

KIERTOISA



kirjat ja tekstiilit
kiertoon Savonlinnassa

Yrittäjyys kiertotaloudessa – tekstiilien ja kirjojen uudet mahdollisuudet

24.3.2026

Salla Pulliainen & Miia Sourander, Xamk



Euroopan unionin
osarahoittama



Etelä-Savon
maakuntaliitto



SAVONLINNAN
TOIMINTAKESKUS



SAMiEDU



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Pilotointi kierrätettävien kirjojen kiertotalouden edistämiseksi

- Kiertoisa-hankkeessa suunniteltiin ja toteutettiin pilotointeja tekstiilien ja kirjojen kiertotalouden edistämiseksi.
- Tällä hetkellä poistokirjat ohjautuvat pääasiassa energiahyötykäyttöön.
- Etusijajärjestyksen mukaisesti kirjat tulisi hyödyntää raaka-aineena ennen energiahyödyntämistä.
- Yhtenä pilottina toteutettiin poistokirjojen pyrolyysikokeet.

Kuva: Salla Pulliainen



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Pyrolyysiprosessi

- Pyrolyysin raaka-aineena käytetään hiilipitoisia biomassoja.
- Pyrolyysiprosessissa hiilipitoista materiaalia kuumennetaan hapettomissa olosuhteissa 400–1200 °C:n lämpötilassa.
→ Raaka-aine ei pala, vaan hiiltyy kemiallisesti.
- Pyrolyysiprosessissa valmistuu hiilipitoista kiinteää ainetta (pyrolyysihiiltä/biohiiltä), pyrolyysikaasuja- ja tisleitä.
- Pyrolyysissa valmistetulla hiilellä on korkea hiilensidontapotentiaali ja useita käyttökohteita.
 - Voidaan käyttää esim. kasvualustoina, suodatuksessa ja maisemoinnissa, rakennustuotteissa, maataloudessa ja hiilensidonnassa.



Kuva: Salla Pulliainen



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Jätepaperi hiilen raaka-aineena

- Euroopassa eri raaka-aineista tuotettujen biohiilten laatuvaatimuksia ja käyttöä ohjaa Euroopan biohiilisertifikaatti, European Biochar Certificate (EBC).
- EBC määrittelee
 - biohiilen raaka-aineeksi soveltuvat materiaalit
 - tuotettavan biohiilen ominaisuudet, mm. alkuainevaatimukset ja raja-arvot haitta-ainepitoisuuksille
 - tuotettavan biohiilen käyttötarkoitukset sen ominaisuuksien perusteella.
- Jätepaperia voidaan käyttää biohiilen raaka-aineena
 - Voidaan käyttää tietyin rajoituksin maanparannusaineena ja lannoitteena.
 - Soveltuvuus matalamman vaatimustason käyttökohteisiin, esim. käyttötavarat, rakennusmateriaalit, elektroniikka ja komposiittimateriaalit.



Kuva: Salla Pulliainen



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Poistokirjojen pyrolysointikokeet

- Pyrolysointiin käytettiin Xamkin hitaaseen pyrolyysiin soveltuvaa pilottimittakaavan mobiili-biohiililaitteistoa.
 - Panostojen uunin tilavuus 400 l ja panoksen syötemäärä 200-400 l.
 - Pyrolyysilämpötila n. 350-700 °C.
 - Käynnistys ja lämmön ylläpito ulkoisella tulipesällä.
 - Uunin lämpötila pyrolysoinnin aikana riippuu mm. pyrolyysin vaiheesta, ulkoisen tulipesän avulla tuotetun lämmön voimakkuudesta, sekä uunin kerroksesta.
 - Pyrolyysikaasut lauhdutetaan tisleeksi tai poltetaan laitteen tulipesässä.



Poistokirjojen pyrolysointikokeet

Pyrolyysiprosessin seuranta:

- Pyrolyysikaasut



- Lämpötila



- Tisleen muodostuminen



Poistokirjojen 1. pyrolysointikoe

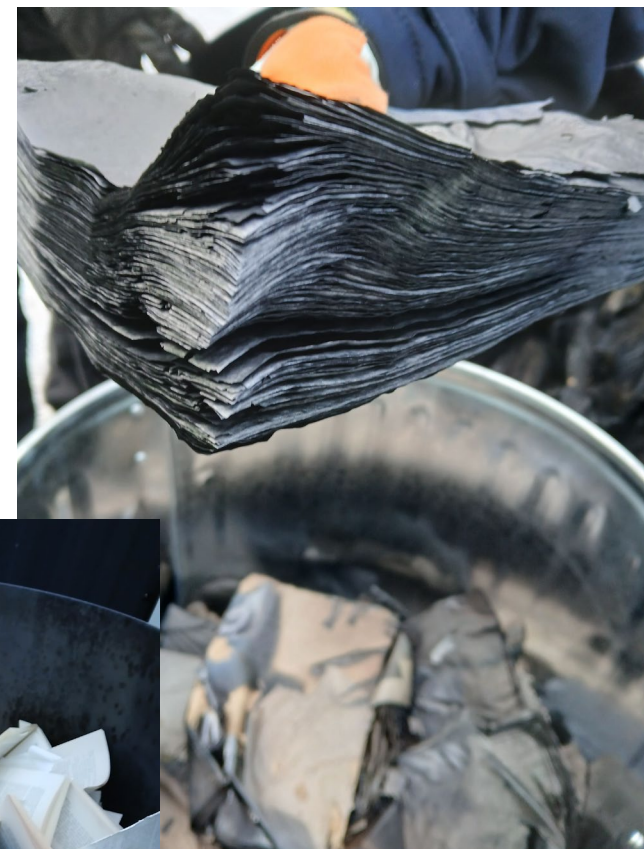
- Pyrolyysissä käytettiin kirjoja, jotka olisivat muutoin ohjautuneet energiajätteeksi ja joissa oli mahdollisimman vähän kuvia ja kiiltävää paperia.
- Xamkin ympäristölaboratoriossa raaka-aineelle tehtiin esikäsittelyä, jolloin esimerkiksi kirjojen kannet poistettiin käsityönä.
- Esikäsittelystä materiaalista määritettiin kuiva-aine (TS, Total Solids) ja orgaaninen aines (VS, Volatile solids).



Kuvat: Miia Sourander

Poistokirjojen 1. pyrolysointikoe

- Pyrolyysiprosessissa uuni täytettiin koko sen tilavuudelta (=massaa ~400 l).
 - Suurimmat kirjat pilkottiin pienempiin osiin ja keskelle uunia laitettiin ilmastusputki.
 - Prosessin korkein lämpötila oli ~800°C.
 - Pyrolyysi oli valmis, kun pyrolyysikaasuja ja tisleitä ei enää muodostunut ja lämpötila alkoi laskemaan.
 - Purku 2 vrk:n kuluttua pyrolyysistä, jolloin hiilet olivat jäähtyneet.
 - Korkeimmassa lämpötilassa oleva materiaali oli hiiltynyt.
 - Osa materiaalista ei ollut pyrolysoitunut.
 - Etenkin materiaalit, jotka olivat matalammalla uunissa ja siten matalammassa lämpötilassa.
- Kirjat olivat uunissa mahdollisesti liian tiivistä.



Kuvat: Miia Sourander



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Poistokirjojen 2. pyrolysointikoe

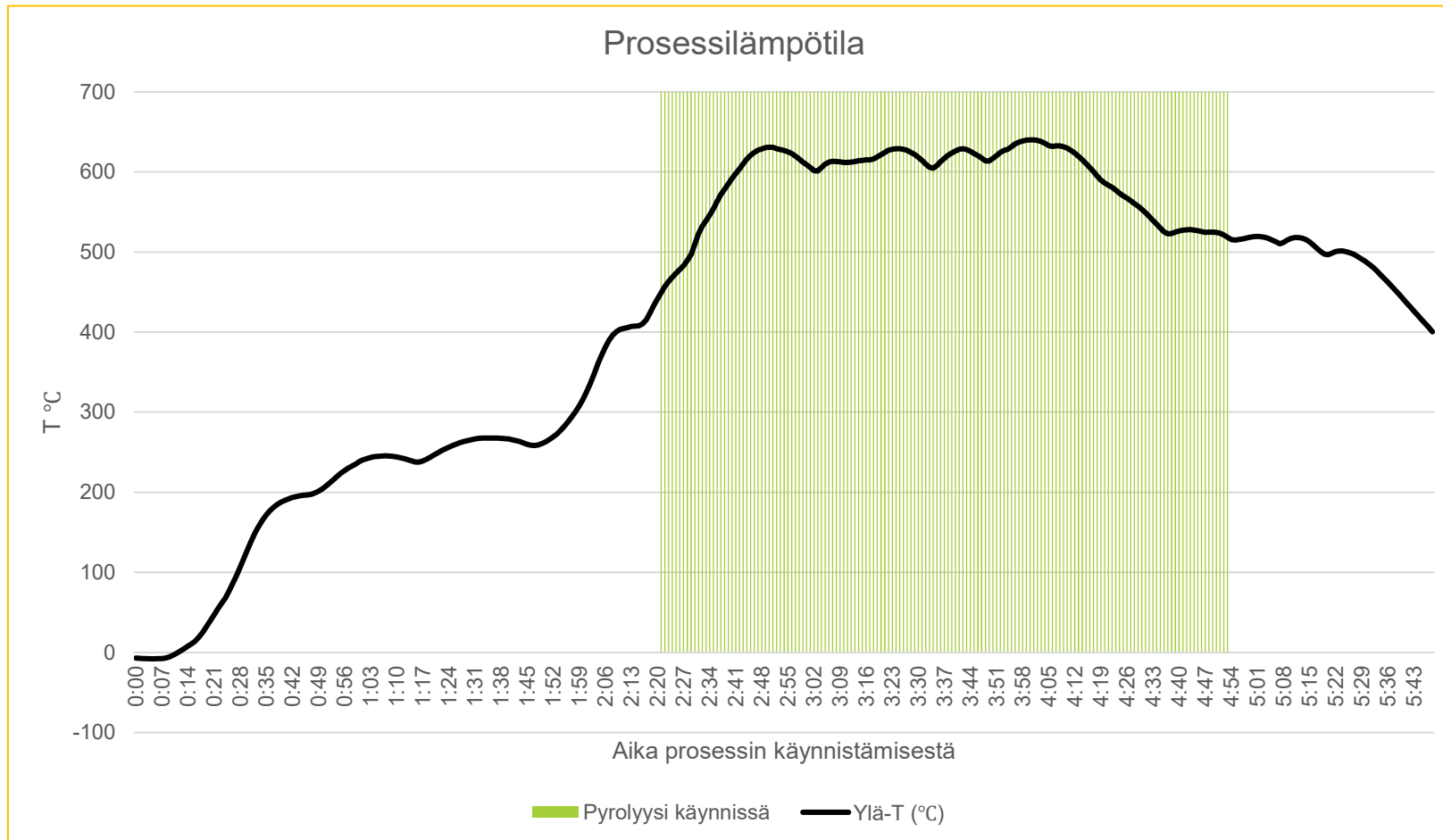
- Poistokirjojen 2. pyrolysointikokeessa kirjoille tehtiin enemmän esikäsittelyä, kuin ensimmäisessä kokeessa:
 - Kansien poiston lisäksi niteistä irrotettiin muutamia sivuja kerrallaan, jotka rypistettiin → tiiviyttä saatiin hajotettua.
- Kirjojen sivujen koontinäytteestä tehtiin TS- ja VS-määritykset Xamkin ympäristölaboratoriossa.
- Pyrolyysissä uunista noin 2/3 täytettiin raaka-aineella.
 - Muutosta ensimmäiseen pyrolyysikoeprosessiin → uunin täyttöaste vähäisempi.



Kuvat: Miia Sourander

Poistokirjojen 2. pyrolysointikoe

- Pyrolyysin lämpötila oli 450-640°C ja kesto 2,5 h.
- Pyrolyysisipanos purettiin 2 vrk:n kuluttua.
- Kaikki materiaali oli hiiltynyt, saanto oli ~40 %.



Kuva: Salla Pulliainen

2. kokeen hiilen ominaisuudet

- Analyysit ulkopuolisissa laboratorioissa:
 - Ominaispinta-ala (BET-analyysi): $109,6 \pm 1,0 \text{ m}^2/\text{g}$.
 - PAH (16) -yhdisteiden kaikki pitoisuudet olivat alle määrittäysrajojen (taulukko).
 - Kokonaishiili (C) 50,2 %.
- Analyysit/laskelmat Xamkin ympäristölaboratoriossa:
 - Vedenpidätyskyky: 313 % (3 rinnakkaisnäytteen keskiarvo)
 - Laskennallinen H/C-suhde: 0,44.

Yhdiste	Pitoisuus (mg/kg k.a.)
naftaleeni	<1.1
asenaftyleeni	<0.27
asenafteeni	<0.27
fluoreeni	<0.53
fenantreeni	<0.27
antraseeni	<0.053
fluoranteeni	<0.27
pyreeni	<0.11
bentso(a)antraseeni	<0.048
kryseeni	<0.053
bentso(b)fluoranteeni	<0.016
bentso(k)fluoranteeni	<0.016
bentso(a)pyreeni	<0.016
indeno(123cd)pyreeni	<0.016
dibentso(a,h)antraseeni	<0.016
bentso(ghi)peryleeni	<0.016
PAH, summa - alaraja	0
PAH, summa - yläraja	3,1

2. kokeen hiilen ominaisuudet

- Raskasmetallien pitoisuudet matalia (analysoitu ulkopuolisessa laboratoriossa).

Analyysi	Pyrolyysihiili (mg/kg k.a.)	Esim. EBC-Agro, EBC-Urban ja EBC-Materials raja-arvot* (mg/kg k.a.)
Arseeni (As)	2,1	13
Kadmium (Cd)	<0,40	1,5
Kromi (Cr)	18,4	90
Kupari (Cu)	11	100
Elohopea (Hg)	<0,20	1
Nikkeli (Ni)	6	50
Lyijy (Pb)	4,7	120
Sinkki (Zn)	7,5	400

Johtopäätökset

- Kokeissa optimaalisin tulos saavutettiin, kun syötteen partikkelikokoa pienennettiin ja materiaali käsiteltiin tasakokoisemmaksi syötteeksi.
- Pyrolyysihiilen saanto, alkuaineominaisuudet ja ominaispinta-ala, sekä matalat haitta-ainepitoisuudet tukevat sen mahdollista käyttöä eri sovelluksissa.
- Analyysitulosten perusteella tuotettu pyrolyysihiili voisi soveltua useisiin EBC-sertifikaatin mukaisiin käyttötarkoituksiin.
- Tarvitaan kuitenkin lisätutkimusta hiilen muiden ominaisuuksien selvittämiseksi, sekä tutkimuksia hiilen käytöstä soveltuvassa käyttökohteessa.
- Lisäksi pyrolyysiprosessia tulisi edelleen optimoida taloudellisen kannattavuuden kehittämiseksi.



Kuva: Miia Sourander

Kiitos!

Tulokset julkaistaan vuoden 2026 aikana hankkeen loppujulkaisussa, joka lisätään hankkeen verkkosivuille: www.xamk.fi/kiertoisa.

Lähteet

Bioenergia ry. Biohiili. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.bioenergia.fi/biohiili/#info>

Carbon standards international. 2025. Positive list of permissible biomasses for the production of biochar. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.carbon-standards.com/docs/transfer/4000095EN.pdf?t=87734>

Schmidt, H. P., Bucheli, T., Kammann, C., Glaser, B., Abiven, S., Leifeld, J., Soja, G. & Hagemann, N. 2025. European Biochar Certificate (EBC). Carbon standards international. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.carbon-standards.com/docs/transfer/4000093EN.pdf?t=1065751>



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu



Tunne huomisen.