkiksi teollisuudelle, julkishallinnolle ja järjestöille. Ohjeet ja vaatimukset elinkaariarvioinnin tekemiseen löytyvät ISO 14044 -standardista. (SFS-EN ISO 14040:2006 + A1:2020, 7.)

4.2 EPD-ympäristöseloste

EPD-ympäristöseloste tarjoaa tietoa tuotteen tai tuoteryhmän ympäristövaikutuksista aina raaka-aineiden hankinnasta loppusijoitukseen saakka. Selostetta voidaan käyttää hiilensidonnassa tehokkuuden ja kestävyys todentamiseen. Ympäristöseloste perustuu elinkaariarviointiin, jonka koostamista ohjaavat standardit ISO 14025 ja EN 15804 (Sitowise 2024). Ympäristöselosteet julkaistaan valitun julkaisujärjestelmän, esimerkiksi suomalaisen RTS (Rakennustietosäätiö) EPD-järjestelmän, ruotsalaisen International EPD Systemin tai saksalaisen Institut Bauen und Umwelt e.V EPD:n kautta. Ennen julkaisua ympäristöseloste ja elinkaariarviointi verifioidaan ulkopuolisen asiantuntijan toimesta, jonka tulee olla valitun selostejärjestelmän hyväksymä. Verifiointin avulla voidaan todentaa ympäristöselosteen sisällön oikeellisuus ja asetettujen vaatimusten täytyminen. (Ecobio 2024.)

EPD-ympäristöseloste on alun perin kehitetty rakennusalan tarpeisiin, joten moni julkaisujärjestelmästä on erikoistunut juuri siihen. Osa järjestelmistä kuitenkin mahdollistaa myös muiden tuotteiden EPD:n julkaisun. Tällöin järjestelmään on luotu kyseisille tuotekategorioille omat tuoteryhmäsääntönsä (PCR = Product Category Rules). PCR määrittää yksityiskohtaisemmat säännöt elinkaariarvioinnin toteuttamiselle ja ympäristöselosteen sisällölle tuoteryhmän erityispiirteet huomioiden. (Ecobio 2024.)

5 Puro.earth Oy

5.1 Taustaa

Puro.earth on maailman ensimmäinen markkinapaikka, jossa käydään kauppaa ilmakehästä poistetulla hiilidioksidilla. Fortum perusti Puro startupina, 23 yrityksen yhteisenä pilottihankkeena vuonna 2019. Yritys perustettiin Suomessa mutta se toimii kansainvälisesti. (Fortum 2019.) Vuonna 2021 Fortum myi

enemmistön Puron osakkeista yhdysvaltalaiselle Nasdaq-pörssille (Fortum 2021).

Puro.earth tarjoaa sertifiointia luotettaviksi määrittelemilleen hiilenpoistotoimille. Yritys on kehittänyt Puro Standardin ohjaamaan sertifiointiprosessia ja varmistamaan hiilidioksidipoistojen eheyden. Puro myöntää sertifioiduilleen hiilenpoistotoimille sähköisiä CO₂-poistotodistuksia eli CORC:eja (CO₂ Removal Certificate), jotka kirjataan Puron rekisteriin. Rekisterissä CORC:ien kauppaa ja käytettyjen CORC:ien poistoa pystytään seuraamaan julkisesti ja läpinäkyvästi. (Puro.earth 2023a, 28.)

5.2 Puro Standardin kriteerit

5.2.1 Hiilivaraston pysyvyys

Puro Standardissa määritetään hiilivaraston pysyvyyden vähimmäiskestoksi 100 vuotta. Hiilivaraston pysyvyydellä tarkoitetaan aikaa, jonka sidottu hiili on poissa ilmakehästä. Varastoidun hiilen määrää laskettaessa otetaan huomioon varaston mahdollinen heikentyminen ajan saatossa, joten hyvitys myönnetään vain sille osuudelle, joka todennetusti pysyy varastoituna vähintään vaaditun ajan. Tällä pyritään välttämään tarve niin sanotulle puskurille ja varmistetaan CORC:ien todenmukaisuus ja luotettavuus. (Puro.earth 2023a, 32.)

5.2.2 Elinkaarianalyysi (LCA) ja nettonegatiivisuus

Hiilenpoistotoimien vaikuttavuutta arvioidaan elinkaarianalyysin avulla järjestelmällisesti ja kattavasti. LCA-työkalulla käydään läpi tuotteen tai prosessin koko elinkaari aina raaka-aineiden louhinnasta elinkaaren loppuun tai tuotteen hävittämiseen saakka ja lasketaan aiheutuneet kokonaispäästöt. Hiilenpoistoprosessissa sidotun ja varastoidun hiilen määrästä vähennetään nämä aiheutetut päästöt, jonka jälkeen tuloksen tulisi olla nettonegatiivinen. Nettonegatiivisuus tarkoittaa sitä, että hiilenpoistoprosessin tulee poistaa

ilmakehästä enemmän CO₂:ta kuin toiminnassa aiheutetaan. Vain jäljelle jäävä negatiivinen tulos hyväksytään laskettavaksi CORC:iin. (Puro.earth 2023a, 32–33.)

5.2.3 Hiilivuodon välttäminen

Hiilivuodolla tarkoitetaan ilmastotoimien aiheuttamaa hiilidioksidipäästöjen siirtymistä hillintätoimien alaisen alueen ulkopuolelle (Hiilikompensaatioinfo 2024). Puro Standardi edellyttää varmistamaan, ettei hiilen poistotoimista aiheudu päästöjen kasvua muilla maantieteellisillä alueilla markkinoiden tai muiden toiminnasta aiheutuvien muutosten vuoksi. Mikäli tällaista hiilivuotoa havaitaan, nämä siirtyneet päästöt vähennetään CORC:ien laskennassa. Mikäli vuodon taso ylittää standardin metodologiassa säädetyt rajat, projekti hylätään. (Puro.earth 2023a, 34.)

5.2.4 Täydentävyys

Hiilenpoistotoimien täydentävyydellä tarkoitetaan, että toimia ei olisi taloudellisesti kannattavaa toteuttaa ilman poistoyksiköiden myyntituloista saatavaa kannustinta (Hiilikompensaatioinfo 2024). Täydentävyydellä pyritään varmistamaan, että hyvitykset todella edustavat ylimääräistä CO₂-poistoa ja siten hillitsee ilmastonmuutosta. Täydentävyyden varmistamiseksi hiilenpoistotoimittajan on osoitettava, että lait, määräykset tai muut velvoitteet eivät edellytä projektia. Toiminnan on myös tuotettava suuremmat hiilipoistumat kuin todennäköiset perusvaihtoehdot. Taloudellinen täydentävyys edellyttää hanketta todistamaan, että hiilidioksidin poistumat ovat seurausta päästöhyvityksenä maksetuista CORC:eista. (Puro.earth 2024c, 2.)

5.2.5 Riskit minimiin, hyödyt maksimiin

Hiilenpoiston tulee tapahtua vastuullisesti ja kestävästi, se ei saa aiheuttaa haittaa ympäristön tai ihmisten turvallisuudelle. Puro käyttää erilaisia metodologiakohtaisia toimia kielteisten vaikutusten minimoimiseksi. Esimerkiksi ympäristövaikutusten arvioinnit, sidosryhmien kuuleminen sekä hankkeen ympäristötehokkuuden seuraaminen erityisten arviointijärjestelmien avulla. (Puro.earth 2023a, 34.)

Haittojen ehkäisyn lisäksi hyötyjen maksimointia pidetään tärkeänä. Vaikka CORC:ien laskennassa huomioidaan vain ja ainoastaan nettonegatiiviset hiilenpoistot, myös hiilenpoiston ohessa syntyviä lisäetuja pidetään arvossa. Esimerkiksi biohiili toimii pitkäaikaisen hiilivaraston lisäksi erinomaisena maanparannusaineena, lisää elintarviketurvaa ja tuottaa uusiutuvaa energiaa. Tällaiset lisähyödyt nähdään välttämättöminä paikallisten yhteisöjen, sijoittajien ja ostajien houkuttelemisessa ja julkisen tuen saamisessa hiilenpoistotoimille. (Puro.earth 2023a, 34.)

Toisinaan hiilenpoiston yhteydessä syntyy myös niin sanottua positiivista vuotoa, jolloin projektin ansiosta onnistutaan välttämään päästöjä, joita muutoin tapahtuisi. Vältettyjä päästöjä ei kuitenkaan sisällytetä CORC:ien arvojen laskentaan, vaan ne nähdään hankkeen lisähyötyinä. (Puro.earth 2023a, 34.)

5.3 Hyväksytyt menetelmät

Puro myöntää sertifikaatteja tällä hetkellä viidelle eri menetelmälle, jotka ovat:

Biohiili: Biohiilen tuotannossa biomassaa tai biojätettä käsitellään termokemiallisella menetelmällä nimeltä pyrolyysi. Tuloksena syntyy erittäin stabiilia kiinteää hiiltä, joka voi säilyä muuttumattomana maaperässä satoja tai tuhansia vuosia. Biohiiltä voidaan teollisissa määrissä käyttää moniin erilaisiin

tarkoituksiin, kuten maanparannuksessa, osana kasvihuoneiden kasvualustaa, sekä hule- tai jätevesien käsittelyssä. (Puro.earth 2024a.)

Puron vaatimuksia tukikelpoiselle biohiillelle: Käyttökohteiden on oltava sellaisia, että biohiilen hiiltä sitova ominaisuus säilyy. Sitä ei saa käyttää esimerkiksi polttoaine- tai pelkistyskäytössä. Biohiili on tuotettava kestävästä biomassasta, esimerkiksi jätebiomassoista tai muutoin kestävästi hankitusta biomassasta. Tuotteen nettonegatiivisuus on osoitettava elinkaariarvioinnin tuloksilla tai hiilijalanjäljellä. Elinkaariarviointi suoritetaan ISO 14040 ja ISO 14044 – standardien mukaisesti. Tuottajan on myös pystyttävä osoittamaan, että tuotantolaitoksen toiminnot eivät aiheuta merkittävää haittaa ympäröivälle luonnolle tai ihmisille. Tämä voidaan todentaa esimerkiksi Ympäristövaikutusten arvioinnilla (YVA). Puro Standardin Biochar Methodology -oppaasta löytyy laskentamenetelmä hiilidioksidin poiston kvantifioimiseksi. (Puro.earth 2024d, 2–4.)

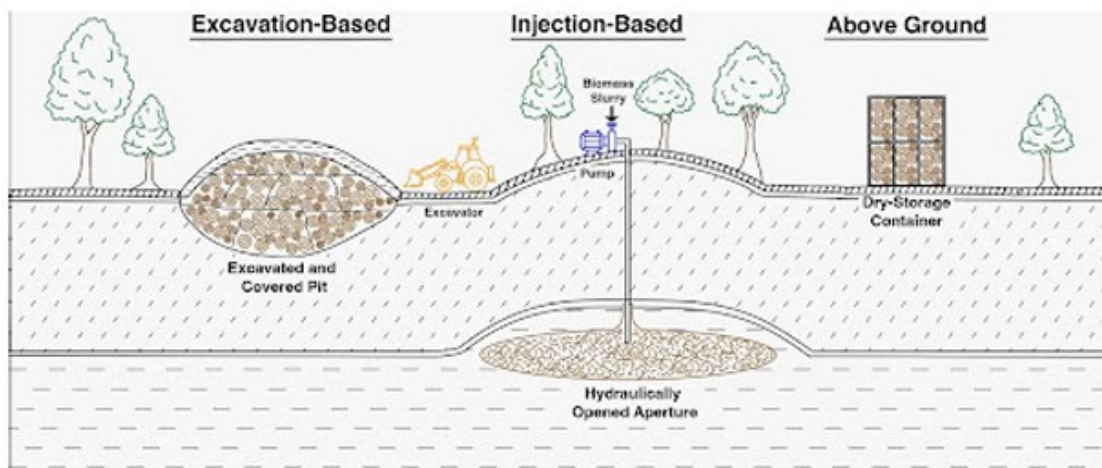
Biomassan maanpäällinen varastointi: Biomassa varastoidaan sellaisiin olosuhteisiin ja tekniseen tilaan, joissa se ei pääse hajoamaan eikä siten vapauta sitomaansa hiilidioksidia. Tällä hetkellä tukikelpoisella biomateriaalilla tulee olla jäykkä fysikaalinen rakenne, korkea ligniinipitoisuus ja sen C:N-suhteen (hiilen ja typen suhde) tulee olla vähintään 80. Nämä ominaisuudet takaavat biomassalle mahdollisimman hyvän vastustuskyvyn hajottajamikrobeja vastaan. Eniten käytetty biomassaa on puupohjaista, joskin eri puulajien hajoamisominaisuuksissa on eroja, mikä tekee toisista lajeista paremmin soveltuvia varastointiin. (Puro.earth 2023b, 7–9.)

Biomassan varastointiin on tarjolla tällä hetkellä kolme eri menetelmää (kuva 3):

1. Maanpäälliset varastointikammiot: ovat katettuja rakenteita, jotka on suunniteltu pitämään tilan suhteellinen kosteus alhaisena ja suojaamaan biomassaa hajoamista edistäviltä tekijöiltä kuten UV-säteilyltä ja tuholaisilta.

2. Maanalaiset varastointikammiot: ovat rakennettuja ja katettuja varastokuoppia, joihin voidaan luoda joko hapeton, tai kuiva ja happipitoinen ympäristö.
3. Ruiskutus maan alle: biomassaa sisältävä liete ruiskutetaan kerrokseksi maan alle. Varastokammiota ei rakenneta, vaan se muodostuu itse ruiskutusprosessissa. Varastointi tapahtuu hapettomassa tilassa, eikä vaadi aktiivista huoltoa.

(Puro.earth 2023b, 11.)

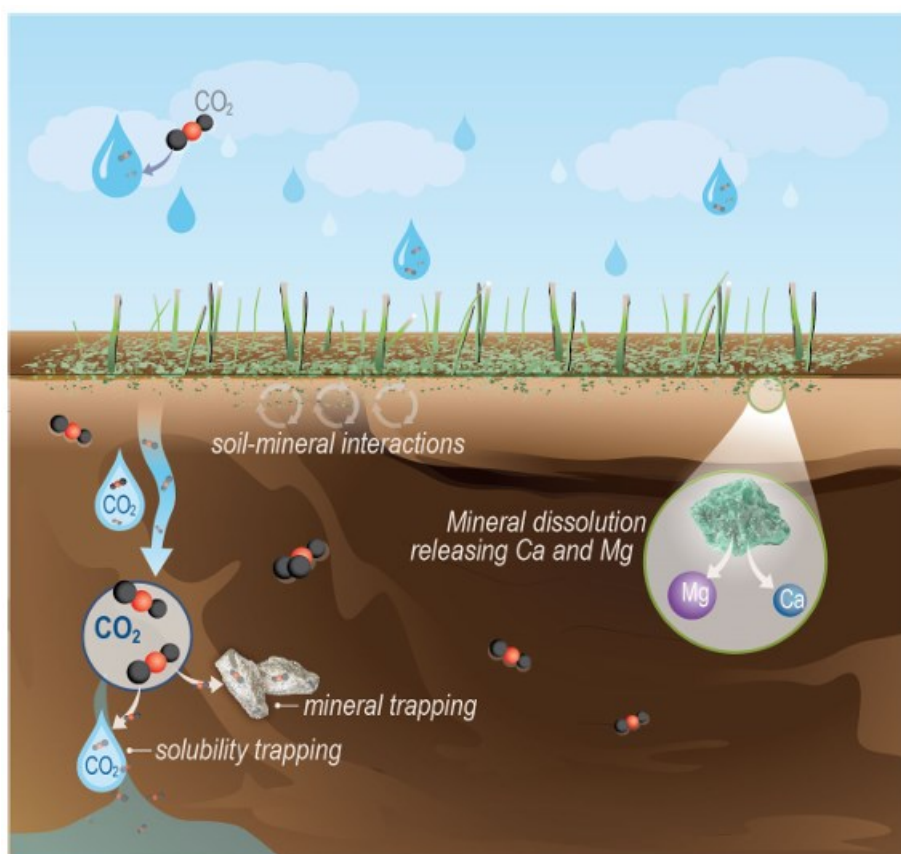


Kuva 3. Biomassan maanpäällisen varastoinnin menetelmiä (Puro.earth 2023b, 10).

Hiilihapotetut materiaalit: Teollisuuden sivutuotteita ja jättemateriaaleja, kuten kaivosjätteiden teräskuonaa ja emäksisiä vesiä voidaan käyttää hiilen sidontaan hiilihapotuksen avulla. Metallihydroksidit ja -oksidit (esim. CaOH , MgOH , CaO , MgO) reagoivat CO_2 :n kanssa mineralisoituen ja muodostaen karbonaattimineraaleja (esim. CaCO_3 , MgCO_3), joihin hiili sitoutuu ja varastoituu pitkäaikaisesti. Lisähyötynä menetelmä voi muuttaa teollisuuden ympäristövaikutuksia. (Puro.earth 2024a) (Puro.earth 2022a.)

Kivimateriaalin karbonisointi (Enhanced rock weathering): Kallion tai muun kivimateriaalin rapautuessa tapahtuu luontaisesti hiilidioksidia sitova prosessi, jota kutsutaan kemialliseksi rapautumiseksi (kuva 4). Hiilidioksidi sitoutuu ilmakehässä oleviin sadepisaroihin, päättyy sateen mukana maahan ja joutuu

kosketuksiin kivimateriaalien kanssa, jolloin se reagoi ja liukenee kivien sisältämiin mineraaleihin vapauttaen samalla maahan emäskationeja (esim. Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+). Kemiallisten reaktioiden vaikutuksesta hiilidioksidi muuttuu stabiilimpaan muotoon, kuten bikarbonaateiksi ja karbonaateiksi, jolloin se ei enää pääse vapautumaan ilmakehään. Tämän luonnonilmiön on arvioitu poistavan hiilidioksidia ilmakehästä noin 1,1 Gt verran vuodessa. (Puro.earth 2022b, 11.)



Kuva 4. Maaperässä tapahtuvan kemiallisen rapautumisen kuvaus. (Puro.earth 2022b, 11).

Enhanced Rock Weathering (ERW) -menetelmällä pyritään nopeuttamaan luontaista rapautumisprosessia ja karbonatisoitumisen myötä tapahtuvaa hiilen sitoutumista. Maaperään levitetään soveltuvia materiaaleja, kuten silikaattimineraaleja sisältävää kivijauhetta tai betoninmurskettä lisäämään mineraalien reaktiivista pinta-alaa, jolloin niiden liukeneminen ja CO₂:n poistuminen nopeutuu. Lisähyötynä kivimurskeen käyttö maatalousmaalla voi lisätä satoa. (Puro.earth 2022b, 12, 14.)

Geologisesti varastoitu hiili: Menetelmään sisältyy sekä suoraan ilmasta hiilidioksidia ottava prosessi Direct Air Capture (DAC) sekä bioenergian hiilen talteenotto Bioenergy Carbon Capture Storage (BECCS). Talteen otettu hiili varastoidaan ruiskuttamalla se maan alle, syviin geologisiin muodostumiin. Puron menetelmässä hyväksytään hiilidioksidin talteenotto suoraan ilmasta tai bioenergianlähteistä, mutta ei fossiilisista polttoaineista. (Puro.earth 2024a.)

5.4 Sertifiointiprosessin kulku

Hiilenpoiston sertifiointiprosessin tarkoituksena on varmistaa markkinoitavien hiilenpoistotoimien luotettavuus ja läpinäkyvyys. Puro Standardi ohjaa prosessin kulkua ja sisältöä. Se määrittää kriteerit hiilenpoistolle, metodologian hyväksynnälle, riippumattomalle todennukselle ja CORC:ien myöntämiselle. (Puro.earth 2023a, 31.)

Sertifiointin hakemisen ensimmäisessä vaiheessa hahmotellaan sertifiointia hakevan hiilenpoistoprosessin mittaus-, raportointi-, todentamis-, ja sertifiointimenetelmät, sekä hiilensidonnan kestävyys, lähtötilanteeseen, taloudelliseen täydentävyyteen ja sosiaalisiin sekä ympäristönsuojelullisiin vaikutuksiin liittyvät kriteerit. Hakijan tulee toimittaa Purolle tuotteen tai prosessin elinkaariarviointi tai ympäristötuoteseloste, joka todistaa, että tuotannossa sidotaan ilmakehästä enemmän hiilidioksidia kuin aiheutetaan. Menetelmästä riippuen myös laboratoriopohjaisia todisteita saatetaan tarvita. Ensimmäisen vaiheen läpäistäkseen prosessin on noudatettava Puro Standardin määrittämiä sääntöjä ja tulla Puron neuvottelukunnan hyväksymäksi. (Puro.earth 2023a, 31.)

Puron kouluttamat riippumattomat ja puolueettomat tarkastajat varmentavat annettujen tietojen oikeellisuuden ja tekevät tarkastuslausunnon. Tarkastuksessa varmistetaan toiminnan nettonegatiivisuus ja Puro Standardin metodologian mukaisten vaatimusten noudattaminen. Puro maksaa tarkastuksen kustannukset riippumattomuuden varmistamiseksi. Kolmannen

osapuolen suorittaman tarkastuksen jälkeen todistuksen myöntävä taho suorittaa toisen tarkastuksen. (Puro.earth 2023a, 31.)

Kun hiilenpoistoprosessi on läpäissyt monivaiheiset tarkastukset ja validoinnit niin suunnitelman kuin toteutuksenkin osalta, toimijalle myönnetään todennettuja hiilenpoistotoimintoja vastaava määrä CO₂-poistotodistuksia eli CORC:eja. Yksi CORC edustaa yhtä sidottua ja varastoitua hiilidioksiditonnia. CORC:t kirjataan Puro-rekisteriin, joka toimii Puro Standardin mukaisten hiilenpoistotoimintojen keskustietokantana mahdollistaen prosessin seurannan ja todentamisen. Myös CORC:ien omistajanvaihdokset ja käytöstä poistot kirjataan rekisteriin kaksoislaskennan välttämiseksi. Hiilenpoiston toimittaja ei ole sidottu markkinoimaan CORC:ejaan vain Puron ylläpitämällä markkinapaikalla, vaan voi vapaasti käydä kauppaa missä tahansa, käyttää välittäjää tai myydä suoraan yrityksille. (Puro.earth 2024b.)

6 Järviruoko

Järviruoko (*Phragmites australis*) kasvaa yleisenä Suomen ja koko Itämeren alueen rannoilla, matalissa vesissä ja ojissa. Se on monivuotinen ruohovartinen kasvi, joka kasvaa 1–3 metriä korkeaksi, erityisen otollisissa olosuhteissa jopa nelimetriseksi. Järviruokolla on pitkät, kapeat ja teräväreunaiset lehdet, ja sen kukinto on ruskeanvioletti, myöhemmin ruskeanharmaa isokokoinen röyhy. Kasvin ontto korsi on sileä ja monisolmuinen, juuristo pitkä ja haarova. Lisääntyminen tapahtuu sekä siementen että juurakon kautta. (Luontoportti 2024.)

Järviruovikot vetävät puoleensa hyönteisiä ja tarjoavat runsaasti pesintäpaikkoja, ollen siten merkityksellinen elinympäristö monelle lintulajille. Myös kalat kutevat ruovikoissa, jollei kasvusto ole liian tiheää. Järviruokosta on kuitenkin aiheutunut monin paikoin myös ongelmia sen vallatessa meren- ja järvenrannat laajoilla monotonisilla kasvustoillaan. Syynä kasvustojen nopeaan runsastumiseen on muun muassa vesistöjen rehevöityminen sekä

rantalaidunnuksen lopettaminen. (Luontoportti 2024.) Tiheän ruovikon levitessä laajoille alueille se tukahduttaa avoimet elinympäristöt ja niihin sopeutuneet lajit, sekä hidastaa veden virtausta. Järviruoko aiheuttaa metaanipäästöjä ja kuluttaa happea rantavedestä ruo'on mädätessä. Orgaaninen aines kertyy järven pohjaan edistäen rantojen umpeenkasvua. Toisaalta ruovikko myös pidättää kiintoainesta, sitoo itseensä ravinteita ja lisää happea pohjasedimenttiin, sekä vähentää pohjan ravinteiden vapautumista. (Ely-keskus 2023.)

Järviruo'on niitolla ja poistolla voidaan kohentaa veden laatua ja alueen biodiversiteettiä. Poistettavaa kasvustoa taas voidaan hyödyntää monin tavoin, esimerkiksi karjanrehuna, rakennusmateriaalina, käsitöissä, energian ja biokaasun tuottamiseen, biohiiletykseen, maanparannusaineena ja katteena, sekä turvetta korvaavana kasvualustana. (Ely-keskus 2023.)

7 Kosteikkoviljely

Kosteikkoviljely on maankäyttömuoto, jolla voidaan saada aikaan päästövähennyksiä, lisätä luonnon monimuotoisuutta ja vähentää turvemaiden ojitukseen liittyviä ympäristövaikutuksia. Lisäksi kosteikolla viljeltäviä kasveja voidaan hyödyntää esimerkiksi energiakasveina, teollisuuden raaka-aineena, ihmisten ja eläinten ravintona sekä lääkekasveina. Kosteikkoviljelyyn soveltuvia kasveja ovat esimerkiksi järviruoko, ruokohelpi, osmankäämi, mesiangervo, lakka ja kihokki. (Ympäristökioski 2024.)

Kosteikkoviljelyyn voidaan valjastaa muun muassa heikkotuottoisia ja huonokuntoisia peltoja, kunhan maan märkyys ja turvekerroksen paksuus ovat riittävät. Mitä paksumpi kerros turvetta, sitä suuremmat ja kestävämmät päästövähennykset viljelyllä voidaan saavuttaa. Kosteikkoviljelmää perustettaessa pohjaveden pinta nostetaan takaisin luonnolliseen korkeuteensa eri menetelmien avulla, esimerkiksi patoamalla ojat sulkua- ja padotusventtiileillä, säätökaivoilla, kaivamalla alavalla maalla sijaitsevan kohteen ympärille valleja, tai johtamalla alueelle lisää vettä ympäröiviltä alueilta (Miettinen & Saarnio

2023). Kosteikkoviljelyssä on huolehdittava, ettei se aiheuta haittaa viereisille pelloille, eikä sitä varten saa myöskään raivata uusia turvepeltoja. (Ympäristökioski 2024.)

8 Kasvualustat

Kasvualustat ovat orgaanisista tai epäorgaanisista materiaaleista koostuvia seoksia, joissa kasvatetaan kasveja ja sieniä. Niitä käytetään ammattimaisessa viljelytoiminnassa, maisemoinnissa ja harrastepuutarhoissa. Wageningen University & Research:n tutkimuksen mukaan kasvualustojen kysyntä tulee nelinkertaistumaan maailmanlaajuisesti seuraavien vuosikymmenten aikana. Kasvualustamateriaalia tarvitaan kasvavan väestön elintarviketuotannon turvaamiseksi myös tulevaisuudessa, samalla kun saatavan sadon tulisi kasvaa yhä suuremmaksi suhteessa viljeltävän alueen pinta-alaan. Myös kaupungistumisen myötä erilaisten puistojen ja viheralueiden tarpeet kasvualustamateriaaleille kasvavat. (Growing Media Europe 2020, 2–3.)

8.1 Kasvuturve

Turpeen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet sekä laaja saatavuus ovat tehneet siitä maailman laajimmalle levinneen ja eniten käytetyn kasvualustamateriaalin. Lähes 90 % Euroopan ammattimaisista puutarhaviljelijöistä käyttää turvepohjaisia kasvualustoja. (Turveinfo 2024.)

Turpeella on ollut ja on edelleen merkittävä rooli myös polttoaineena erityisesti suomalaisessa energiantuotannossa. Turpeen poltto aiheuttaa kuitenkin runsaasti päästöjä suhteessa tuottamaansa energian määrään. Esimerkiksi vuonna 2018 turpeen poltto aiheutti 11,7 % kaikista Suomen kasvihuonekaasupäästöistä, noin 6,6 Mt. Kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi turvetuotanto aiheuttaa suoluonnolle peruuttamatonta haittaa, sekä kuormittaa vesistöjä kiintoaineella, ravinteilla, humuksella ja happamoittamalla. Suomen

hiilineutraaliustavoitteiden myötä turpeen poltosta onkin perusteltua luopua mahdollisimman pian. (Sitra 2020, 6–7.)

Nostetusta turpeesta noin 90 % menee polttoon ja 10 % niin sanotuksi ympäristöturpeeksi, kuten kasvualustoiksi ja eläinten kuivikkeiksi.

Energiantuotantopuolella turpeelle on jo tarjolla useita kustannustehokkaita vaihtoehtoja ja uusia odotetaan syntyvän teknologioiden kehittyessä. Myös kasvuturpeelle on alettu etsiä ja kehittää ilmastoystävällisempiä vaihtoehtoja. (Sitra 2020, 6–7.) Turpeettomien kasvualustojen materiaaleina käytetään muun muassa kookoskuitua, kompostia, puukuitua, puun kuorta, kivivillaa, rahkasammalta, ruokohelpeä, järviruokoa ja biohiiltä (Sallinen-Uusoksa 2023, 12).

8.2 Järviruokokasvualustan ominaisuudet

Tarkastelun kohteena oleva Mato ja Multa Oy:n tuottama Ruokogrow-ruokomulta koostuu 100 % järviruokosta ja sisältää valmistajan mukaan jopa 50 % hiiltä. Tuotetiedoissa (taulukko 1) ilmenevät ravinnepitoisuudet, typpi, fosfori ja kalium ovat sitoutuneet tuotteeseen vesistöistä. (Ruokogrow 2024.)

Tuotetiedot		
pH	6,5	
Johtokyky	4,9	mS / m
Orgaaninen aines	74,6	%
Kosteus	75,1	%
Karkeus	<20	mm
Tilavuuspaino	520	kg / m ³
Vesiliukoinen typpi (N)	270	mg / kg kuiva-ainetta
Liukoinen fosfori (P)	63	mg / kg kuiva-ainetta
Liukoinen kalium (K)	640	mg / kg kuiva-ainetta

Taulukko 1. Järviruokokasvualustan tuotetiedot (Ruokogrow 2024).

Kasvualustan tuotanto tapahtuu pääasiassa Kiteellä ja Haminassa. Materiaali koostuu tällä hetkellä luonnollisesti vesistöissämme kasvaneesta järviruo'osta. Järviruoko niitetään pääasiassa kesäaikaan, mutta osittain myös talvella. Niitetty ruokomateriaali kuljetetaan avoumaan, jossa se saa maatua noin vuoden ajan. (Ruokogrow 2024.)

Yrityksen järviruokomateriaali tullaan tulevaisuudessa hankkimaan kosteikkoviljelyn kautta, mikä lisää tuotantovarmuutta, helpottaa sadonkorjuuta ja kasvattaa prosessin hiilensidontapotentiaalia, kun ojitetut turvepellot vetetään uudenlaiseen viljelykäyttöön. Tällä hetkellä Mato ja Multa Oy on mukana Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) koordinoimassa ACE-hankkeessa, jonka toimijat koostuvat laajasta julkishallinnon, tutkimuslaitosten, yritysten ja säätiöiden verkostosta. Hankkeen tarkoituksena on tukea Suomea EU:n ilmastovelvoitteiden täyttämässä, painottuen erityisesti maatalouden, raskaan liikenteen ja teollisuuden prosessien osuuteen. Kosteikkoviljelyn arvoketjujen kehittäminen on yksi osa hanketta. Hanke laatii myös ehdotuksia ja työkaluja Suomen politiikkatoimien ja ilmatorahoituksen tehostamiseksi. (Luonnonvarakeskus 2023.)

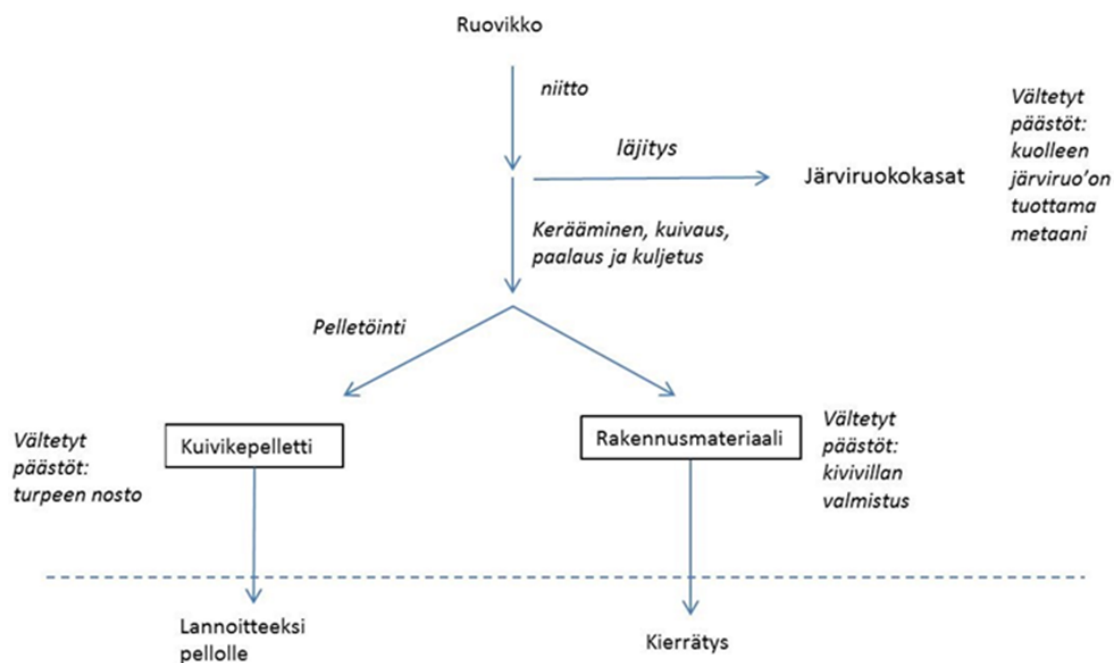
Koska Ruokogrow-kasvualustan tuotantoprosessi tulee toiminnan kasvaessa ja kosteikkoviljelyyn materiaaliin siirtymisen myötä muuttumaan ja kehittymään, siitä ei ole tällä hetkellä saatavissa tarkkoja prosessitietoja. Siksi tässä työssä tuotteen elinkaari hahmotellaan aiemmin tehtyihin tutkimuksiin pohjautuen.

8.2.1 Niitetyn järviruo'on elinkaariarviointi

Suomen ympäristökeskuksen (Myllyviita ym. 2015) julkaisemassa raportissa "Järviruo'on niittäminen ja hyötykäyttö" arvioidaan "Järviruoko energiaksi, vesien tila paremmaksi Pohjois-Karjalassa (JÄREÄ)" -hankkeen tuloksia. Hankkeen tavoitteena oli parantaa vesistöjen ja ympäristön tilaa sekä edesauttaa järviruokoon liittyvää yrittäjyyttä ja työpaikkoja. Hanke toteutti useita niittoja kolmella Pohjois-Karjalassa sijaitsevalla järvellä. Raportissa arvioidaan niittämisestä aiheutuvia ympäristövaikutuksia ja niitetyn massan hyötykäyttöä

elinkaariarvioinnin keinoin, sekä toiminnan taloudellisia ja sosiaalisia vaikutuksia. (Myllyviita ym. 2015, 7.)

Elinkaariarvioinnin toiminnallisena yksikkönä raportissa käytetään niitettyä hehtaaria. Niitetyn järviruokomassan hyödyntämismahdollisuuksina tutkimuksessa analysoidaan kuvan 5 esittelemät kolme eri vaihtoehtoa: läjitys ja kompostointi, kuivikepelletti hevostalleille ja järviruokopaneeli (seinäeriste) rakennusmateriaaliksi. (Myllyviita ym. 2015, 11–12.) Tämän työn kannalta kiinnostavinta on läjitykseen ja kompostointiin johtavan prosessin elinkaariarviointi, sillä se voisi vastata kasvualustaksi valmistettavan ruokomassan käsittelyä.



Kuva 5. Elinkaariarvioinnissa tarkastellut niitetyn järviruokomateriaalin hyödynnysvaihtoehdot. (Myllyviita ym. 2015, 12.)

Tutkimuksen järviruokoketjujen arvioinnissa on käytetty seurausvaikutuksellista elinkaariarviointia, eli tuotteen valmistuksesta aiheutuvat vaikutukset on huomioitu kokonaisuudessaan, myös toiminnan ansiosta vältetyt päästöt. Esimerkiksi metaanipäästöt, jotka jäävät syntymättä, kun ruokomassa niitetään ja kerätään pois sen sijaan, että se jäisi järveen mätänemään. (Myllyviita ym. 2015, 14.)

8.2.1.1 Elinkaariarvioinnin lähtötiedot

Elinkaarilaskennassa järviruo'on niittoajankohdaksi on valittu kesä, sillä silloin ruoko on erityisen ravinteikasta. Niittokoneena on käytetty truksoria, jonka päästöt, polttoaineen kulutustiedot ja niittoon tarvittavien laitteiden valmistuksen ympäristövaikutukset on arvioitu Ecoinvent-, ja Lipasto-tietokannoista löytyvien tietojen perusteella. Ruokomassan läjitys ja kompostointi tapahtuvat esimerkissä lähellä rantaa. Järviruokokasojen kompostoitumisen päästöt on arvioitu kotitalousjätteen päästöjen mukaisiksi, sillä niistä ei ole ollut saatavilla tutkimustietoa. Raportissa huomautetaan, että metaanipäästöissä voi esiintyä vaihtelua ruokokasojen happipitoisuudesta, muodosta ja kosteudesta riippuen. (Myllyviita ym. 2015, 12.)

Elinkaarilaskelmissa kuolleen ruovikon metaanipäästöt on arvioitu hyödyntäen Bergströmin ym. (2007) tutkimustuloksia, jotka käsittelevät rehevän, osittain kuolleen ruovikon metaanipäästöjä. (Myllyviita ym. 2015, 15.) Taulukossa 2 on listattu raportin elinkaarilaskennassa käytetyt päämuuttujat.

Muuttujan nimi	Laskennoissa käytetty oletus	Lähde	Vaikutusarviointi
Niitto			
Niittomassa	5 000 kg/ hehtaari	JÄREÄ hanke	
Niittotehokkuus	0,5 ha / h	JÄREÄ hanke	
Polttoaineen kulutus	1,7 kg / h	JÄREÄ hanke	Ecoinvent-tietokanta
Niittomassan ominaisuudet			
fosforipitoisuus	0,009 % ka	Vitie 2009	
typpipitoisuus	0,1 % ka	Vitie 2009	
hiilipitoisuus	49 % ka	Vitie 2009	
Kuolleen ruokomassan päästöt			
metaanipäästöt	42 kg / 1 000 kg kuollutta ruokoa	Bergström ym. 2007	
Järviruokotuotteiden korvaamat tuotteet			
kivivilla	1 kg järviruokoa korvaa 0,7 kg kivivillaa	Mattila ym. 2012	Ecoinvent-tietokanta
turve	1 kg järviruokopellettejä korvaa 2 kg turvetta	Hajautetut biojalostamot-hanke	Ecoinvent-tietokanta, Grönroos ym. 2013 (ilmastonmuutos)

Taulukko 2. Järviruo'on niittämisen tärkeimpiä muuttujia (Myllyviita ym. 2015, liite 1.).

8.2.1.2 Elinkaariarvioinnin tulokset ja epävarmuustekijät

Elinkaariarvioinnin tuloksena todetaan, että tarkasteltujen järviruokoketjujen suurimmat ympäristövaikutukset tapahtuvat niittovaiheessa. Niittämisen ansiosta kasvihuonekaasupäästöjen nähtiin vähenevän 4860 hiilidioksidiekvivalenttia hehtaaria kohden ja fosforin 4 kg hehtaaria kohden. Kasvihuonekaasupäästöjen ja vesistön rehevöitymisen väheneminen ovatkin niittämisen ympäristöhyödyistä merkittävimpiä. Hiilijalanjäljen kannalta koko elinkaaren vaikuttavin muuttuja on järvessä lahoavan kuolleen ruokomassan aiheuttamat metaanipäästöt silloin, jos ruovikkoa ei niitetä. Luonnontilassa kuollut järviruokokasvusto muodostaa suuria lauttoja, jotka hapettomissa olosuhteissa tuottavat erityisesti metaania. Kuitenkin todetaan, että on epäselvää, missä määrin kuollut ruoko muodostaa metaania. (Myllyviita ym. 2015, 16–18.)

Järviruo'on niittoon liittyy useita muitakin epävarmuustekijöitä. Niittämisen vaikutus ruovikon kasvuun niittoa seuraavana vuonna on epäselvää. Monissa tapauksissa niittämisen on todettu lisäävän seuraavan vuoden kasvua noin 10 %, mutta on myös mahdollista, että niitetty ruovikko ei uusiudu. Järviruoko kuljettaa tutkitusti metaania sedimentistä ilmakehään, mutta samalla se vie myös happea sedimenttiin, mikä voi parantaa pohjasedimentin happipitoisuutta vähentäen siten metaanin muodostumista ja fosforin liukenemistä. Ruovikon niittämisen on eräässä tutkimuksessa todettu vauhdittavan järviruo'on metaanipäästöjä, mutta mittauksen lyhytkestoisuuden takia vaikutuksen pysyvyydestä ei ole tietoa. Nämä epävarmuustekijät on jätetty kyseisen elinkaaritarkastelun ulkopuolelle tutkimustiedon puutteellisuuden vuoksi. Ruovikon niiton vaikutus metaanipäästöihin voi vaihdella myös sen mukaan, katkaistaanko ruoko vedenpinnan ylä- vai alapuolelta. Koska Suomessa on tavallisempaa niittää ruovikko vedenpinnan yläpuolelta, on tämä tapa valittu myös elinkaarilaskelmassa käytettäväksi menetelmäksi. Mikäli niitto suoritetaan vedenpinnan alapuolelta, sen hiilijalanjälki saattaa erota raportissa esitellyistä tuloksista. (Myllyviita ym. 2015, 18–19.)

Yhteenvedona todetaan, että järviruo'on niittämällä on ilmastonmuutosta ja rehevöitymistä hidastavia vaikutuksia. Jo pelkästään niitetyn ruokomassan läjittämisen muodostama lyhytaikainen hiilivarasto pienentää ilmastonmuutosvaikutuksia enemmän kuin niitosta aiheutuvat päästöt sitä kasvattavat. Niittomassan käyttö ympäristölle haitallisempien tuotteiden, kuten turpeen tai mineraalivillan, korvaajana tuo luonnollisesti lisää ympäristöhyötyjä. Niitetyn järviruo'on hiilijalanjäljen määrittäminen todetaan kuitenkin erittäin haasteelliseksi lukuisten ja huomattavien epävarmuustekijöiden sekä järviökosysteemin monimutkaisten prosessien ja puutteellisten tutkimustulosten vuoksi. Aiemmat elinkaariarviointit ovat käsitelleet etupäässä energiankulutuksen ja raaka-aineiden käytön vaikutuksia, kun taas ekosysteemiin keskittyvistä tutkimuksista on pulaa. (Myllyviita ym. 2015, 19, 26.)

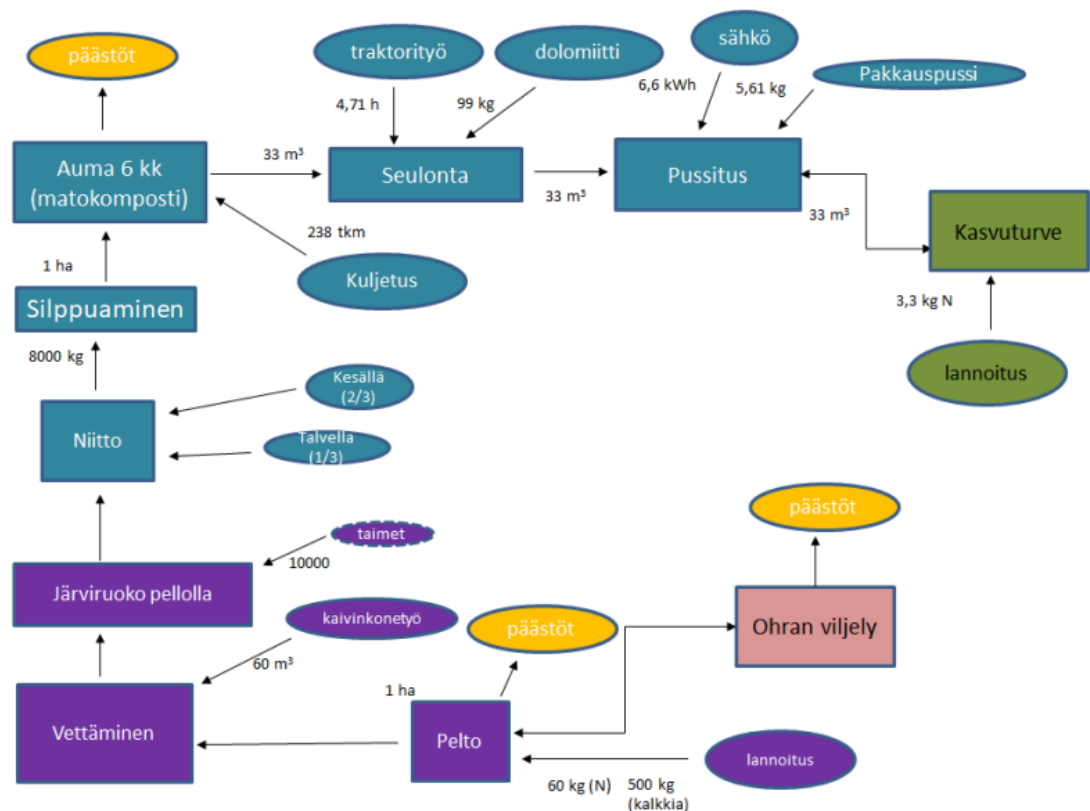
8.2.2 Kosteikkoviljelyn järviruokokasvualustan elinkaariarviointi

Helsingin yliopiston metsätieteiden tiedekunnassa 2020 valmistunut maisterintutkielma aiheesta "Kosteikkoviljely ja siihen sopivien tuotteiden elinkaariarviointi" tarkastelee kosteikkoviljelyn järviruokopohjaisen (*Phragmites australis*) kasvualustan ja osmankäämistä (*Typha latifolia*) valmistettavan eristelevyn elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä (Lahtinen, 2020, 5). Tutkielman tarkoituksena on tuotteiden hiilijalanjäljen laskemisen lisäksi niiden elinkaaren aikaisten keskeisimpien päästölähteiden tunnistaminen sekä turvepeltojen päästövähennysmahdollisuuksien kartoittaminen.

Järviruokopohjainen kasvualusta ja osmankäämieristelevy on valittu tarkasteluun, koska niillä nähdään potentiaalia suuren mittakaavan tuotantoon. Elinkaariarvioinnista saatavia tuloksia verrataan yleisesti käytössä oleviin vastaaviin tuotteisiin, kivivillaeristelevyyn ja kasvuturpeeseen. Tutkimuksen kosteikkoviljelyalue on perustettu ohran viljelyyn käytetylle turvepellolle, josta ohran viljely siirretään kivennäismaalle. Materiaalin arvioinnissa on käytetty ISO 144040 standardin mukaista elinkaariarviointimenetelmää, mutta tulosten analyysi on rajattu ilmastovaikutuksiin. (Lahtinen 2020, 13.)

8.2.2.1 Elinkaaren vaiheet ja lähtötiedot

Lahtisen (2020) tutkimuksessa järviruokokasvualustan tuotejärjestelmä (kuva 6) kuvattiin seuraavasti: Kosteikkoviljelyyn aiottu peltoala muokataan kaivinkonetyönä, lannoitetaan ja vetetään säätämällä vedenpinta sopivalle tasolle, tässä tapauksessa 20 cm maanpinnan alapuolelle. Tämän jälkeen pellolle istutetaan kasvihuoneessa kasvatetut järviruoko-¹on taimet, joita oli laskettu tarvittavan hehtaarille noin 10 000 kpl. (Lahtinen 2020, 28–29.)



Kuva 6. Järviruokokasvualustan elinkaaren vaiheet ja niiden väliset tuotevirrat (Lahtinen 2020, 28).

Ensimmäinen sadonkorjuu päästään tekemään kosteikolla kolmen vuoden kuluttua istutuksesta, tämän jälkeen suoritetaan vuosittain kesä- ja talviniitto. Korjuussa poistuvien ravinteiden korvaamiseksi pelto lannoitetaan vuosittain uudelleen. Korjuussa käytetään niittokonetta, tarkkuussilppuria sekä traktoria ja peräkärryä kuljetukseen. Kuljetusmatkaksi on oletettu yhteensä 30 km. Satotason mediaaniarvo 8000 kg ha/vuosi. Niitetty järviruoko silputaan ja

kuljetetaan matokompostiin kuuden kuukauden ajaksi, jonka jälkeen massa seulotaan ja kalkitaan. Kompostissa käytetään kompostilieroja (*Eisenia fetida*), joita ei tarvitse lisätä alkulisäyksen jälkeen, sillä ne kierrätetään takaisin seulontaprosessista. Kompostoidun ruokosilpun seulonnassa käytetään sähkömoottorikäyttöistä hihnakuljetinta ja traktorikäyttöistä seulaa. Seulonnan yhteydessä kasvualusta lannoitetaan dolomiittikalkilla suhteella 3 kg/m³ ja lisätään hiekkaa 1,5 %. Seulottu ja kalkittu järviruokomassa on valmista pakattavaksi. Pakkausmateriaalina käytetään 40 litran polyeteenipussia, jonka massaksi arvioidaan 0,17 kg. Pussittamiseen kului sähköä 0,2 kWh. (Lahtinen 2020, 29–31.) Tutkimuksessa käytetyt prosessivaiheiden lähtötiedot taulukoituna taulukossa 3.

Prosessivaihe	Prosessi	Tuotantopainokset	Päästöt kg		
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Ruovikon perustaminen	vettäminen				
	kaivinkonetyö	m ³	0,53	0,0005	0,00002
	taimet	10000			
	niitto	ha	24,95	0,04	0,0008
	lannoitus:				
	typpi	60 kg	2,17	0,004	0,02
	kalkki	500 kg	0,003	0,000007	0,0000001
Ruo'on tuotanto	kesä tuotanto	5333,33	-2511,5	381,5	
	talvi tuotanto	2666,67			
	silppuaminen	241 kg	22,61	0,04	0,0008
	matokomposti	m ³		0,012	0,055
Seulonta	traktoriyö	7 m ³	24,27	0,04	0,001
	dolomiitti	21 kg	0,03	0,00006	0,000001
Pussitus	pakkauspussin valmistus	0,17 kg	2,44	0,02	0,00003
	sähkö	0,2 kWh	0,35	0,001	0,00002

Taulukko 3. Järviruokokasvualustan prosessivaiheiden lähtötiedot (Lahtinen 2020, 32).

Koska tutkimuksessa järviruokokasvualusta korvaa turvepohjaisen kasvualustan, myös turvepohjaisen kasvualustan päästöt (taulukko 4) on huomioitu. Kasvuturpeen hajoamisen CO₂-päästöt ja kalkitsemisen CO₂-päästöillä on laskettu yhteensä 120 kg suuruisiksi. Turvekasvualustan valmistuksesta CO₂-päästöjä oli arvioitu muodostuvan yhteensä 161,33 kg. (Lahtinen 2020, 33.)

Prosessivaihe	Prosessi	Tuotantopa- nokset	Päästöt kg		
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Kasvuturve	kasvuturve	m ³	120 kg		
	turvepohjaisen kasvualustan valmistus	m ³	161,33		

Taulukko 4. Turvekasvualustan päästötiedot (Lahtinen 2020, 33).

8.2.2.2 Elinkaariarvioinnin tulosten yhteenveto

Järviruokopohjaisen kasvualustatuotteen yhteenlasketuiksi hiilidioksidipäästöiksi oli saatu -30 378 kg, metaanipäästöiksi 14 747 kg CO₂ ekv ja dityppioksidipäästöiksi -3273 kg CO₂ ekv. Metaanin osalta tuote toimi päästölähteenä, kun taas hiilidioksidin ja dityppioksidin osalta nieluna. Tuotteen hiilijalanjäljeksi muodostui -18 742 kg CO₂ ekv hehtaarilta.

Järviruokokasvualustan valmistusprosessin merkittävimmät päästölähteet olivat lähtöisin viljelystä ja prosessoinnista. Suurimmat hyödyt taas tulivat ohranviljelyn siirtämisellä ja turvekasvualustan korvaamisella vältetyistä päästöistä. (Lahtinen 2020, 36–38.)

Tutkimuksen mukaan turvepeltojen kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää huomattavasti siirtymällä ohranviljelystä soveltuvien kasvien kosteikkoviljelyyn, mutta hiilineutraaliutta sillä ei kuitenkaan välttämättä

saavuteta. Merkitystä todettiin olevan myös lopputuotteen käyttöiällä, mikä kasvualustan osalta rajoittuu yleensä muutamaan vuoteen. (Lahtinen 2020, 42.)

Lahtinen toteaa, että kosteikkoviljely on vielä varsin uusi menetelmä, joten saatavien tuotteiden elinkaaresta ja inventaariotiedoista on hyvin vähän tutkimustietoa saatavana. Tietojen puuttuessa niitä oli jouduttu osin arvailemaan, minkä vuoksi tutkimukseen sisältyy useita virhelähteitä. Suurimmaksi epävarmuustekijäksi kyseisen tutkimuksen kannalta nousi kosteikkoviljelyn päästöt ja niihin liittyvä epävarmuus. Kosteikkoviljelyn päästöihin, niiden vähentämisen keinoihin sekä hyvien viljelykäytäntöjen määrittämiseen liittyen kaivattiin jatkotutkimuksia ja käytännön peltokokeita. (Lahtinen 2020, 43–44.)

9 Opinnäytetyön tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää Puro Standardin vaatimukset sertifiointiin myöntämiseksi sekä arvioida Kiteen Mato ja Multa Oy:n valmistaman järviruokopohjaisen kasvualustan potentiaalia vastata näihin vaatimuksiin. Mikäli sertifiointi vaikuttaa realistiselta ja riittävät laskelmat ovat valmiina, voidaan arvioida CORC:eista saatavan taloudellisen hyödyn määrää. Mikäli vaatimukset eivät täyty, selvitetään puutteet ja tehdään kehitysehdotuksia.

Tutkimuskysymykset:

- Onko (Kiteen Mato ja Multa Oy:n valmistamalla) järviruokopohjaisella kasvualustalla edellytyksiä saada Puro.earthin myöntämä sertifikaatti CORC:ien ansaitsemiseksi?
- Jos ei, millaisin muutoksin hakeminen voisi mahdollistua?

10 Työn toteutus

Opinnäytetyön aihe valikoitui alkuvuodesta 2024 opinnäytetyön tekijän oltua yhteydessä kiinnostaviin yrityksiin toimeksiantoa hakien. Toimeksiantosopimus allekirjoitettiin maaliskuun lopulla. Työn toteutus lähti liikkeelle suunnittelupalaverista toimeksiantajan ja ohjaavan opettajan kanssa. Keskustelussa kartoitettiin toimeksiantajan toiveet työn tavoitteista, sekä opinnäytetyön resurssit työn toteuttamiseen. Aihe ja tutkimuskysymykset rajattiin opinnäytetyön työmäärää ja aikataulua vastaaviksi ja sovittiin tarpeellisten sopimusten tekemisestä.

10.1 Menetelmälliset valinnat

Tutkimusmetodi määrää tutkimuksessa käytettävät toimenpiteet ja säännöt havaintojen tuottamiseen, käsittelyyn ja tulkitsemiseen. Käytettävän metodin tarkka määrittely vähentää riskiä siihen, että tutkimuksen tekijän henkilökohtaiset ennakkoluulot ja tunteukset voisivat vaikuttaa havaintoihin ja tutkimustulosten tulkintaan. Tämä on ensiarvoisen tärkeää tutkimuksen tieteellisen hyväksyttävyyden kannalta. (Salminen 2011, 1.)

Tämä opinnäytetyö toteutettiin kvalitatiivisena, eli laadullisena tutkimuksena. Laadullisessa tutkimuksessa on tavoitteena tutkittavan kohteen laadun, ominaisuuksien ja merkityksen kokonaisvaltainen ymmärtäminen (Jyväskylän yliopisto 2021). Tutkimusmenetelmäksi muodostui tutkimuksellinen kirjallisuuskatsaus. Kirjallisuuskatsaus on yleisesti määritelty aiemmin tehtyjen tutkimusten tutkimiseen kehitetyksi metodiksi. Sen tavoitteena on koota tutkimustuloksia uusien tutkimustuloksien perustaksi. (Salminen 2011, 1.)

10.2 Aineiston hankinta

Puro.earth Oy:n verkkosivuilta löytyy kattavat tiedot yrityksen toiminnasta, sertifiointikriteereistä ja hakuprosessin kulusta sekä vaatimuksista. Näistä tehtiin suomenkielinen kooste opinnäytetyöhön. Lisäksi haettiin taustatietoa kasvihuonekaasupäästöistä, hiilimarkkinoiden käytännöistä ja sääntelystä kansallisella ja EU:n tasolla muun muassa Ympäristöministeriön ja Euroopan komission verkkosivuilta. Järviruokopohjaisen kasvualustatuotteen ja biohiilen ominaisuuksista haettiin tietoa toimeksiantajayrityksen lisäksi useista muista lähteistä, kuten aiemmin tehdyistä opinnäytetöistä, Pro gradu -tutkielmista sekä Luonnonvarakeskuksen ja Suomen ympäristökeskuksen teettämistä tutkimuksista.

Kirjallisen tietoperustan lisäksi tämän opinnäytetyön tiedonhakumenetelmänä käytettiin haastattelua. Erilaisia tutkimushaastattelun muotoja ovat strukturoitu, puolistrukturoitu ja vähän strukturoitu haastattelu. Strukturoitu haastattelu on oiva menetelmä muodollisten hypoteesien testaamiseen, tai kun tuloksista halutaan koostaa numeraalisia tilastoja. Strukturoimaton eli avoin haastattelu taas muistuttaa vapaata keskustelua haastattelijan ja haastateltavan välillä. Tällöin haastattelijalla johdattaa keskustelua esittämällä avoimia kysymyksiä sekä syventäviä lisäkysymyksiä, mutta haastattelussa edetään kuitenkin haastateltavan ehdoilla. Tässä työssä käytettiin näiden kahden välimuotoa, eli puolistrukturoidun haastattelun menetelmää. Puolistrukturoidussa haastattelussa kysymykset laaditaan etukäteen, mutta niiden paikkaa ja muotoa voidaan vaihdella, eikä sanamuotojen tarvitse olla eri haastateltavien kohdalla samoja. Suunniteltuja kysymyksiä voidaan myös jättää pois tai esittää uusia haastattelun aikana syntyneitä kysymyksiä. Puolistrukturoitua haastattelua kutsutaan myös teemahaastatteluksi. (Oppariapu 2024.)

Tässä tutkimuksessa haastattelun avulla pyrittiin saamaan lisätietoa ja ammattilaisten näkemyksiä vielä kehitteillä oleviin linjauksiin hiilimarkkinoiden sääntelystä ja tulevaisuuden näkymistä, sekä tarkasteltavan tuotteen mahdollisuuksista toimia potentiaalisina hiilivarastoina. Haastattelun tulokset täydentävät kirjallisuuskatsauksen tuomaa tietoperustaa. Haastateltaviksi

kutsuttiin kaksi Karelia-ammattikorkeakoulun TKI-asiantuntijaa, joilla katsottiin olevan tutkimusaiheisiin liittyvää erityisosaamista ja tietoa: projektikoordinaattori ja LCA-asiantuntija Alma Pohjonen, sekä BlackGreen - Kestäviä sovelluksia biohiilestä Pohjois-Karjalassa -hankkeen projektipäällikkö Markus Hirvonen. Haastattelu toteutettiin Karelia-amk:n Wärtsilä-kampuksen tiloissa molempien haastateltavien ollessa yhtä aikaa läsnä. Haastattelutilanteessa oli mukana myös opinnäytetyön ohjaaja lehtori Anniina Kontiokorpi. Haastattelu tallennettiin haastateltavien suostumuksella. Keskustelu eteni melko vapaasti, kuitenkin haastattelulomakkeen (liite 1) teemoja seuraten.

10.3 Aineiston käsittely ja analysointi

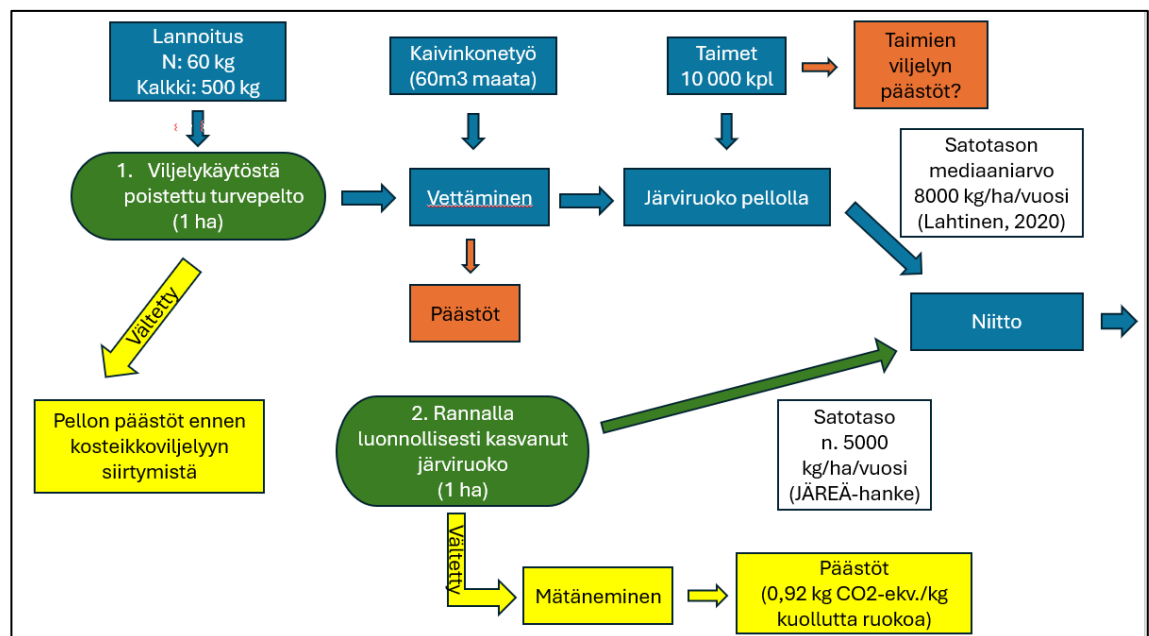
Äänittäminen ja videointi ovat tyypillisiä menetelmiä haastattelu- ja keskusteluaineiston tallentamiseen. Tallenteet puretaan myöhemmin kirjalliseen muotoon, eli litteroidaan niiden analysointia varten. Erityisen tärkeää on litteroida koko aineisto yhtäläisellä tarkkuudella. Tässä työssä äänitallenne purettiin Word-dokumentille peruslitteroinnin tasolla, eli puhe kirjattiin sanantarkasti, jättäen kuitenkin pois täytesanat, toistot, keskenjäävät tavut sekä selvästi kontekstiin liittymätön puhe. Peruslitterointia käytetään, kun analysoinnin kohteena on vain keskustelun asiasisältö. (Aineistonhallinnan käsikirja 2024.)

Opinnäytetyössä kerätyt aineistot käsiteltiin laadullisen analyysin keinoin. Günther, Hasanen & Juhilan (2024) mukaan laadullinen analyysi voidaan määritellä aineiston tiivistämiseksi ja jalostamiseksi käsitteelliseen tai teoreettiseen muotoon. Olennaista on, mitä aineisto sisältää ja mistä se kertoo. Tavoitteena on aineiston informaatioarvon lisääminen. (Günther ym. 2024.) Tutkimuskysymysten mukaista peilausta sertifikaatin vaatimusten ja tarkasteltavan tuotteen välillä suoritettiin jatkuvasti tiedonhaun edetessä.

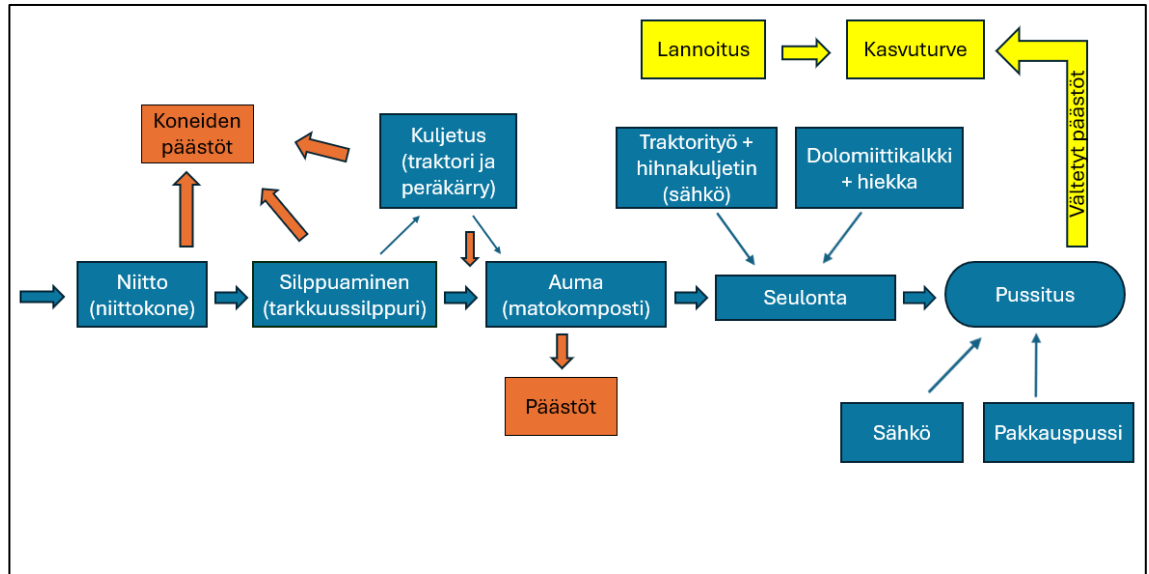
11 Tulokset ja tulosten tarkastelu

11.1 Tarkasteltavan järviruokakasvualustan elinkaari

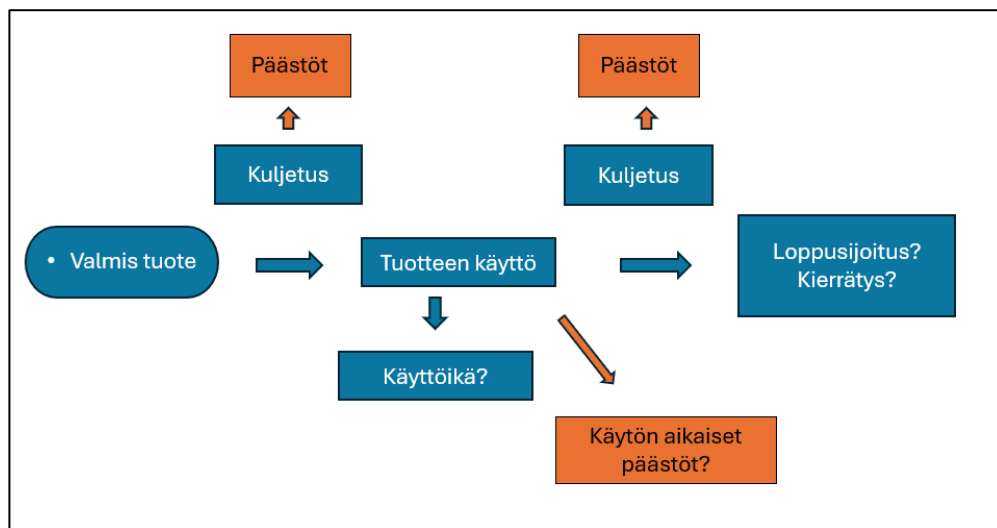
Ohessa RuokoGrow-kasvualustalle hahmoteltu prosessikaavio (kuvat 7, 8 ja 9) tuotteen elinkaaren aikaiset keskeisimmät päästökohteet huomioituina. Kaavio on koottu edellä esiteltyjen niitetyn ja kosteikkoviljellyn järviruo'on tutkimustuloksiin ja prosessikaavioihin pohjautuen. Kaavion lähtökohtana on esitetty molemmat materiaalin tuotantovaihtoehdot: sekä tähän saakka käytössä ollut rannoilta niitetty järviruoko että kosteikkoviljelty järviruoko. Niittovaiheesta eteenpäin kummankin materiaalin tuotantoprosessi on sama.



Kuva 7. Järviruokakasvualustan elinkaari alusta niittoon saakka.



Kuva 8. Järviruokokasvualustan elinkaaren vaiheet ja päästökohteet niitosta valmiiksi pussitetuksi tuotteeksi.



Kuva 9. Järviruokokasvualustan elinkaaren vaiheet ja päästökohteet valmiin tuotteen toimituksesta elinkaaren loppuun saakka.

Luvussa 8.2.2.1 kuvataan Lahtisen (2020) tutkimuksessa käytetty tuotantoprosessi kosteikkoviljelylle järviruokokasvualustalle kosteikon perustamisesta valmiiksi tuotteeksi saakka, ja samat vaiheet pätevät myös tässä arvioissa. Kaaviosta on poistettu Lahtisen tutkimuksessa kuvattu turvPELLON lähtökohta ohranviljelyssä (kuva 7). Kosteikkoviljelyyn valjastettavan pellon aiemmasta käytöstä riippuen, tähän osioon lisätään kyseisen käyttömuodon päästötiedot. Kaavion toinen lähtökohta on rannalta niitetty

järviruoko. Tämän järviruokomateriaalin satotason ja mätänevän ruokomateriaalin päästötiedot ovat peräisin Suomen ympäristökeskuksen raportista nro 27/2015, Järviruokon niittäminen ja hyötykäyttö (Myllyviita ym. 2015).

Prosessikaavion pohjana käytettyjen tutkimusten elinkaarikuvaukset päättyvät tuotteen valmistumiseen. Mikäli halutaan laskea tuotteen kapasiteetti pitkäaikaisena hiilivarastona, tulisi selvittää myös tuotteen käytön ja loppusijoituksen aikana tapahtuva kasvihuonekaasujen sitoutuminen ja vapautuminen. Arvioitaviin päästölähteisiin sisältyisivät ainakin tuotteen kuljetus käyttäjälle, kasvualustan käytön aikaiset tapahtumat, sekä lopulta materiaalin loppukäyttö.

11.2 Haastattelu

Haastattelun tavoitteet ja toteuttamistapa kuvattiin aiemmin luvussa 10.2 Aineiston hankinta. Opinnäytetyön tekijä esitteli aluksi työn aiheen ja keskeiset tietoperustassa esitellyt taustatiedot Puro.earthista ja tarkasteltavasta kasvualustatuotteesta, jonka jälkeen etukäteen mietityistä teemoista alettiin keskustella.

Keskustelun aluksi todettiin ensimmäisen ongelman tulevan vastaan Puro Standardin pysyvyyksivaatimuksessa. Orgaanisena materiaalina järviruokokasvualusta tulee ennen pitkää maatumään, jolloin siihen sitoutunut hiili pääsee vapautumaan takaisin ilmakehään, joten se ei voi pysyä tuotteessa sataa vuotta.

Biohiilen lisäämistä kasvualustaan pohdittiin potentiaalisena vaihtoehtona, koska biohiili kuuluu tällä hetkellä Puron hyväksymiin hiilensidontamenetelmiin. Kysymykseksi nousi, kuinka Purossa suhtaudutaan siihen, että biohiili ei olisi itse tuote, vaan tuotteen osa. Asiantuntijan mukaan on todennäköistä, että mikäli tämä hyväksyttäisiin, CORC:ejä tienattaisiin vain biohiilen osuudella.

Mikäli biohiilen lisääminen kasvualustaan voisi täyttää standardin pysyvyyksivaatimuksen, olisi myös selvitettävä tuotteen elinkaaren loppupää. Jotta voidaan taata hiilen varastoituminen vähintään 100 vuoden ajaksi, tulisi selvittää, mitä kasvualustalle tapahtuu sen käyttöiän päätyttyä. Standardi kieltää biohiilen polttamisen, sen sijaan se tulisi varastoida esimerkiksi maaperään olosuhteisiin, joissa hiili pysyy stabiilissa tilassa vähintään vaaditun ajan. Tämän toteuttaminen ja todentaminen vaatisi jatkuvan yhteistyön riittävän ison yritystoimijan kanssa, jonka kasvualustan käyttö ja loppukäyttö olisi auditoitavissa. Soveltuvia loppusijoituskohteita kasvualustalle voisivat olla vaikkapa maanparannus- tai maanrakennuskäyttö. Tämä sulkee kuluttajamarkkinat pois prosessista.

Pysyvyyksivaatimuksen lisäksi toiseksi mahdollisesti hankalaksi ehdoksi nousi Puro Standardin vaatimus toiminnan lisäisyydestä. Hiilenpoistotoiminta ei saisi olla taloudellisesti kannattavaa ilman CORC:eista saatavaa kannustinta. Tämä on todennäköisesti ongelmallinen asia, kun kyseessä on kaupalliseen käyttöön suunniteltu tuote.

Koska tuotteen soveltuminen Puro Standardiin vaikutti epätodennäköiseltä, asiantuntijoilta kysyttiin näkemyksiä muista mahdollisista väylistä hyödyntää tuotteen hiilensidontapotentiaalia. Keskusteluun nousi Kasvihuonekaasuprotokollan (GHG-protokollan) projektistandardi, jonka kautta voisi olla mahdollista verifioida tuotteen sitoma hiili, ja myydä saavutettuja hiilenpoistoyksiköitä muilla kuin Puron organisoimilla markkinoilla. Myös EU:ssa valmisteilla olevan hiilenpoistojen ja hiiliviljelyn sertifiointia koskevan CRCF-asetuksen (Carbon Removals and Carbon Farming) asiantuntijat uskoivat tuovan tullessaan paremmin soveltuvia menetelmiä hiilensidonnan hyödyntämiseen.

Asiantuntijat totesivat yksimielisesti, että tuotteelle kannattaisi joka tapauksessa tehdä elinkaariarviointi, sillä hyvien käytäntöjen ja standardien mukaan tehty LCA-laskenta on jo itsessään arvokasta ja sen avulla voidaan viestiä asiakkaille tuotteen positiivisista ilmastovaikutuksista. Koska järviruokobiohiilestä on

tutkimusta vielä vähänlaisesti, myös sen biohiiletyskokeita ja elinkaarianalyysia pidetään kannatettavana.

11.3 Järviruokokasvualustan peilaus Puro Standardin kriteereihin

11.3.1 Hiilivaraston pysyvyys

Kuten haastattelun yhteydessä jo todettiin, ensimmäinen ja todennäköisesti suurin este kasvualustan sertifoimiselle on Puro Standardin vaatimus hiilivaraston pysyvyydestä. Puro vaatii sertifoitavilta tuotteilta todistuksen sidotun hiilen varastoinnista vähintään sadan vuoden ajaksi. Kasvualustan käyttöaika on yleisesti korkeintaan muutaman vuoden, jonka jälkeen se voidaan esimerkiksi kompostoida, mädättää tai polttaa (Koponen 2023, 20). Kaikki nämä menetelmät saavat tuotteeseen sitoutuneen hiilidioksidin vapautumaan takaisin ilmakehään.

Kasvualustan hiilivaraston pysyvyyttä voisi mahdollisesti kasvattaa järviruo'osta valmistettavan biohiilen avulla. Tornikosken opinnäytetyössä (Tornikoski 2022) tutkittiin järviruokobiohiilen ominaisuuksia, ja tulokset olivat lupaavia erityisesti hiilensidonnan kannalta. Heikkoina puolina järviruokobiohiilelle mainitaan pieni ominaispinta-ala ja korkea tuhkapitoisuus (noin 10 %). Sen hiilirakenne on kuitenkin todettu hyväksi ja hiilipitoisuus korkeaksi. Järviruokobiohiilen hiilensidonnan odotteeksi annettiin satoja vuosia. (Tornikoski 2022.) Kuitenkin, vaikka hiilensidonnan pysyvyysvaade saataisiin biohiilen lisäyksellä täytettyä, tuotteen koko matka loppusijoitukseen saakka tulisi auditoida ja näin varmistaa materiaalin päätyminen maaperään.

11.3.2 LCA ja nettonegatiivisuus

Hiilensidontatuotteelta vaaditaan elinkaariarviointi, joka todistaa tuotteen nettonegatiivisuuden. Kosteikkoviljellyn järviruokopohjaisen kasvualustan LCA-laskennasta löydettiin yksi kotimainen opinnäytetyö. Lahtisen (2020) työssä

kerrottiin kosteikkoviljelytuotteen elinkaarilaskentaan liittyvän vielä varsin suuria epävarmuustekijöitä ja puutteita tarvittavien tietojen saatavuudessa. Suurin epävarmuus todettiin olevan kosteikkoviljelyn päästöissä, sillä esimerkiksi kosteikkoviljelmän vettämisen kasvihuonekaasupäästöjä ei tuolloin oltu löydetty lainkaan. Myöskään kosteikkoviljeltyjen tuotteiden inventaariotietoja ei ole ollut saatavilla, joten niitä oli jouduttu arvailemaan, mikä aiheutti tutkimukseen virhelähteitä. Kirjallisuudesta poimitut kasvihuonekaasujen ja satotasojen arvot oli saatu Suomea eteläisemmästä Euroopasta ja Kiinasta, joten niiden ei voi olettaa vastaavan täysin pohjoisissa oloissa tapahtuvaa viljelyä.

Lahtisen tutkimuksessa arvioitu järviruokokasvualusta todettiin hyvin suurella todennäköisyydellä hiilijalanjäljeltään negatiiviseksi, eli se toimisi hiilinieluna. Kuitenkin merkittävä osa saavutetuista päästövähennyksistä aiheutui kyseiseen arviointiin sisältyneen ohranviljelyn siirtämisestä kivennäismaalle, turvepellon vettämisestä ja ruokokasvualustalla korvatusen turvekasvualustan vältetyistä päästöistä.

Vesistöjen rannoilla luonnollisesti kasvaneen järviruo'on niittämisen ja hyötykäytön elinkaariarvioinnista löytyy Suomen ympäristökeskuksen raportti (Myllyviita ym. 2015). Tässäkin tutkimuksessa todettiin olevan vielä hyvin paljon epävarmuustekijöitä ja lisäselvityksen tarpeita. Esimerkkinä mainittiin, että järviruoko tuottaa mädätessään metaania, joka voidaan välttää niitolla, mutta toisaalta niitetyn järviruo'on metaanin tuotanto kiihtyy. Toistaiseksi ei ole tietoa, kuinka kauaskantoinen vaikutus on. Järviruoko myös hapettaa tehokkaasti järven pohjaa, mikä voi vähentää pohjan metaanin muodostusta. Tutkimuksissa todettiin järviruo'on vaikutuksen vesistön ekosysteemiin olevan hyvin monisyinen ja suurelta osin tuntematon. Todennäköisenä kuitenkin pidettiin, että niittämällä ja niittomassan hyödyntämisellä saavutetaan enemmän päästövähennyksiä kuin aiheutetaan päästöjä, mutta tarkkoja lukemia tästä ei ole vielä saatu.

Yhteenvedon voidaan päätellä, että vaikka sekä kosteikkoviljelty järviruokokasvualusta, että luonnon vesistöissä kasvaneen järviruo'on niitto ja hyötykäyttö epäilemättä vähentää turvepeltojen ja vesistöjen

kasvihuonekaasupäästöjä, luotettavan LCA:n tekemiseen kaivataan vielä lisää tutkimustietoa ja mitattua dataa. Lisäksi Puro edellyttämään elinkaarilaskentaan on sisällyttävä myös tuotteen käytön ja loppusijoituksen aiheuttamat päästöt sen varmistamiseksi, että sidottu hiili pysyy varastoituna vaaditun ajan. Merkittävä tekijä on myös se, ettei Puro hyväksy vältettyjä päästöjä CORC:ien laskentaan, mikä pienentää huomattavasti järviruokotuotteen hyväksi laskettavaa hiilenpoistokapasiteettia.

11.3.3 Täydentävyys ja hiilivuodon välttäminen

Puro Standardin täydentävyyden vaatimus edellyttää, että toiminta ei saa olla kannattavaa ilman CORC:eista saatavaa kannustinta. Tämä on todennäköisesti poissulkeva tekijä, kun kyseessä on kaupalliseen käyttöön tähtäävä tuote.

Hiilivuodon aiheuttaminen, eli hiilidioksidipäästöjen siirtyminen toiselle alueelle järviruokokasvualustan takia vaikuttaa epätodennäköiseltä. Kosteikkoviljelyyn siirtyvien peltojen osalta teoreettinen riski voisi olla, että järviruokoviljely syrjäyttäisi jonkin muun alueella tapahtuvan viljelyn, jonka siirtyminen toisaalle aiheuttaisi uusia päästöjä. Toinen riski voisi olla uusien turvemaiden raivaaminen kosteikkoviljelyä varten. Luonnonvarakeskuksen tutkimusprofessori Kristiina Långin (Lång 2023) mukaan nykyisellään tuottamattomia, kosteikkoviljelyyn soveltuvia turvepeltoja löytyy kuitenkin Suomesta runsain mitoin.

11.3.4 Riskit ja lisähyödyt

Puro edellyttää hiilenpoistotoiminnalta vastuullisuutta ja kestävyyttä. Toiminta ei saa aiheuttaa haittaa ympäristölle eikä ihmisille. Tämä tulee todentaa esimerkiksi ympäristövaikutusten arvioinnin (YVA), sidosryhmien kuulemisen ja projektin ympäristötehokkuutta arvioivien järjestelmien avulla.

Lisähyötyjä järviruokokasvualustan tuotannosta voisivat olla esimerkiksi kosteikkoviljelyn avulla vältetyt ojitetun turvemaan hiilidioksidipäästöt, turpeen korvaaminen viljelykäytössä, valuma-alueiden ravinteiden pidättäminen ja biodiversiteetin lisääminen.

12 Pohdinta

12.1 Yhteenveto ja jatkotoimenpidesuositukset

Pelkästään järviruo'osta koostuva kasvualusta ei sovi Puro Standardin edellytyksiin ensisijaisesti käyttömuotonsa vuoksi, jossa se tulee nykyisten viljelykäytäntöjen myötä hajoamaan ja vapauttamaan sitomansa hiilidioksidin ennen vaadittua sadan vuoden kestoja. Mikäli kasvualustan hiilensidontakykyä halutaan lähteä lisäämään biohiilen avulla, tulisi tuotteen elinkaaren loppupää selvittää. Onko mahdollista kehittää ja sopia riittävän suurten asiakasyritysten kanssa käytöstä poistettavan materiaalin sijoituksesta tai jatkojalostuksesta niin, että se mahdollistaisi pitkäaikaisen (vähintään 100 vuotta) hiilivaraston muodostamisen? Jos tätä väylää halutaan lähteä selvittämään, Puro tarjoaa hankkeille maksullista alustavaa arviointipalvelua, joka tukee haasteissa toiminnan tukikelpoisuuden selvittämisessä ja matkalla kohti sertifiointia.

Järviruokokasvualustan hiilensidontakyky, sekä erityisesti ruokomassan niiton ja hyödyntämisen ansiosta vältettävät päästöt ovat jo nykyisten tutkimusten valossa merkittäviä. Näiden ominaisuuksien hyödyntämiseksi tuotteen markkinoinnissa ja arvon lisäämisessä suositellaan hakemaan muita väyliä kuin Puro.earth Oy. Esimerkiksi GHG-protokollan projektistandardista voisi olla hyötyä tuotteen hiilensidonnin todentamisessa. GHG-protokolla on kansainvälisesti tunnustettu kasvihuonekaasupäästöjen määrittämiseen ja hallintaan kehitetty kirjanpito- ja raportointistandardi. Se tarjoaa standardoituja päästöjen mittaus-, seuranta- ja raportointimenetelmiä hankkeille, organisaatioille, kaupungeille, hallituksille ja rahoituslalle. Kasvihuonekaasuprotokollalla on myös tärkeä rooli monissa EU:n

ympäristöystävällisen rahoituksen arviointimenetelmissä. (DGE Finland 2024.) Kasvihuonekaasuprotokollasta löytyy erikseen yritysstandardi ja projektistandardi. Yritysstandardi on suunniteltu koko yrityksen tai yhteisön laajuisten kasvihuonekaasupäästöjen vähennysten kvantifioimiseen. Projektistandardi sen sijaan on osoitettu kaikille tahoille, jotka haluavat kvantifioida hankkeesta johtuvia kasvihuonekaasupäästöjä. (Greenhouse gas protocol 2024.)

Haastattelun yhteydessä mainittu EU:n valmisteilla oleva CRCF-asetus on hiilenpoistotoimia ja hiiliviljelyä koskeva asetus, josta Euroopan parlamentti saavutti alustavan sovun alkuvuodesta 2024. Tällöin luotiin ensimmäinen EU:n laajuinen vapaaehtoinen kehys tuotteiden hiilenpoistojen, hiiliviljelyn ja hiilen varastoinnin sertifiointiksi koko Euroopan alueella. Asetus tulee vahvistamaan EU:n laatukriteerit sekä seuranta- ja raportointiprosessit, minkä odotetaan helpottavan investoimista uusiin hiilenpoistoteknologioihin ja hiiliviljelyratkaisuihin sekä torjuvan viherpesua. Euroopan komission julkaisun mukaan CRCF-asetus tulee sisältämään myös soiden ja kosteikkojen uudelleenvettämisen osana hiiliviljelyn ja maaperän päästöjen kokonaisuutta. (European commission 2024.) Toteutuessaan tämä asetus voi avata kosteikkoviljelytuotteille huomattavasti nykyistä realistisempia mahdollisuuksia tulevaisuuden hiilimarkkinoilla. Sertifiointikehyksessä tilapäisten hiilivarastoja tuottavien tai päästöjä vähentävien toimien vähimmäiskestoksi on määritelty viisi vuotta. Tuotteisiin perustuvilla hiilivarastoilla pysyvyysvaatimus on 35 vuotta. Sertifiointikehykseen sisältyy myös hiiliviljelyn tuottamat maaperään liittyvät hiili- ja typpioksiduulipäästöjen vähenemät maa- ja metsätaloudessa. (Luonnonvarakeskus 2024.)

Elinkaariarvioinnin teettäminen yrityksen kasvualustatuotteelle olisi hyödyllinen askel, sillä se todentaisi tuotteen hiilijalanjäljen ja sitä voidaan hyödyntää haettaessa minkä tahansa kolmannen osapuolen myöntämää sertifikaattia tai vaikkapa EPD-ympäristöselostetta. Hiilijalanjälkeä laskettaessa kannattaisi laskea erikseen tuotteen sitoma hiili ja prosessin ansiosta vältetyt päästöt. Näin olisi helpompaa toimittaa sertifioidulle taholle vain toinen, tai molemmat laskelmat, riippuen käytettävän standardin ehdoista. LCA:ta varten olisi hyvä

saada lisää tutkimustietoa ainakin turvepellon vettä ja kosteikkoviljelyn kasvihuonekaasupäästöistä, järviruo' on kompostoinnin ja muiden tuotannon prosessien aiheuttamista päästöistä.

12.2 Tutkimuksen eettisyys ja luotettavuus

Tämä opinnäytetyö on julkinen asiakirja, jonka tekemisessä on noudatettu opinnäytetyön eettisiä ohjeita ja hyvää tieteellistä käytäntöä. Työn aiheeseen on perehdytty huolellisesti ja työn edetessä on käyty säännöllistä vuoropuhelua työn ohjaajan kanssa tarvittavista muutoksista ja uusista rajauksista.

Toimeksiantajan kanssa on allekirjoitettu toimeksiantosopimusten lisäksi salassapitosopimus mahdollisten arkaluonteisten tietojen käsittelyn varalta.

Työn luotettavuuden takaamiseksi tietoperustaan ja tutkimuksen tekoon käytetyt tietolähteet ovat läpäisseet kriittisen arvioinnin. Lähteet on myös merkitty asianmukaisesti viitteisiin ja lähdeluetteloon niin, että ne ovat tarvittaessa tarkistettavissa. Käytetyt menetelmät on valittu juuri tämän työn tutkimuskysymyksiin soveltuvuutensa perusteella. Opinnäytetyön tekijän omaa toimintaa on arvioitu kriittisesti koko työn ajan.

Epävarmuustekijöitä tähän työhön aiheuttavat vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden sääntelyn keskeneräisyys ja toistaiseksi puutteellinen tutkimustieto tarkasteltavan kasvualustatuotteen koko elinkaaren vaiheista. Näihin kumpaankin epävarmuustekijään on lähivuosina odotettavissa muutoksia. Hiilimarkkinoiden sääntelyyn on tulossa EU-tason sääntelyä, ja kosteikkoviljelyä kehitetään ja tutkitaan parhaillaan sekä toimeksiantajayrityksen, että kansallisen tason hankkeiden toimesta.

12.3 Oma ammatillinen kehitys

Työ osoittautui odotettua haastavammaksi tietoperustaan liittyvien epävarmuustekijöiden ja tiedon hajanaisuuden vuoksi. Puro Standardin vaatimuksista ja hyväksytyistä menetelmistä tietoa löytyi helposti ja kattavasti,

mutta järviruokokasvualustan hiilijalanjäljen ja ominaisuuksien selvitystyö oli huomattavasti monimutkaisempaa. Ylipäätään kasvualustamateriaalien hiilijalanjätkilaskennasta löytyi vielä varsin rajallisesti tutkimustietoa.

Työ kokonaisuudessaan muistutti suunnittelun, rajauksen ja aikataulutuksen tärkeydestä, sekä työ/opiskelijayhteisön tuen merkityksestä ongelmakohdissa. Tietomäärä ja ymmärrys hiilipolitiikasta ja EU-säätelyn tarpeellisuudesta kasvoivat. Omista toimintatavoista nousi esille kehityskohteita, mutta myös vahvuuksia. Tulevaisuuden työelämää ajatellen omien vahvuuksien ja kehitettävien ominaisuuksien sekä rajojen löytäminen ovat varmasti hyödyksi.

Lähteet

- Aineistonhallinnan käsikirja. 2024. Kvalitatiivisen datan käsittely. Tietoarkisto. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/aineistonhallinta/kvalitatiivisen-datan-kasittely/> 17.11.2024.
- Bioenergia. 2024. Tietopankki: hiilensidonta. <https://www.bioenergia.fi/tietopankki/hiilensidonta/> 18.4.2024.
- DGE Finland. 2024. Kasvihuonekaasuprotokolla (GHGP). <https://dgefinland.fi/fi/kasvihuonekaasuprotokolla-ghgp/> 17.11.2024.
- Ecobio. 2024. EPD-ympäristötuoteseloste. <https://ecobio.fi/epd-ymparistoseloste/> 2.11.2024.
- Ely-keskus. 2023. Järviruoko. Päivitetty 25.07.2023. <https://www.ely-keskus.fi/web/ruoko/jarviruoko> 31.5.2024.
- Euroopan komissio. 2024a. Ilmastonmuutos. Ilmastonmuutoksen seuraukset. https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_fi 9.11.2024.
- Euroopan komissio. 2024b. Ilmastonmuutos. Ilmastonmuutoksen syyt. https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_fi 5.11.2024.
- European commission. 2024. Carbon removals and carbon farming. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming_en 17.11.2024.
- Eurooppa-neuvosto. 2024. Euroopan vihreän kehityksen ohjelma. <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/> 11.5.2024.
- Fortum 17.4.2019. Maailman ensimmäinen markkinapaikka hiilidioksidin poistolle. Lehdistötiedote. <https://www.fortum.fi/media/2019/04/maailman-ensimmainen-markkinapaikka-hiilidioksidin-poistolle> 15.4.2024.
- Fortum 1.6.2021. Fortum myy enemmistöosuuden Puro.earth-startupistaan Yhdysvaltojen Nasdaq-pörssille. Lehdistötiedote. <https://www.fortum.fi/media/2021/06/fortum-myy-enemmistoosuuden-puroearth-startupistaan-yhdysvaltojen-nasdaq-porssille> 15.4.2024.
- Greenhouse gas protocol. 2024. Project protocol. <https://ghgprotocol.org/project-protocol> 17.11.2024.
- Growing Media Europa. 23.1.2020. Kestävän kehityksen ohjelma. https://d6scj24zvfbo.cloudfront.net/7a1cbe080414f652f11c935a5c10f075/200000107-bffadbffaf/Growing-Media-Europe_Kestavan-kehityksen-ohjelma.pdf?ph=14a83b6c6c 31.5.2024.
- Günther, K., Hasanen, K., & Juhila, K. 2024. Johdanto: analyysi ja tulkinta. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/analyysitavana-valinta-ja-yleiset-analyysitavat/analyysi-ja-tulkinta/> 17.11.2024.
- Hiilikompensaatioinfo.2024. Sanasto. <https://hiilikompensaatioinfo.fi/sanasto/> 30.5.2024.
- Hyvärinen, M., Suoninen, E. & Vuori, J. 2021. Haastattelut. Teoksessa Vuori, J. (toim.) Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tietoarkisto. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/laadullisen-tutkimuksen-aineistot/haastattelut/> 13.9.2024.

- Ilmasto-opas. 2024a. Kasvihuoneilmiö ja ilmakehän koostumus. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/kasvihuoneilmiö-ja-ilmakehan-koostumus> 9.11.2024.
- Ilmasto-opas. 2024b. Hiilidioksidi ja hiilen kiertokulku. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku> 11.11.2024.
- Ilmasto-opas. 2024c. Metaani. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/metaani> 11.11.2024.
- Ilmasto-opas. 2024d. Typpioksidi. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/dityppioksidi> 11.11.2024.
- Ilmatieteen laitos. 2024. Ilmakehä-ABC. Hiilidioksidi. <https://www.ilmatieenlaitos.fi/ilmakeha-abc?term=Hiilidioksidi> 11.11.2024.
- Jyväskylän yliopisto 2021. Laadullinen tutkimus. KOPPA. <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/utkimusstrategiat/laadullinen-tutkimus> 13.9.2024.
- Koponen, L. 2023. Kasvualustojen kierrättäminen. Orgaanisten kasvualustojen kierrätysmahdollisuudet marjatiloilta. Ylempi amk-opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/789562/opinnaytetyo/Koponen_Leena_YLB21K1.pdf;jsessionid=62D6307D71AAC6178B00BC58207CE734?sequence=2 5.11.2024.
- Lahtinen, L. 2020. Kosteikkoviljely ja siihen sopivien tuotteiden elinkaariarviointi. Maisterintutkielma, metsätieteiden maisteriohjelma. Helsingin yliopisto. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/acb11fcf-b4ce-483b-80de-c138e3936c79/content> 28.8.2024.
- Luonnonvarakeskus. 14.12.2023. Suomi sai EU:lta merkittävän rahoituksen ilmastoratkaisuja vauhdittavalle hankkeelle. Verkko-uutinen. <https://www.luke.fi/fi/uutiset/suomi-sai-eulta-merkittavan-rahoituksen-ilmastoratkaisuja-vauhdittavalle-hankkeelle> 20.10.2024.
- Luonnonvarakeskus. 2024. Vapaaehtoiset hiilimarkkinat saatava tukemaan maankäyttösektorin ilmastotoimia. Poliitikkasuositus. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/555011/Luke_Policy_Brief_5_2024.pdf?sequence=1&isAllowed=y 24.10.2024.
- Luontoportti. 2024. Järviruoko. <https://luontoportti.com/t/2823/jarviruoko> 20.5.2024.
- Lång, K. 2023. Turvepelloista kompensatioita? Blogikirjoitus Hiilikompensaatioinfoissa. <https://hiilikompensaatioinfo.fi/turvepelloista-kompensaatioita/> 5.11.2024.
- Miettinen, A. & Saarnio, S. 29.11.2023. Webinaari: Kosteikkoviljely Suomessa. Luonnonvarakeskus. <https://www.luke.fi/fi/documents/kosteikkoviljely-suomessa-saarnio-miettinen> 5.9.2024.
- Myllyviita, T., Mattila, T. & Leskinen, P. 2015. Järviruoko' on niittäminen ja hyötykäyttö. Elinkaariarviointi ympäristövaikutuksista. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 27 | 2015. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/a83a98b6-7bd8-41fe-a2ca-3799d3583e57/content> .27.8.2024.
- Motiva. 2024a. Päästökauppadiirektiivi. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/paastokauppadiirektiivi> 12.5.2024.

- Motiva. 2024b. Ohjauskeinot, päästökauppa. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/paastokauppa> 12.5.2024.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. 2024. Global monitoring laboratory. Trends in CO₂, CH₄, N₂O, SF₆. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/> 11.11.2024.
- Oppariapu. 2024. Apua opinnäytetyön kirjoittamiseen. Haastattelut. <https://oppiapu.wordpress.com/metodit/haastattelut/> 13.9.2024.
- Puro.earth. 2022a. Puro Standard. Carbonated Materials. Methodology for CO₂ Removal. <https://7518557.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/7518557/Supplier%20Documents/Puro.earth%20Carbonated%20Materials%20Methodology.pdf> 15.11.2024.
- Puro.earth. 2022b. Puro Standard. Enhanced Rock Weathering. Methodology for CO₂ Removal. https://7518557.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/7518557/ERW%20Standards/Enhanced_Rock_Weathering_2022_2.pdf 15.11.2024.
- Puro.earth 2023a. E-book - Carbon Removals: Achieving a Net-Negative Economy. [C:\Users\35850\Desktop\Puro.earth Carbon Removals ebook \(1\).pdf](C:\Users\35850\Desktop\Puro.earth_Carbon_Removals_ebook_(1).pdf) 18.5.2024.
- Puro.earth 2023b. Puro Standard. Terrestrial Storage of Biomass. Methodology for CO₂ Removal. <https://7518557.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/7518557/Supplier%20Documents/Terrestrial%20Storage%20of%20Biomass.pdf> 14.11.2024.
- Puro.earth 2024a. Carbon removal methods. <https://puro.earth/carbon-removal-methods> 18.5.2024.
- Puro.earth 2024b. Puro Standard general rules. Version 4.0. https://7518557.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/7518557/General%20Rules/Puro.earth_General-Rules_v.4.0.pdf 19.5.2024.
- Puro.earth. 2024c. Additionality Assessment Requirements Version 2.0. <https://7518557.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/7518557/Supplier%20Documents/Puro%20Additionality%20Assessment%20Requirements.pdf> 14.11.2024.
- Puro.earth. 2024d. Biochar Methodology. Puro Standard. Edition 2022 V3. <https://7518557.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/7518557/Supplier%20Documents/Puro.earth%20Biochar%20Methodology.pdf> 14.11.2024.
- RuokoGrow 2024. Ruokogrow-Ruokomulta <https://ruokogrow.fi/kauppa/ruokogrow-ruokomulta/> 27.10.2024.
- Sallinen-Uusoksa, M. 2023. Turpeeton kasvualusta – käytännönläheinen biohiilisovellus kotipuutarhaan. Opinnäytetyö YAMK. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/804274/Opinnaytetyo_Sallinen-Uusoksa_Maarit.pdf?sequence=2 20.5.2024
- Salminen, A. 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyypeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasan yliopiston julkaisuja. https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/7961/isbn_978-952-476-349-3.pdf?sequence=1&isAllowed=y 12.9.2024.

- SFS-EN ISO 14040:2006 + A1:2020. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry
- Sitowise. 2024. EPD-ympäristöseloste. <https://www.sitowise.com/fi/epd-ymparistoseloste> 2.11.2024.
- Sitra. 2020. Turpeen käytöstä luopuminen - keinoja Suomelle reilun siirtymän tukemiseen. Sitra työpaperi. <https://www.sitra.fi/app/uploads/2020/06/turpeen-kaytosta-luopuminen.pdf> 31.5.2024.
- Stt-info. 16.2.2024. Pelasta Itämeri-palkinnon sai Kiteen Mato ja Multa. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/70105048/pelasta-itameri-palkinnon-sai-kiteen-mato-ja-multa?publisherId=1811&lang=fi> 15.4.2024.
- Suomen Ympäristökeskus. 2022. Elinkaariarviointi tukee kestävyysmurrosta. Päivitetty 12.2.2024. <https://www.syke.fi/elinkaariarviointi> 20.3.2024.
- Tornikoski, J. 2022. Järviruokobiohiilen ominaisuudet. Amk-opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/745915/Tornikoski_Jerome.pdf?sequence=2&isAllowed=y 15.4.2024.
- Turveinfo. 2024. Maailman eniten käytetty kasvualusta. <https://turveinfo.fi/kayttotavat/turpeen-muu-kaytto/maailman-eniten-kaytetty-kasvualusta/> 31.5.2024.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2024. Päästökauppa. <https://tem.fi/paastokauppa> 15.5.2024.
- Ymparisto.fi. 2024. F-kaasut ja niiden päästöt. <https://www.ymparisto.fi/fi/ilmasto-muutoksessa/kasvihuonekaasupaastojen-raportointi/f-kaasut-ja-niiden-paastot#tavallisimpia-suomessa-k%C3%A4ytettyj%C3%A4-f-kaasuja> 12.11.2024.
- Ympäristökioski. 2024. Ympäristöhoidon toimenpiteet. 7.5. Kosteikkoviljely. <https://www.ymparistokioski.fi/ymparistonhoidon-toimenpiteet/turvepellot/kosteikkoviljely> 5.9.2024.
- Ympäristöministeriö. 2021. Päästökompensaatiot ilmastonmuutoksen hillinnän keinona Suomessa – nyt ja tulevaisuudessa. Ympäristöministeriön julkaisuja, 12/2021. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162987/YM_2021_12.pdf 22.5.2024.
- Ympäristöministeriö. 2024a. Vapaaehtoiset hiilimarkkinat. https://ym.fi/vapaaehtoiset-hiilimarkkinat_23.5.2024 22.5.2024.
- Ympäristöministeriö. 2024b. Suomen kansallinen ilmastopolitiikka. <https://ym.fi/suomen-kansallinen-ilmastopolitiikka> 9.11.2024

Haastattelulomake

Taustakysymyksiä:

KASVUALUSTAN MAHDOLLISUUDET HIILENSIDONTATUOTTEENA?

- Onko tuotteella mahdollisuuksia täyttää hiilensidontatuotteen kriteereitä, kun hiilivarasto 100 vuotta (Puro.earthin vaatimus) ei ole kasvualustoilla todennäköistä?
- Mitä se vaatisi?
- Tekeillä oleva EU:n hiilenpoistojen ja hiiliviljelyn sertifiointia koskeva asetus, uskotteko että se voi tulevaisuudessa muuttaa tilannetta?
- Onko EPD-ympäristöselosteita tehty vastaaville tuotteille?

2. BIOHIILI (JÄRVIRUO´OSTA) KASVUALUSTAN OSANA?

- Biohiilen käyttö kasvualustassa?
- Biohiiltä järviruo´osta? Onko tietoa Suomessa tehdyistä kokeiluista? Ainakin Turun amk:ssa tehty opinnäytetyö vuonna 2022 Jerome Tornikoski – JÄRVIRUOKOBIOHIILEN OMINAISUUDET.
- Voisiko biohiilen lisääminen kasvualustaan mahdollistaa Puron vaatimusten täyttämisen?

3. MUUT MAHDOLLISUUDET LOPPUTUOTTEEN KEHITTÄMISEEN?

- Lisätutkimusideoita?
- Muita, paremmin tähän tarkoitukseen soveltuvia hiilensidonnan sertifiointia tarjoavia organisaatioita kuin Puro.earth? Hyväksytäänkö jossain toisessa myös vältetyt päästöt?
- Muita vapaaehtoisten hiilimarkkinoiden alustoja?