

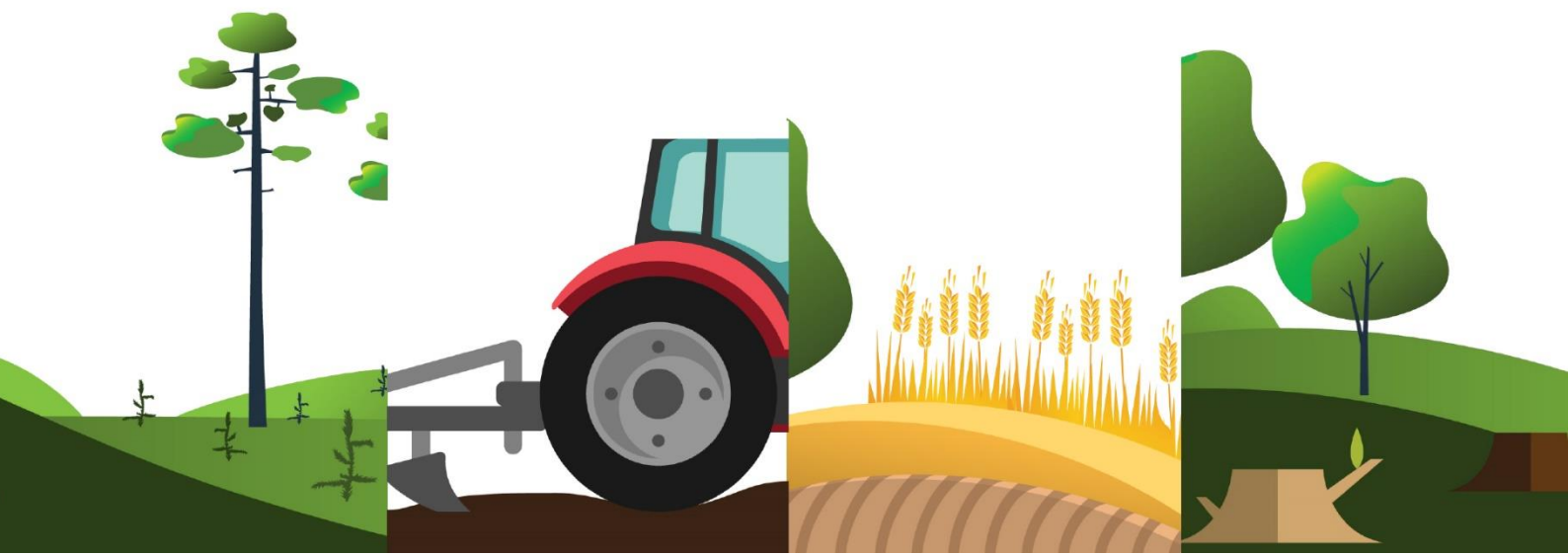


Maa- ja metsätalous-
ministeriö



MMM-ohjelman Hiilestä Kiinni -hanke
Hampusta valmistettavalla hiilelle ilmastoviisaita
suodatinratkaisuja ja kannattavuutta maatalouden
viljelykiertoon (HAMPSU)
LOPPURAPORTTI
VN/5257/2021-MMM-2
31.10.2023
Päivitetty versio 28.3.2024

Raportin koostajat
FM Noora Jokinen, FM Kimmo Laitinen, Ville Saarelainen,
Lasse Moilanen ja prof. Reijo Lappalainen



Itä-Suomen yliopisto, yritykset: Hemka Oy, Mayt Oy, BioSO4 Oy

1. JOHDANTO

Hamppu soveltuu hyvin viljeltäväksi Suomessa mutta sitä viljellään toistaiseksi varsin vähän öljyhamppuna sen siementen hyödyntämisen kannalta ja kuituhamppuna erityisesti siitä saatavien luonnonkuitujen takia. Kuituhamppu on vaatimaton viljeltävä ja soveltuu kasvatettavaksi esim. Pohjois-Savossa nyt viljelemättömillä pelloilla tai käytettäväksi esimerkiksi perunan viljelyskiertokasvina. Hampun viljelyyn soveltuvia peltaja on runsaasti tarjolla ja kasvatusta ei kilpaile ruokatuotannon kanssa vaan tehostaa sitä. Hampusta syntyy kuidun lisäksi merkittävä määrä päistäreitä, jota käytetään nykyisin lähinnä kuivikkeena. Päistäreistä voidaan valmistaa pyrolysoimalla biohiiltä, jolloin sivutuotteena saadaan biotisleitä. Näillä molemmilla jakeilla on poikkeuksellisia hyödynnettäviä ominaisuuksia verrattuna esim. puubiomassapohjaisiin vastaaviin jakeisiin [1-3]. Hampusta saatavaa biohiiltä voidaan hyödyntää mm. suodatus- ja maanparannuskäytössä. Hampukkuidun käyttöä myös luonnonkuitukomposiiteissa voitaisiin kehittää parantamalla niiden ominaisuuksia edullisilla tisleillä.

Tämän MMM:n rahoittaman Hiilestä kiinni -hankkeen päätavoitteena oli tutkia, voidaanko kotimaisen teollisen hampun viljelyn merkittävimmästä sivuvirrasta, päistäreistä, biojalostamalla valmistaa kaupallisesti kannattava tuote: biohiili- ja biopolymeeripohjainen yhdistelmäsuodatin, joka soveltuu hyvin veden suodattamiseen ja ravinteiden talteenottoon maataloudessa, valuma-/sulamisvesille ja kaivannaisalueille. Suodattimiin soveltuvan biohiilen tuotanto optimoitiin aiempien lupaavien laboratoriotulosten [1-3] pohjalta teollisessa mittakaavassa. Hiilen ominaisuudet räätälöitiin vedestä ja ilmasta kerättävien ravinteiden tai epäpuhtauksien talteen ottamiseksi.

2. HANKKEEN TOTEUTTAMINEN

Päätös hankkeen rahoittamisesta saatiin 23.4.2021. Hankkeen toteutusaika oli 1.4.2021 – 30.9.2023. Avustus oli käytettävä tässä ajassa siten, että hankkeesta voidaan antaa loppuselvitys viimeistään 30.10.2023.

2.1 Hankkeen toteutuksen organisointi

Hankkeen toteutus organisoitiin neljään erilliseen työpakettiin, joiden toteutus jakautui hanketoimijoiden: Itä-Suomen yliopisto (UEF, koordinaattori), Hemka Oy, Mayt Oy ja BioSO4 Oy kesken niin, että kullakin toimijalla on paras osaaminen tietystä aihepiiristä.

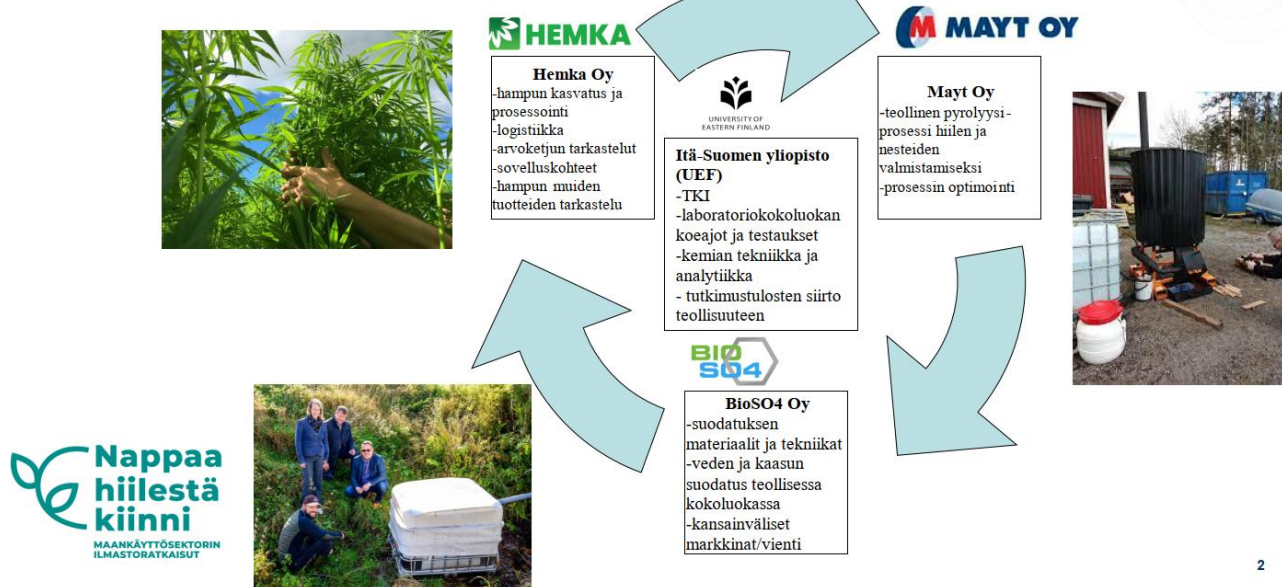
Hankkeella oli ohjausryhmä, jossa oli edustaja kustakin organisaatiosta.

- Itä-Suomen yliopisto, prof. Reijo Lappalainen
- Hemka, CEO Ville Saarelainen
- Mayt Oy, CEO Tuomo Leppänen
- BioSO4, CEO Lasse Moilanen

Hankkeen toimintaa varten kokoontui myös projektihenkilöistä muodostuva projektiryhmä, joka kokoontui tarpeen mukaan eri kokoonpanoilla tarkastelemaan projektin käytännön toteutusta, saavutettuja tuloksia ja yksityiskohtaisia jatkosuunnitelmia.

Hankkeen työnjakoa, rooleja ja vastuita eri toimijoiden osalta havainnollistaa oheinen kuva (Kuva 1). Hankkeen toiminta toteutui pääpiirteissään esitetyn jaon mukaisesti.

Hankkeen toiminta



2

Kuva 1. Hankkeen toimintaa havainnollistava kaaviokuva.

2.2 Hankkeen työpaketit

Hankkeen toteutus jakaantui neljään työpakettiin, jotka on esitelty lyhyesti alla.

TP1 Hampun pyrolyysintiprosessin optimointi laboratoriossa ja tulosten ja tiedonsiirto teolliseen kokoluokkaan sekä hiilen ja pyrolyysitiseiden koevalmistus Mayt Oy:n laitteilla Mikkelissä. (Työpaketin vetovastuu: UEF)

Työpaketti sisälsi tehtäväosiot: kotimaisen hamppuraaka-aineen hankinta ja logistiikka (Hemka), esikäsittelyt, hidaspyrolyysiajot laboratoriossa (UEF) ja teollisessa kokoluokassa hiilen talteenotolla (Mayt); biohiilen ja nesteiden analysointi ja keskeisten ominaisuuksien karakterisointi (UEF).

Hamppuraaka-ainetta hankittiin sekä kotimaasta että sopivia verrokkimateriaaleja ulkomailta. Hamppuraaka-aineen hankinnat toteutti Hemka Oy. Hankinnoissa otettiin huomioon kokonaiskustannukset sisältäen mm. pakkaamisen ja kuljetuksen. Kotimaassa hamppuraaka-ainetta valmistettiin myös viljelemällä eri lajikkeita eri kasvuolosuhteissa. Lisäksi tehtiin esikäsittelykokeita, joissa murskattiin hamppua pyrolyysiajoja varten ja hankittiin moottoroitu seula sekä siihen tarvittavat varaosat.

Kotimaista hamppuraaka-ainetta ei ole markkinoilta saatavilla. Hankkeessa oli tarkoitus hiiltää päistärettä. Hemka osti viljelijöiltä hamppukorsi-kanttipaaleja, joissa kuitu on vielä tallella. Korsipaalien hiilto ei sujunut ongelmitta. Paaleja yritettiin murskata rotogrindilla Lapualle kesällä 2021 Lapuan työkoneelta ostettuna palveluna ja seuloa päistärettä pyrolyysiajoja varten. Tämä ei onnistunut, koska seula ei erottanut päistärettä hyvin eikä siten ollut mahdollista saada sopivaa raaka-ainetta teollista ajoa varten. Murskauksessa ja seulomisessa ongelmana on kotimaisen kevätkorjatun hampun pitkä kuitu, joka kietoutuu pyörivien osien ympärille.

Kotimaista hamppupäistärettä ei siis ole saatavilla ja Hemka oli hankkinut hamppupaaleja viljelijöiltä murskaus- ja seulontakokeilun epäonnistuttua. Tämän vuoksi alettiin selvittää hampun kuidun erotteluun sopivia laitteita, joilla voitaisiin tuottaa hankkeessa tarvittu raaka-aine hiiltoajojen varten.

Yllättävää oli, että hampua jalostetaan tekstiilikoneilla, joten sen takia Ville Saarelainen kävi Ruotsissa tekstiilikonemessuilla ja koeajoreissuilla Euroopassa, joista kotimaista teollisesti puhdistettua päistärettä saatiin pieniä määriä. Rahtikulut syntyivät hampun lähettämisestä eri konevalmistajien tai olemassa olevien hampputehtaiden koeajoihin, jottapäistärettä saataisiin hiillettäväksi.

Teollisen kokoluokan pyrolyysikoeajoja toteutettiin erikokoisilla reaktoreilla, tarkoituksena selvittää optimaaliset prosessiparametrit hyvälaatuisen biohiilen tuottamiseksi myös teollisessa mittakaavassa. Koeajojen perusteella pienempään laitteistoon tehtiin muutostöitä.

Työpaketti ei sisältänyt hankesuunnitelman ulkopuolisia tehtäviä.

TP2 Biohiilestä ja biopolymeereistä eri seossuhteilla valmistettujen suodattimien testaus laboratoriossa ja teollisessa kokoluokassa. (Työpaketin vetovastuu BioSO4)

Työpaketti sisälsi tehtäväosiot: hampusta valmistetun biohiilen prosessointi suodattimiin soveltuvaksi, biopolymeerien ja muiden tarvikkeiden hankinta, suodattimien toteutus laboratorio- ja teollisessa mittakaavassa (BioSO4), suodattimien toiminnan testaus yrityksiltä/kunnilta saatavilla jätevesillä ensin laboratoriossa ja sitten teollisessa kokoluokassa, suodatettavan ja suodatetun veden koostumuksen testaus (UEF).

Teollisen kokoluokan suodatuskokeita toteutettiin mm. Kempeleessä ja Tyrnävällä maatalousvesillä biohiili/biopolymeerisuodattimella ja sen uutisoi mm. YLE ([Katkaravun kuoret ja kuituhamppu auttavat perunapeltöjen valumavesien puhdistamisessa | Yle](#)).

TP3 Suodattimena käytetyn hiilen ja biopolymeerien regenerointi/uusiokäyttö tai hyödyntäminen lannoitteena tai muussa käytössä (Työpaketin vetovastuu Hemka)

Työpaketti sisälsi tehtäväosiot: käytetyn suodattimen (biohiilen ja biopolymeerin) regenerointi eri tavoin laboratoriomittakaavassa siihen sitoutuneiden ravinteiden talteen ottamiseksi (UEF); regeneroidun biohiilen toiminnallisten ominaisuuksien testaus verrattuna neitseelliseen biohiilisuodattimeen regenerointikertojen funktiona (UEF), toiminnan testaus kenttämittakaavassa (BioSO4), suodattimen loppukäyttö maanparannusaineena/lannoitteena, kytkennät hampun kasvatukseen, päistäreun ja biohiilen sekä ravinteiden käyttöön myös muissa kohteissa, kuten turvesoilla (Hemka).

Suodatuksissa käytetyn hiilen regenerointia selvitettiin lähinnä kirjallisuuden ja muiden laskennallisten tarkastelujen avulla (ks. Tavoite 6:n tarkastelut sivuilla 10 – 11). Niiden pohjalta päädyttiin testaamaan suodatuksissa käytettyä hiiltä lähinnä kasvatuskokeissa eli lannoitteena.

Ranuan Kolomaan vedenpuhdistamolle tehtiin vierailu, jonka aikana suunniteltiin veden puhdistusta biohiili-biopolymeeriyhdistelmää hyödyntäen sekä jäännösveden, lietteen ja suodatuksessa käytetyn biohiilen hyödyntämistä hampun viljelyssä sisältäen tuotannollistaloudelliset laskelmat hampun tuotannon kannattavuudesta biohiilen ja kaukolämmön raaka-aineena.

Hampun viljelijöitä tavattiin eri puolella Suomea ja kartoitettiin hampun viljelymahdollisuuksia esimerkiksi turvesoilla, mihin loppukäyttöön suodattimissa käytetty biohiili ja biopolymeeri sopisivat.

Tyrnävän suodatuskokeesta hiiltä toimitettiin Bernerin Greencare -puolelle tuotekehityskokeiluihin sekä Jaakko Juntusen kasvimaalle. Lisäksi Ville Saarelainen teki Ranualla hampun taimiviljely- ja väinönputken juuren ja ruusunjuuren viljelykokeita. Koska hiiltä oli verrattain vähän, niin oli

järkevää keskittyä pienemmän mittakaavan viljelykokeisiin. Tätä varten ostettiin mm. multaa hankkeelle. Suodatuksessa käytetty hiili toimi kasvatuskokeissa odotetusti.

TP4 Hankkeen tulosten tarkastelu maankäyttösektorin Suomen 2035 hiilineutraaliustavoitteen, ympäristövaikutusten ja kaupallisen kannattavuuden näkökulmasta (Työpakettin vetovastuu UEF)

Työpaketti sisälsi tehtäväosiot: kvantitatiivinen arvio ilmastotavoitteiden toteutumisesta hankkeen aikana ja jatkossa teollisen kokoluokan kaupallisessa toiminnassa, kehitetyn ratkaisun ympäristövaikutusten ja turvallisuuden arviointi, kaupallisten näkökohtien tarkastelu (cost of ownership -laskenta), koko tuotteeseen liittyvän arvoketjun tarkastelu, ehdotus jatkotoimenpiteiksi.

Hamppua ostettiin alkutuottajalta ja toimitettiin raaka-ainetta esikokeisiin Eurooppaan. Lisäksi teetettiin tuotantoketjun esiselvitys ja markkinaselvitys, sekä kuituhampun CO₂-taselaskelma ostopalveluna, jotta saadaan kokonaisymmärrys hamppubiohiilen tuotannon kannattavuudesta ja käytännön mahdollisuuksista.

Hampun pyrolysointia ja siihen liittyvää optimointia on kuvattu tarkemmin raportissa myöhemmin tarkasteltaessa tavoitteiden 1 – 4 toteutumista.

3. HANKKEEN KESKEISET TULOKSET JA VERTAILU TAVOITTEISIIN

Hankkeen toteutuksessa päästiin jo heti alussa hyvin liikkeelle tutkimussuunnitelman ja aikataulun mukaisesti. Sen sijaan myöhemmin vuonna 2022 tapahtuneet muutokset hankkeen yrityspartnerien tilanteessa ja toiminnan suuntaamisessa aiheuttivat sen, että kaikkia heille suunniteltuja tehtäviä ja selvityksiä ei pystytty toteuttamaan täysipainoisesti. Toisaalta he eivät myöskään käyttäneet täysin heille varattuja resursseja varsinkin hankkeen jälkipuolella.

3.1 Hankkeen päätavoite ja sen toteutuminen

Hankesuunnitelman mukaisesti päätavoitteena oli valmistaa kotimaisen teollisen hampun viljelyn merkittävimmästä sivuvirrasta, päistäreestä, biojalostamalla kaupallisesti kannattava tuote: biohiili- ja biopolymeeripohjainen yhdistelmäsuodatin, joka soveltuu hyvin veden suodatuksen ja ravinteiden talteenottoon maataloudessa, valuma-/sulamisvesille ja kaivannaisalueille. Suodattimiin soveltuvan biohiilen tuotanto optimoidaan aiempien lupaavien laboratoriotulosten [1-3] pohjalta teollisessa mittakaavassa. Hiilen ominaisuudet räätälöidään vedestä ja ilmasta kerättävien ravinteiden tai epäpuhtauksien talteen ottamiseksi. Ratkaisun biohiili on regeneroitavissa ja uudelleen käytettävissä suodatuksen tai hyödynnettävissä kiertolannoitteena (hiilen sidonta) tai bioenergian tuotannossa.

Hankkeessa valmistettiin päätavoitteessa mainittu yhdistelmäsuodatin, jota testattiin onnistuneesti valumavesien puhdistamisessa. Kuva 2 havainnollistaa uutisointia.

Testauksia teollisuudessa/sovelluskohteissa

Myös testauksia vesilaitoksilla ja teollisuudessa sekä yhteistyötahojen kanssa Suomessa!

Kuva 2. Yhdistelmäsuodattimeen liittyvää uutisointia.



Hankkeen perusteella on mahdollista valmistaa veden suodatukseseen soveltuva yhdistelmäsuodatin hyödyntäen päistärettä ja biopolymeerejä. Kaupallisesta näkökulmasta biohiilen valmistaminen on vielä liian kallista, jotta ratkaisu olisi käytettävissä laajasti esim. maatiloilla, jotka muutenkin kamppailevat olemassaolostaan, mm. lannoitteiden hinnan jyrkästi noustua ja energiakustannusten kohottua. Tähän osaltaan voi helpotusta tuoda hiilidioksidin sidonnasta maksettava päästökauppa, koska maahan palautettuna biohiili on merkittävä hiilinielu. Hamppupohjaisen hiilen valmistaminen on periaatteessa hyväksyttävissä päästökompensointiin. Se täytyy kuitenkin todentaa ja hyväksyttää vapaaehtoiseen päästökompensointiin. Eräiden arvioiden mukaan biohiilen käytöllä saatettaisiin vähentää jopa 12 % koko ihmiskunnan kasvihuonekaasupäästöistä. Keskeisiä hamppuhiilen kaupallisesti kannattavaan hyödyntämiseen liittyviä tekijöitä ovat tasalaatuinen raaka-aine, tehokas logistiikka, prosessin jatkuvatoimisuus automaatiolla, investoinnin kustannukset, energian kierrätys ja biohiilen lisäksi prosessista saatavien nesteiden kaupallinen hyödyntäminen erilaisina tuotteina. Tällä hetkellä nämä kaikki edellytykset eivät vielä toteudu, joten kannattavuuteen kaivataan lisää ratkaisuja verrattuna hankkeessa käytettyihin tekniikoihin. Maytin tekniikka soveltuu mm. kehitysmäympäristöön.

Jos valumavesissä on ollut vain ravinteita, eikä liikaa haitallisia aineita, käytetty suodatin on edullisinta ja järkevää käyttää peltolannoitteena ja siten palauttaa ravinteet kasvien käyttöön. Mikäli vedensuodatuksessa suodattimeen on päätyntä liikaa haitallisia epäpuhtauksia esim. Cd tai Hg, jotta se soveltuisi peltoviljelyyn, se todennäköisesti kelpaa hyvin metsän lannoitukseen, mikä osaltaan lisää metsien hiilinielua.

3.2 Hankkeen yksityiskohtaiset tavoitteet ja niiden toteutuminen

Hankesuunnitelmassa kuvatut yksityiskohtaiset tavoitteet olivat:

1. Siirtää hampupohjaisen hiilen tutkimuksissa laboratoriossa ja teollisissa koeajoissa saadut lupaavat tulokset [2,3] jatkuvatoimiseen teolliseen tuotantoympäristöön

2. Koota prosessiajodataa jatkuvatoimisesta pyrolyysiprosessista [4], joka optimoidaan hamppuraaka-aineelle sopivaksi teollisessa mittakaavassa ja soveltuvaksi suodattimissa käytettävän biohiilen tuotantoon.
3. Tuottaa biohiiltä yhtäjaksoisesti 5–10 päivää n. 20–24 h/vrk.
4. Saada käytännön kokemus tuotannollistaloudellisista seikoista, jotka vaikuttavat tuotannon kannattavuuteen ja käynnistämiseen
5. Toteuttaa biohiileen ja biopolymeereihin perustuva yhdistelmäsuodatin ja kerätä/poistaa sen avulla kasvuravinteita jätevesistä ja biokaasuista. Ratkaisun avulla kerättäviä ravinteita ovat mm. typpi, fosfori, kalium ja rikki [5]
6. Testata yhdistelmäsuodattimessa käytetyn biohiilen regenerointi, eli ravinteiden liuottaminen hiilestä ja molempien uusiokäyttö sekä testata käytetyn suodattimen hyödyntäminen kiertolannoitteena esim. viljelykäyttöön kasvihuoneilla, peltoviljelyssä tai metsänlannoitteena.
7. Arvioida valmistetun hamppupohjaisen biohiilen vaikutusta kasvihuonekaasujen (GHG), metaanin (CH₄), typen oksidien (N₂O) päästöjen pienentämiseen vertaamalla biohiilen ominaisuuksia muilla hiilillä tehtyihin tutkimuksiin [5]

3.2.1 Kuhunkin tavoitteeseen liittyvät kokeet, keskeiset tulokset ja tavoitteen saavuttaminen

Tavoitteet 1 & 2: Hankkeen aikana valmistettiin ja/tai tarkasteltiin yli 80 erilaista biohiiltä valmistettuna pääasiassa eri hamppumateriaaleista ja myös verrokina puupohjaisista biomassoista. Osa näytteistä saatiin teollisilta toimijoilta ja osa oli valmistettu muissa hankkeissamme. Tämän kattavan näytesarjan keskeisiä ominaisuuksia (tiheys, koostumus, aktiivinen pinta-ala jne.) tutkittiin laboratoriomenetelmien avulla. Biohiilten ominaisuuksien optimoimiseksi toteutettiin mm. jälkilämpökäsittelyjä 500 – 1000 C:n välillä. Optimoinnin tuloksena havaittiin olettamuksen mukaisesti biohiilen C/O-suhteen ja BET-pinta-alan kasvu. Karakterisoinnin tuloksia ja päätelmiä siirrettiin myös hyödynnettäväksi teollisissa koeajoissa ja toisaalta teollisten koeajojen tuloksia siirrettiin huomioitavaksi laboratoriokokeissa. Oheinen kuvapari (Kuvat 3 ja 4) havainnollistaa, kuinka erityyppisten biohiilten koostumus ja toisaalta suodatuskyky vaihtelevat raaka-aineen mukaan. Vaikka hamppupohjaisten biohiilien hiilipitoisuus on jonkun verran pienempi kuin esim. puuhiilillä, sen aktiivinen pinta-ala on selvästi korkeampi (BET > 200 m²/g), hamppuhiili on tyypillisesti hyvin huokoista ja siinä on runsaasti esim. metallisten ionien sitoutumiseen soveltuvia pintapaikkoja.

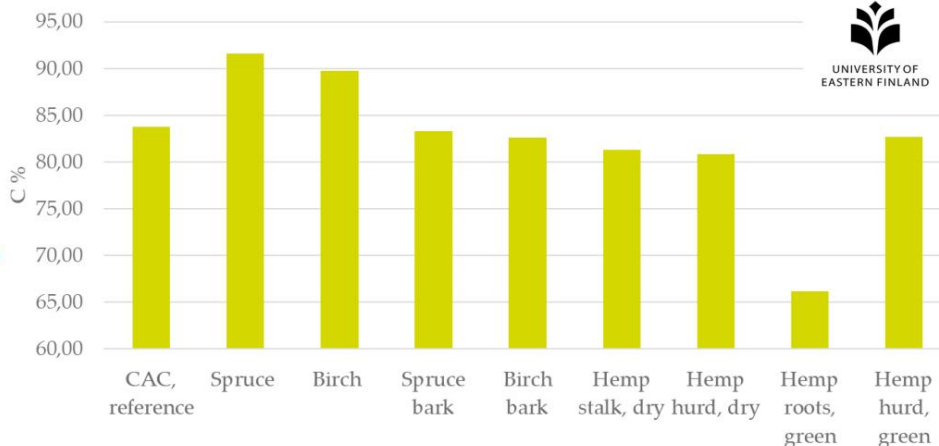
Hidaspyrolyysiprosessissa saadaan tyypillisesti biomassasta 1/3 biohiiltä, 1/3 nesteitä ja 1/3 kaasuja, ja yhdestä laboratorioajosta kerättiin yhdeksän nestefraktiota prosessin eri vaiheissa, eri lauhdutuslämpötiloista. Lauhtumattomia kaasuja ei otettu talteen. Teollisista ajoista otettiin hiilen lisäksi talteen soveltuvin osin nesteitä. Nesteille tehtiin rutiininomaisesti perusanalyysit prosessin toiminnan varmistamiseksi ja nesteiden jatkohyödyntämismahdollisuuksien arvioimiseksi.

Mainittakoon, että tässä hankkeessa keskityttiin hamppumateriaalin kokonaisvaltaiseen hyödyntämiseen ja kokeissa käytetyt muut biohiilet ja muut materiaalit toimivat verrokkeina ja oli valmistettu tai hankittu muissa hankkeissa.

Biohiilissä on merkittäviä eroja



- Koostumus
- Epäpuhtaudet
- Ravinteet
- Aktiivinen pinta-ala
- Toiminnallisuus



Huom. Spesifikaatiot käyttökohteen mukaan >>
vakioitu toimivuus ja kompensatiolaskenta,
kilogramma biohiiltä sitoo 3,5 kg CO₂:sta!

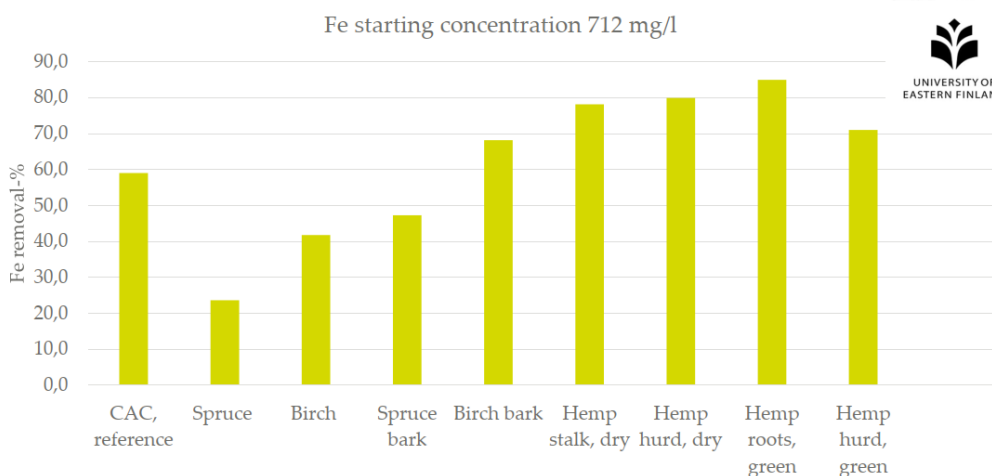
6

Kuva 3. Eri raaka-aineista valmistettujen biohiilten hiilipitoisuus.

Biohiilien suodatuskyky



- UEF toteutti laajan (yli 80 kpl) biohiili-vertailuaineiston analyysineen
- Mukana sekä laboratorion että teollisten kokeilujen hiiliä

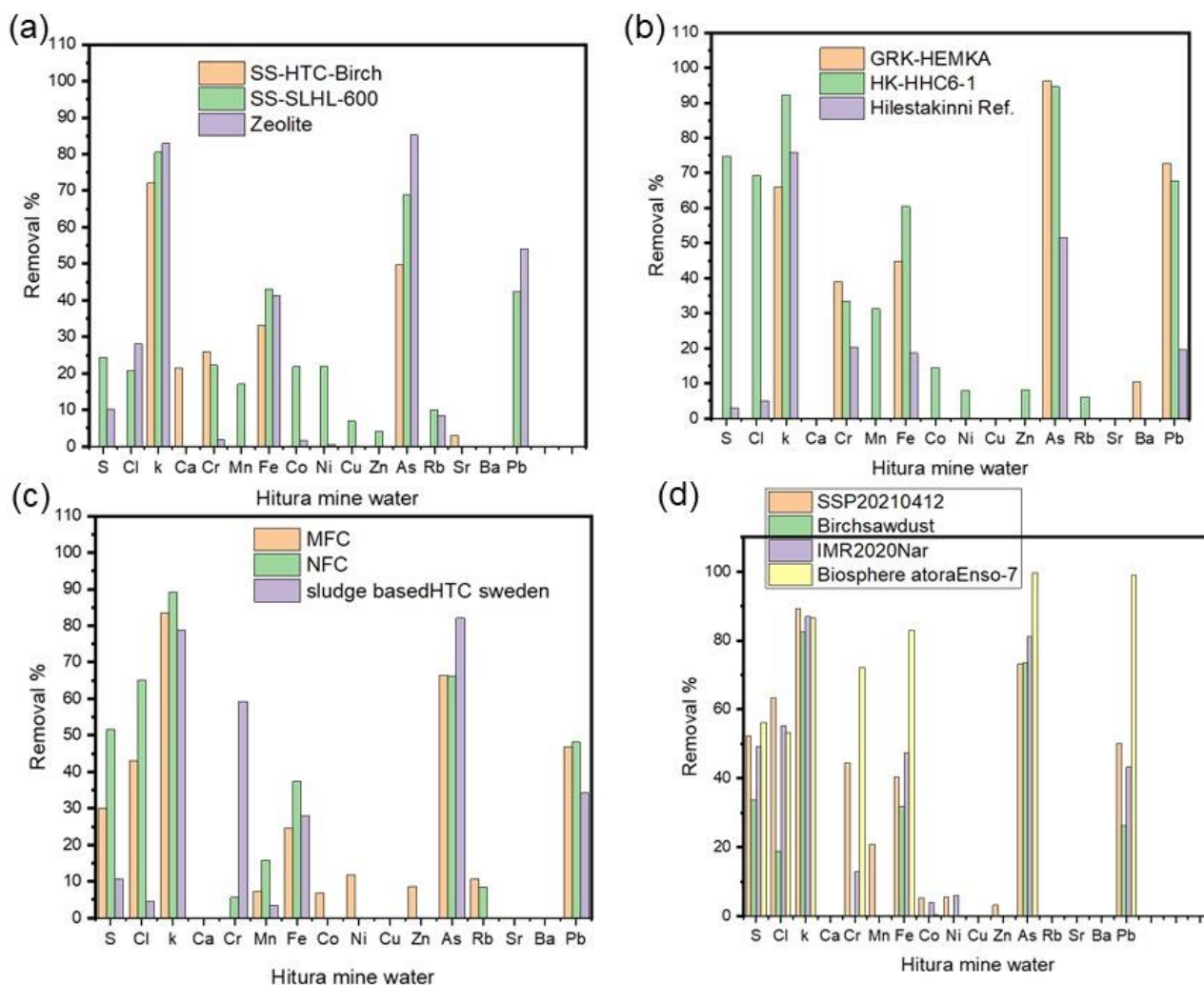


Hampupohjaiset hiilet poistavat hyvin esim.
rautaa vedestä!

7

Kuva 4. Eri biohiilien suodatuskyky raudalle.

Hampupuhiilten suodatuskykyä testattiin laboratorioympäristössä myös tyypillisillä kaivosvesillä sekä kotimaasta että ulkomailta. Oheinen Kuva 5 esittää eri biohiilten ja muiden referenssimateriaalien tehokkuuksia epäpuhtauksien poistamiseksi kaivosvedestä. Haturan kaivokselta saatuun veteen lisättiin joitakin epäpuhtauksia, jotta se edustaa paremmin erityyppisiä kaivosvesiä. Kuvan 5b materiaalit ovat tämän hankkeen hampupohjaisia biohiilimateriaaleja ja muut materiaalit toimivat hyvinä referenssinäytteinä kaupallisen potentiaalin tai kilpailukykyyn arvioimisessa.



Kuva 5 Testattujen materiaalien suodatustehokkuuksia eri epäpuhtauksille kaivosvedestä. Kuvan 5b materiaalit ovat valittuja hammupohjaisia materiaaleja.

Tavoitteet 2-4: Biohiiliä valmistettiin myös erityyppisillä teollisilla laitteistoilla (Kuva 6) sekä päästäreestä että suoraan hammupaaaleista. Hammupaaalien suora pyrolysointi hallitusti hiileksi osoittautui erilaisista optimointikokeiluista (raaka-aineen tiiveys, lämmön siirtämisen parantaminen reaktorin sisällä, materiaalin partikkelikoon muuttaminen pelletoinnilla jne.) huolimatta haasteelliseksi, koska tasainen lämmönsiirto paaleissa osoittautui varsin vaikeaksi saavuttaa erilaisista järjestelyistä huolimatta. Mikäli pyrolysoinnissa käytetään pellettiä, siihen hampun lisäksi lisätyt aineet voivat aiheuttaa merkittävästi ongelmia, kuten tässä hankkeessa tapahtui ulkomaisen pelletin tapauksessa. Pelletointi edellyttää murskausta ja kuitu kietoutuu helposti laitteiston pyöriin akseliin. Tiivistämättömän hammupumateriaalin pyrolysointiprosessi vaatii helposti pitkän ajan, biomassan täyttöaste jää alhaiseksi ja prosessin taloudellinen kannattavuus on huono.

Tässä hankkeessa keskityttiin ajoihin panostoisilla pyrolyysilaitteistoilla, mutta tulokset on yleistettävissä myös jatkuvatoimisiin pyrolyysiprosesseihin. Hammupohjainen biomassa kuten päästäre voidaan pyrolysoida hiileksi osassa teollisia laitteita joko sellaisenaan (esim. ruuvi-pyrolysaattori) tai puristamalla pelleteiksi, jotka soveltuvat myös kola- tai (metalli)moduulimattokuljettimien käyttäviin pyrolyysilaitteistoihin. Koeajoissa molemmat ratkaisut ovat osoittautuneet toimiviksi ja niillä pystytään valmistamana hammupohjaisia biohiiliä, jotka soveltuvat esim. suodattimiin. Pelletointi lisää kustannuksia noin 100 €/tn, mutta sen etuna on se, että pystytään laajemmin hyödyntämään myös hampunjalostuksen erilaisia hienojakoisia sivuvirtoja ja tarvittaessa lisäämään hammupubiomassaan myös prosessoinnin tai lopputuotteen kannalta hyödyllisiä

lisäaineita. Pelletistä valmistettu biohiili sisältää vähemmän hienoja partikkeleita, põlisee vähemmän ja on siten käyttäjäystävällisempää.

Tavoitteeseen 3 liittyen hankkeessa ajettiin batch-ajoa eri mittakaavoissa. Todettakoon, että projektin ulkopuolella Hemka Oy on testannut teollista biohiilien valmistamista jatkuvina ajoina yhdessä kaupallisten toimijoiden kanssa. Hankkeessa hyödynnettyjen biohiilien karakterisoinnista ja hyötykäytöstä on valmistunut posterit ja julkaisu valmistuu lähikuukausina.

Teollisia hiiltoajoja

- Testausta hammppumateriaaleilla
- Tuloksia
- Materiaalin, prosessien ja hiilen optimointia



Kuva 6. Kuvia teollisista hiiltokeiteista, laitteistoista, raaka-aineesta ja hiilistä.

Tavoite 1 & 5: Itä-Suomen yliopistolla toteutettiin laboratoriokokoluokassa veden suodatuskokeita erilaisilla hammppuhiilillä ja erilaisilla, esim. peltovesi- (vain nitraattityypin suodatuskokeet) ja lannoitevesinäytteillä sekä kalankasvatuslaitoksen vedellä. Referensseinä käytettiin erilaisia puuhiiliä ja aktiivihiihtä. Perusmäärityksistä havaittiin, että hiilien pH vaihteli melko paljon (5.3 – 10.1), ne sisälsivät pieniä määriä kalsiumia, kaliumia, fosforia ja rautaa (g/kg). Jotkut hiilet sisälsivät myös rikkiä, klooria ja mangaania (<g/kg), mutta merkittäviä pitoisuuksia raskasmetalleja ei havaittu. Hiilistä myös havaittiin liukenevan ravinteita jonkin verran veteen (90 min kontaktiaika).

Lannoitevedestä hammppuhiilet keräsivät kuparia (>70 %) ja rautaa (n. >65 %) hyvin ja mangaania vaihtelevasti (n. 10 % – n. 90 %). Kun hiiliä modifioitiin metallikäsittelyllä ennen suodatusta, mangaanin keräysteho oli lähes 100 %, mutta raudan keräysteho taas laski joillakin hiilillä huomattavasti. Fosforin ja rikin poistossa testatuilla hiilillä ei saatu kovin hyviä tuloksia, joistakin hiilistä liukeni jopa fosforia veteen. Toisaalta metallikäsittelyt hiilet poistivat fosforin vedestä lähes täysin, eli erilaisilla modifioinneilla voidaan vaikuttaa merkittävästi suodatustehoon ja -ominaisuuksiin. Joissakin tapauksissa on järkevää hyödyntää myös vaihteittaista yhdistelmäsuodatusta, jolloin räätälöity hammppu- tai hammppubiopolymeerisuodatin on osa laajempaa kokonaisuutta.

Tyypenpoistokokeissa (ammoniumtyyppi) hiilien välillä havaittiin suuria eroja (<5 % – n. 35 %). Metallikäsittelyt paransivat hiilien ammoniumtyypin keräämistehoa. Vaikutusmekanismeja tyypin poistumiselle voi olla useita: esim. joidenkin hiilien korkea pH voi aiheuttaa ammoniumtyypin kaasuuntumisen ammoniakiksi, mitä ei mitattu näissä kokeissa. Myös biohiilen määrällä ja

kontaktiajalla veden kanssa oli vaikutusta. Lisäksi havaittiin, että mahdolliset veden esikäsitteilyt ennen suodatusta, kuten kalankasvattamon veteen lisätyt flokkulantit vaikuttavat tuloksiin, kun erilaiset kemialliset prosessit etenevät vedessä varastoinnin aikana. Täten on siis tärkeää tietää, mistä vedet tulevat ja mitä niille on mahdollisesti tehty ennen suodatusta.

Lupaavien suodatuskoetulosten pohjalta on parhaillaan meneillään myös jatkosuodatuskoe laboratorio-olosuhteissa käyttäen todellisia saastuneita kaivosvesiä, joita on onnistuttu hankkimaan GTK:n kautta kotimaasta ja ulkomailta. Tavoitteena on testauksissa o verrata erilaisia hamppuhiiliä myös muihin ratkaisuihin, kuten puupohjaiset biohiilet, zeoliitit jne. Alustavat kokeet vaikuttavat lupaavilta ja aiheesta valmistunee julkaisu lähikuukausina.

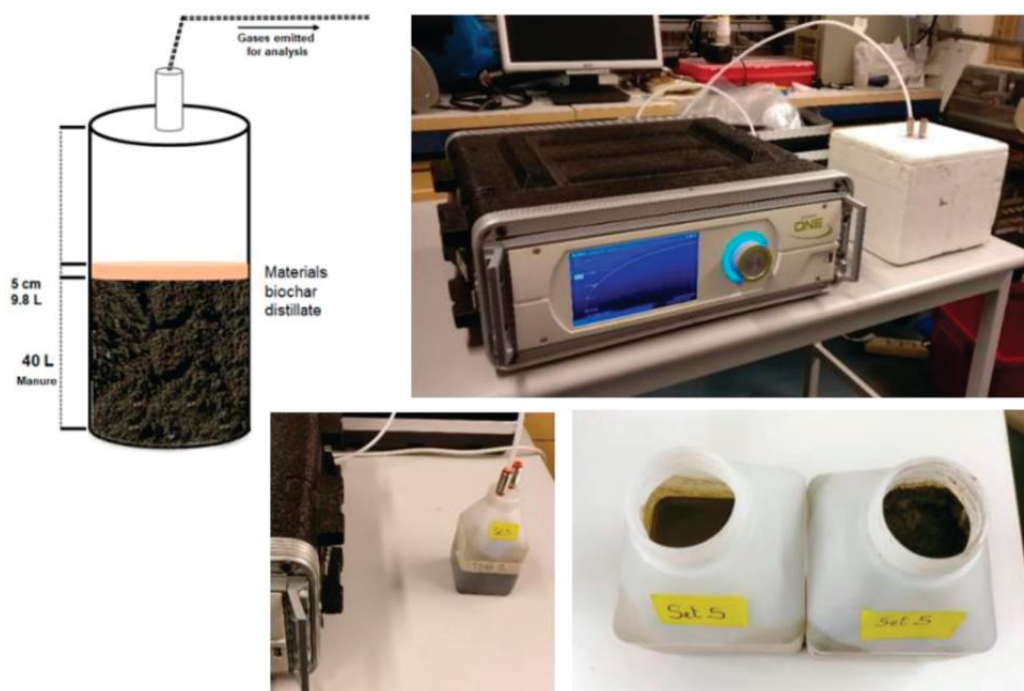
Tavoite 6: Alan kirjallisuuden perusteella biohiilten regenerointi uudelleen käytettäväksi onnistuu tietyin edellytyksin esim. kemiallisesti tai lämmön avulla, mutta ei aina ole taloudellisesti tai muuten järkevä vaihtoehto esim. tyypillisesti LCA-laskennassa tarkasteltavilla muuttujilla. Esim. jos biohiiliin on sidottu kasveille soveltuvia aineita (N, P, K jne.), on helpompi ja todennäköisesti taloudellisestikin järkevämpää hyödyntää hiili maanparannus- tai kasvihuonekäyttöön. Edellä olevan perusteella suodattimissa käyttämillemme hiilille ei tehty kattavia regenerointikokeita, eikä myöskään testattu regeneroitujen hiilien suodatuskykyä. Lannoitteiden hinnat nousivat jyrkästi hankkeen aikana ja siksi myös tässä hankkeessa suodatuksessa käytetyn hiilen lannoitekäyttö on järkevä vaihtoehto.

Mikäli suodattimeen on kertynyt haitallisia aineita pieniä määriä (Hg, Cd, Pb jne.) suodattimen kiinteä massa voidaan todennäköisesti levittää metsään lannoitteeksi samaan tapaan kuin tuhka, jossa on vastaavia epäpuhtauksia. Biohiili pellettimuodossa soveltuu levitykseen perinteisillä levittimillä.

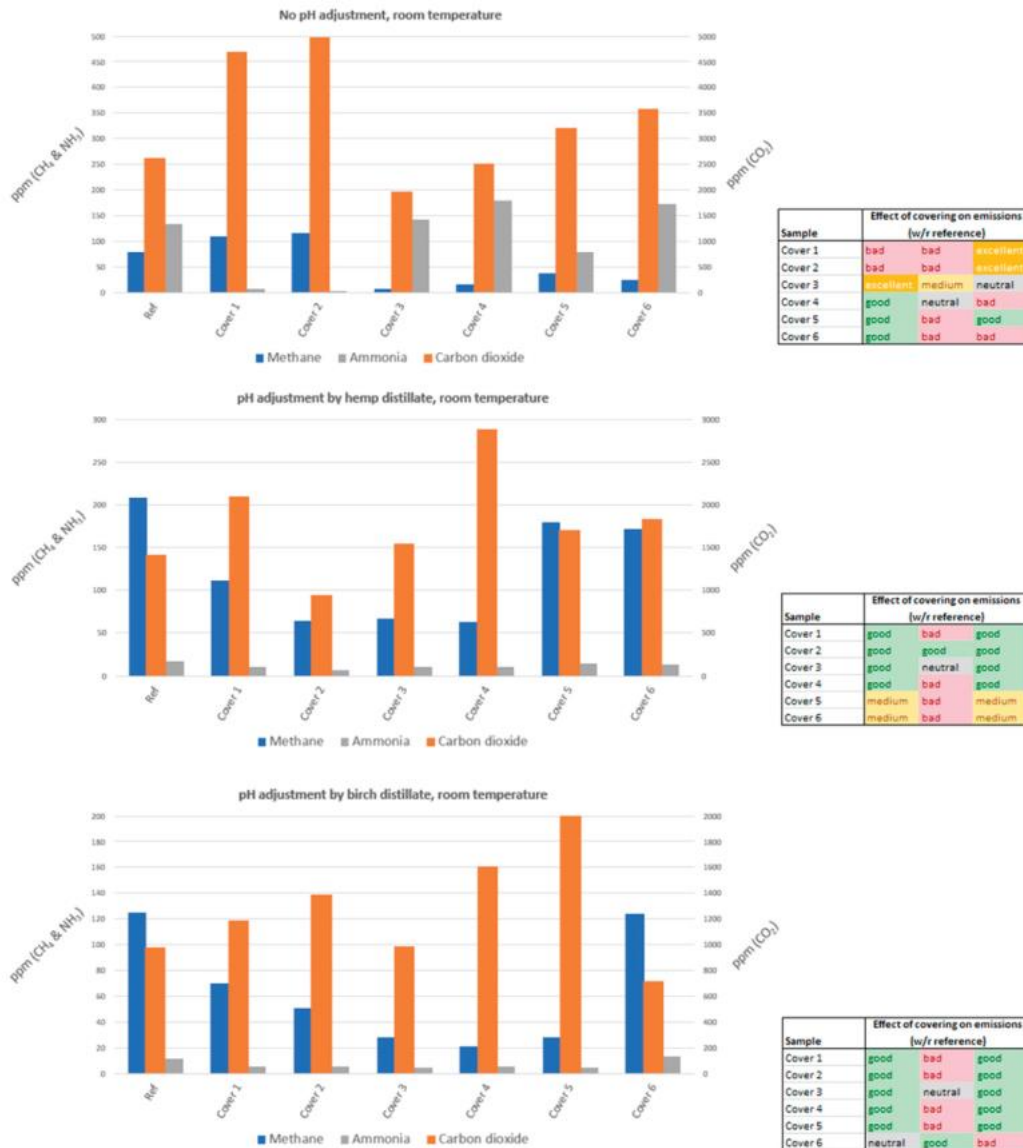
Biohiileen sidotut kaasumaiset aineet (N_2 , CO, CO_2 , CH_4 , NO_x , NH_3 jne.) voidaan vapauttaa lämpökäsittelmällä suodattimen biohiili esim. 300-600 C:ssa zeoliittien tapaan. Tämän jälkeen biohiili on uudelleen käytettävissä vastaavaan suodattimeen. Voimakkaasti biohiileen sitoutuneet haitalliset aineet kuten metalli-ionit, voidaan periaatteessa useimmiten poistaa hiilestä liuottimien, pH-käsittelyjen, happojen tai emästen avulla. Useimmissa tapauksissa tällainen regenerointi ei ole taloudellisesti kannattavaa vaan kannattaa esim. hyödyntää biohiili energian tuotantoon teollisessa savukaasusuodattimin varustetussa polttolaitoksessa.

Tavoite 7: Yhteistyössä Biosfääri-hankkeemme (Biosfääri Pohjois-Savo: Biomassan ja biojalostusteknologioiden hyödyntäminen liiketoiminnan kasvattamisessa, EAKR, A75980) kanssa toteutettiin kasvihuonekaasujen suodatuskoe erilaisilla, myös hamppupohjaisilla biohiilillä. Muut kuin hamppupohjaiset materiaalit olivat Biosfääri-hankkeen materiaaleja, hamppupohjaiset materiaalit olivat tämän Hillestä kiinni -hankkeen materiaaleja. Kokeessa pyrittiin pienentämään kasvihuonekaasujen vapautumista lietelannasta sen varastointia simuloivan kokeen aikana. Kokeessa lietelannan pinnalle levitettiin kerros biohiiltä tai muita materiaaleja ja lietelantaan lisättiin myös hidaspolylyysitiseitä happamuuden säätämiseksi. Käytäntöön sovellettaessa tätä konseptia, lietelanta kateaineineen hyödynnettäisiin peltolannoitteena. Lietelannan varastointi avosäiliöissä on maailmanlaajuisesti merkittävä kasvihuonekaasujen lähde, erityisesti metaanin, ammoniakkin, hiilidioksidin, typen oksidien ja vetysulfidin osalta. Biohiili ja verrokkimateriaalit lisättiin kerroksena lietelannan päälle ja/tai pH:ta säädettiin lisäämällä myös biohiilen valmistuksessa saatavia tseleitä. Verrokkina oli lietelanta ilman mitään lisäyksiä. Kaasuanalysointorin avulla kvantitoitiin vapautuvat kaasut (CO_2 , CH_4 , NH_3) eri aikapisteissä. Samalla testattiin myös tseleiden käyttöä yhdessä biohiilten kanssa ja toisaalta lämpötilan vaikutusta päästöihin. Tseleiden käyttö pH:n alentamiseen oletettavasti vaikuttaisi päästöjen pienenemiseen, koska aiemmin on saatu vastaavia tuloksia happolisäyksillä. Oheiset kuvat 7 ja 8 havainnollistavat koejärjestelyä ja tuloksia.

Tutkimuksessa havaittiin selkeitä eroja eri pH:n säätömenetelmien ja katemateriaalien välillä kaasupäästöjen sitomiskyvyssä (Kuva 8). Useimmat menetelmät vähensivät tehokkaasti joko metaani- tai ammoniakkipäästöjä, mutta hiilidioksidipäästöjen osalta vaikutus oli yleensä joko neutraali tai negatiivinen. Tutkimuksessa löydettiin muutamia lupaavia materiaaliyhdistelmiä, jotka vähensivät tehokkaasti sekä metaani- tai ammoniakkipäästöjä yhtäaikaaisesti ja olivat neutraaleja hiilidioksidipäästöjen suhteen. Varsinkin hamppu- ja koivutisleillä pH-säädettyjen näytteiden testeissä havaittiin rinnakkaisnäytteiden toistettavuus hyväksi.



Kuva 7. Vas. ylhäällä: Lietelannan kaasupäästöjen mittauksen periaate (tutkimuksessa skaalattu 500 mL:n näytekokoon). Oik. ylhäällä: Kaasupäästöjen mittausta kaasuanalysointorilla, 10 °C näyte lämpöeristetyssä laatikossa. Vas. alhaalla: Kaasupäästöjen mittaus näytepullostä huoneenlämpötilassa. Oik. alhaalla: lietelantanäyte ilman biohiilikatetta sekä biohiilellä katettuna.



Kuva 8. Lietelannan kaasupäästöjen tutkimuksen tuloksia. Useimmat katemateriaalit tehosivat tyypillisesti hyvin joko metaani- tai ammoniakkipäästöihin tai molempiin.

4. Toiminnan tai hankkeen vaikutus maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteiden määrärahan käytön tavoitteisiin

A Vaikutus maankäyttösektorin Suomen 2035 hiilineutraaliustavoitteen toteutumiseen

Seuraavassa tarkastellaan tämän hanketoiminnan vaikutuksia maankäyttösektorin Suomen 2035 hiilineutraaliustavoitteen toteutumiseen eri tavoin kohta kohdalta:

1. Ylläpitää ja vahvistaa maankäyttösektorin hiilinieluja ja -varastoja lyhyellä ja pitkällä aikavälillä

- Veden- ja ilmansuodattimessa käytetty biohiili on pitkän aikavälin hiilinielu itsessään; 1 kg biohiiltä maaperässä sitoo 2.0-3.2 kg CO₂:ia.
- Hampun viljelyssä sitoutuvan hiilen lisäksi hamppupohjaisen biohiilen tuotannossa syntyy sivuvirtana merkittävä määrä lämpöä, jolla voidaan korvata energiaturpeen ja hakkeen poltosta saatavaa kaukolämpöä (esim. Carbofexin hidaspyrolyysilaitos Tampereella tuottaa 1 MW:n lämpöä kaupungin kaukolämpöverkkoon).

- Pyrolyysilaitoksen päästöt ovat minimaaliset perinteiseen polttoon tai peltojen biomassojen mädättämiseen verrattuna, koska kaasut voidaan kierrättää prosessissa.
2. Vähentää kasvihuonekaasupäästöjä maankäyttösektorilla
- Biohiilen raaka-aineena toimiva hamppu sitoo tehokkaasti hiiltä maaperään massiivisen juuristonsa ansiosta ja palauttaa merkittävän osan käyttämistään ravinteista seuraavan vuoden ruokatuotannon kasvuston (viljat, peruna jne.) käyttöön, näin parantaen tulevan vuoden ruokasatoa. Hemka Oy on kattavasti arvioinut hampun viljelyn vaikutusta hiilensidontaan eri aikajäniteillä. Laaja-alaiset LCA-tarkastelut sisältäen hampun ja hamppuhiilen käytön on suunniteltu toteutettavan tulevissa hankkeissa, koska niiden toteutus tarvittavassa laajuudessa vaatii hankkeemme selvitysten perusteella merkittäviä resurssointeja eli erillisen hankkeen.
 - Ravinteiden talteenotossa (suodatuksessa) käytetty biohiili voidaan käyttää maaperään lannoitteena, jolloin biohiileen sitoutuu CO₂:ia ja biohiilen on todettu vähentävän maaperässä ollessaan myös muiden kasvihuonekaasujen päästöjä (N₂O, CH₄...). [5]
3. Edistää maa- ja metsätalouden sopeutumista ilmastonmuutokseen
- Hampun syvälle kasvavan juuren sitoman hiilen lisäksi hamppu on tehokas typen- ja humuksen sitoja, joten se estää tehokkaasti myös maaperän eroosiota. Siksi se soveltuu kiertoviljelyn lisäksi myös käytettäväksi silloin kun halutaan minimoida valumia. Hampusta saatavat biohiili- ja tisetuotteet puolestaan parantavat hampun viljelyn kannattavuutta päätuotteiden eli kuitujen tai öljyhampun siementen lisäksi. Kuituhampun tapauksessa pyrolysointiin soveltuva päästettä muodostuu suoraan kuitutuotannon sivuvirtana, sen sijaan öljyhampun tapauksessa korret käytetään suoraan maanparanteena sekoittamalla ne maaperään muokkauksen yhteydessä.
 - Maaperässä käytettynä biohiili tasaa kosteuden vaihtelua, jolloin kasvit kestävät paremmin kuivia kausia.
 - Suodattimessa käytettävällä hamppupohjaisella biohiilellä voidaan poistaa erilaisia ravinteita vesistöistä tai valumavesistä takaisin viljelykiertoon ja näin vähentää maa- ja metsätaloudesta syntyviä ravinteiden valumia, jotka eroosion ohella ovat osittain ilmaston muutoksen seurausta. Suodatuskäyttämistä tutkitaan mm. Suomen Akatemian rahoittamassa Uef:n ja GTK:n hankkeessa (MinPhos), joka käynnistyi syksyllä 2023.
4. Tuottaa tietoa ilmastotoimien tueksi ja edistää kyseisen tiedon käyttöä
- Hamppuhiilen teollisen tuotannon kannattavuutta ja kaupallisia näkymiä päästiin arvioimaan hankkeen eri työpakettien aikana ja jälkeen. Tutkimusten perusteella toiminta on kestävä kehityksen mukaista, mutta taloudellisen kannattavuuden osoittaminen vaatii vielä koko tuotantoketjun tarkastelua ja teollisten tuotantomenetelmien kehittämistä tarpeeksi suuressa mittakaavassa. Lisäksi tuotevalikoimaa pitää pystyä laajentamaan ottaen huomioon kaikki prosessista saatavat lopputuotteet, jotta koko hyödyntämispotentiaali tulee käytettyä kokonaisuudessaan.
 - Hampun teollisen mittakaavan pyrolysoinnista saatiin arvokasta kokemusta (prosessista saatavien lopputuotteiden massasaannot, perustiedot koostumuksesta), mikä on välttämätöntä sen lisäksi, että pyrolyysituotteiden toiminnallisia ominaisuuksia kartoitetaan. Vastaavan tyyppisiä tarkasteluja on tehty muille biomassaraaka-aineille muissa hankkeissamme. Nämä tarkastelut ja kokemukset luovat edellytyksiä kyseisen tiedon käyttämiselle teollisen tuotannon käynnistämisessä ja mahdollisesti jatkokehittämisessä. Esim. keskustelut USA:n vastaavien tyyppisten hampun kasvattajien, hyödyntäjien ja biohiilitoimijoiden kanssa

ja heidän kokemuksensa osoittavat, että on mahdollista tehdä kannattavaa liiketoimintaan teollisesta hampusta, todennäköisesti myös Suomessa.

- Suodatus- ja regenerointikokeista saatiin arvokasta tietoa ja kokemusta biohiili- ja biopolymeeripohjaisesta suodattimesta kaupallisena tuotteena veden- ja kaasunpuhdistusmarkkinoilla.
- Hankkeen tuottamaa tietoa voidaan käyttää ilmastotoimien tukena maankäytön näkökulmasta, mm. ottamalla turpeen energiakäytöstä poistettuja maa-aloja käyttöön hampun viljelyyn. Jatkokokeiluja ja tulosten jalkauttamista toteutetaan mm. Pohjois-Savossa Bioboost-hankkeessa.

B Hankkeen avulla tavoitellut suorat tai välilliset ilmastovaikutukset sekä niiden aikajänne

Hankkeen tulosten ollessa odotetun kaltaiset, hampua jalostava biolaitos, joka käsittelee 750 ha pinta-alan verran hampua, kykenee sitomaan n. 3500t CO₂ vuodessa samalla tuottaen 5 GWh verran kaukolämpöä, jolla voidaan lämmittää n. 300 omakotitaloa vuodessa. Esim. Carbofex Oy on jo mukana Fortumin lanseeraamassa Puro.earth-markkinapaikassa, jossa kauppatavarana on poistettu hiilidioksiditonni.

Hampun tuotannon sivuvirtana saadaan rakennusmateriaalien- ja komposiittien raaka-aineita sekä kuivikkeita ja kasvualustamateriaaleja, joilla voidaan korvata ympäristön kannalta kestävämpiä vaihtoehtoja, kuten turpeen käyttöä. Tuotannon sivuvirtoina saadaan tuotettua teollisuuteen myös pitkää luonnonkuitua. Pitkän hampukuidun käyttöä rakennusteollisuudessa lujitteena tutkitaan parhaillaan Suomessa eri puolilla.

Hamppu työllistää välillisesti viisi kertaa enemmän kuin viljanviljely maaseudulla ja soveltuu kasvatettavaksi koko Suomessa etelästä Lappiin saakka. Se estää voimakkaalla kasvullaan rikkaruohojen kasvua ja auttaa maaperän ominaisuuksien parantamisessa viljavaksi. Jo 5-10v aikavälillä hampua voidaan tuottaa Suomessa kestävä kehityksen mukaisesti muutamalla tuhannella hehtaarilla, mikäli tuotantoon otetaan ruoan kiertoviljelyn lisäksi turvetuotannosta poistuneet alueet, moottoritien pientareita, koivumetsän aluskasvimahdollisuus ja voimalinjojen alukset.

Hehtaari hampua sitoo n. 10–15 t CO₂:ia kasvaessaan, ja edelleen prosessoituna biohiileksi ja muiksi pitkäaikaisiksi tuotteiksi. Tuloksena on pitkäaikainen CO₂-sidonta, kun tuotteet käytetään esimerkiksi rakennusmateriaaleina ja lujitekomposiiteissa. Hiilensidontan laskentaan, mittaamiseen ja myynnin toteuttamiseen liittyen keskusteltiin mm. Harmony Blockchainin, Teemu Puikon, Thinnect Oy:n ja Luke:n kanssa. Keskustelujen perusteella jäljitettävyyden, vastuullisuuden ja laadunhallinnan vaatimat kattavan järjestelmän, jota ei vielä ole hampulle valmiina. Hankekokouksen yhteydessä kartoitettiin Kuopion kaupungin biohiilen käyttötarpeita sekä yhteistyömahdollisuuksia Biopallon kanssa suodatuskäytössä olleen biohiilen jatkokäyttömahdollisuuksiin liittyen. Sopivia testausympäristöjä löytyy eri puolilta Suomea.

Hampun viljelyllä turvataan turvetuotannosta työttömäksi jäävien yritysten työllistyminen kestävä toiminnan piiriin. Samoin voidaan hyödyntää olemassa olevaa turveyritysten konekanta ja muuntaa niitä biomassan korjuukoneiksi, jolloin konepajateollisuutemme työllistyy ja pääsee kehittämään hampun teollisessa tuotannossa tarvittavia vientituotteita.

C Hankkeen tuloksena saatu keskeinen tieto ja jatkotoimet

Hankkeen tuloksena saatu keskeisin kokemus ja tieto:

1. Uusi tieto ja kokemukset laboratoriossa ja teollisuudessa pyrolyysiprosesseista räätälöidyn biohiilen tuottamiseksi hammppuraaka-aineesta. Samalla toteutettiin myös prosessista saatavien nesteiden talteenottoa muita sovelluksia varten.
2. Veden ja biokaasun suodatuskokeiden tulokset erilaisilla biohiili-biopolymeeri-yhdistelmillä sekä pintakemioiltaan ja huokoisuudeltaan räätälöidyllä biohiilillä.
3. Biohiilen ja biopolymeerien regenerointiin ja uusiokäyttöön liittyvät tarkastelut ja selvitykset. Käytetyn materiaalin soveltuvuus lannoitteeksi/maanparannusaineeksi.
4. Kooste hankkeen tuloksista ja suunnitellun toiminnan vaikutuksista hiilineutraalisuuteen ja ilmastotavoitteisiin eri aika jänteillä Suomessa.

Hankkeen tuloksia tulee hyödyntämään teollisessa toiminnassaan hankkeeseen osallistuneet kotimaiset yritykset yhteistyötahoineen. Tiettyjä osa-alueita tullaan edelleen tutkimaan ja kehittämään myös jo meneillään olevissa yritysten ja yliopistojen hankkeissa, julkaisuissa ja väitöskirjoissa sekä muissa opinnäytetöissä. Tällaisista hankkeista, joissa Uef on mukana mainittakoon Suomen Akatemian rahoittamat WoodPro- ja MinPhos-hankkeet, kansallinen 3D-TY -hanke, BF:n Co-Innovation hankehakemukset (ABiCo ja CoCoBin) ja EBU-konsortion Destiny EU-hanke, jossa käynnistyy hamppuun keskittyvä väitöskirjatyö.

5. HANKKEEN KOKONAISBUDJETTI JA TOTEUTUMINEN

Hankkeelle myönnetty kokonaisbudjetti on koottu oheiseen taulukkoon toteuttajakohtaisesti jaoteltuna.

Budjetti		UEF	Hemka	MAYT	BioSO4
palkat+hsk	192 426,85	91 655,54	19 203,93	28 407,36	53 160,02
aineet	21 071,00	5 598,00	5 273,00	2 600,00	7 600,00
matkat	11 087,54	1 500,00	4 668,92	983,20	3 935,42
ostopalv.	23 700,00	1 500,00	20 000,00	2 000,00	200,00
yleiskulut 72%	65 991,99	65 991,99			
Yhteensä	314 277,38	166 245,53	49 145,85	33 990,56	64 895,44
MMM tuki€	219 994,17	116 371,87	34 402,10	23 793,39	45 426,81
	220 000,00				

Huomattakoon, että budjetoidusta rahoituksesta pystyttiin lopulta käyttämään noin 85%. Tämä arvio perustuu laskutuksiin MMM:lle, joista kaikista ei vielä ollut käytettävissä hyväksyttyjä kustannuksia (käsittelyssä MMM:ssä).

Viitteet

- 1) Kuituhampun kokonaisvaltainen käyttö, hankkeen loppuraportti, 2018 (https://media.uef.fi/GetFile.aspx?id=30529~5g~7QNdmVGOgdc&dt=2&cs=cJJy8hHYdgqUqC75b5OSMmfWurJNdQHM6dmLRL0koCFw_pptidnRWlihKf5G2Ni)
- 2) Hemp-based biochar for removal of metal ions from liquids & Hemp-based biochar for filtering and landscaping using low grade raw material for industrial process (Innovation disclosures, UEF). Lappalainen R, Tomppo L et al., 2017, 2018.
- 3) BioShield, Biobased distillates and seedbed products against plant diseases (Innovation disclosure, UEF). Lappalainen R., Heikkinen J, Salami A., Tomppo L. et al., 2018. 2021.
- 4) Carbofex Oy, Unique, state-of-art, turnkey solution for biochar (700 tons/year+600 tons/oil) and energy (1 MW) co-production at Tampere, <https://www.carbofex.fi/?view=Home>.
- 5) Biochar for Environmental Management, 2nd edition, J. Lehman and S. Joseph (eds.), 2015, Routledge, 928 sivua.

- 6) Complementary chemical characterization of distillates obtained from industrial hemp hurds by thermal processing. Salami, A., ... Lappalainen, R., Vepsäläinen, J. (2020) *Industrial crops and products*.155, 112760.
- 7) Synthesis of clay-cellulose biocomposite for the removal of toxic metal ions from aqueous medium. Abu-Danso, E. & Peräniemi, S., Leiviskä, T., Kim, T., Tripathi, K., Bhatnagar, A. (2019). *Journal of Hazardous Materials*. 381. 120871. 10.1016/j.jhazmat.2019.120871.