

# TAIVALKOSKEN ALUEEN SIVUVIRTASELVITYS

Antti Pitkämäki, Linda Karlström ja Kimmo Heikkinen

5.3.2025 Lassila & Tikanoja



Taivalkosken teollisuusalue. Kuva: Riikka Tuomivaara

## Sisällys

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Taivalkosken alueen sivuvirtojen nykytilakuvaus .....</b>	<b>3</b>
2.1	Sivuvirtaselvityksen toteutus.....	3
2.2	Metsäteollisuuden sivuvirrat.....	4
2.3	Kala-, poro- ja maatalouden sivuvirrat.....	5
2.4	Muut yritystoiminnan sivuvirrat.....	5
2.5	Yhdyskuntainfrastruktuuriin liittyvät jätteet ja sivuvirrat .....	6
2.6	Yhteenveto .....	7
<b>3</b>	<b>Selvitys valittujen materiaalien hyödyntämisen kehittämisestä.....</b>	<b>8</b>
3.1	Materiaalien valinta jatkotarkasteluun .....	8
<b>3.1.1</b>	<b>Metsäteollisuuden sivuvirrat .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Kala-, poro- ja maatalouden sivuvirrat .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Muut yritystoiminnan sivuvirrat .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Yhdyskuntainfrastruktuuriin liittyvät jätteet ja sivuvirrat .....</b>	<b>9</b>
3.2	Mahdollisuudet kehittää valittujen materiaalien hyödyntämistä.....	9
<b>3.2.1</b>	<b>Puunkuoribiomassa biohiilen raaka-aineena .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Kalanperkeiden hyödynnettävyyden edistäminen.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Metallintyöstön metallipölyn kierrätysmahdollisuudet .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Voimalaitostuhkien kierrättämisen edistäminen .....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Yhteenveto .....</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>Lähteet .....</b>	<b>16</b>

## 1 JOHDANTO

Lassila ja Tikanoja Oyj (L&T) toteutti Koillis-Suomen kehittämissyhtiö Naturpolis Oy:lle ja sen hallinnoimalle Hiiliviisasta kiertotaloutta -hankkeelle selvityksen Taivalkosken alueen sivuvirtojen nykytilanteesta ja hyödyntämismahdollisuuksista (ns. feasibility study). Selvitys liittyy Taivalkosken teollisuusalueen kehitykseen. Selvityksessä on huomioitu millaisia merkittäviä sivuvirtoja Taivalkoskella syntyy, mitkä ovat niiden lähteet, miten niitä nykyään hyödynnetään ja mitä haasteita niiden hyödyntämiseen liittyy. Tunnistettujen merkittävien sivuvirtojen osalta selvitettiin miten niitä olisi mahdollista hyödyntää aiempaa paremmin ja minkälaisia toimenpiteitä tämä edellyttäisi. Näkökohtina huomioitiin liiketoimintamahdollisuudet, tarvittavat investoinnit ja mahdolliset eri sivuvirtojen hyödyntämiseen liittyvät tarvittavat arvoketjujen osat. Sivuvirtoina selvityksessä huomioitiin jätteet, sivutuotteet, hukkaenergia ja tyhjiillään olevat kiinteistöt.

Sivuvirtojen hyödyntämisen kannattavuuteen vaikuttaviin seikkoihin kuuluu syntyvien sivuvirtojen volyymit, kuljetustarpeet ja niiden hyödyntämisen infrastruktuuri. Tämän takia tarkastelua ei ollut mielekäästä rajata huomioimaan pelkästään Taivalkosken alue. Sen sijaan tarkastelussa otettiin huomioon Taivalkosken lisäksi alueen ja sen sivuvirtojen liittyminen laajemmin Koillismaan alueeseen ja sivuvirtoihin. Koillismaan alueella on jo aiemmin toteutettu erilaisia sivuvirtoihin liittyviä selvityksiä, jotka on huomioitu Taivalkosken alueen sivuvirtaselvityksessä, kuten Feasibility study: Koillismaan biotalouden kehittämisen ja kehittämisen skenaariot (Macon Consulting 2023). Vastaavasti on huomioitu meneillään olevat muut Koillismaan alueen sivuvirtaselvitykset ja näiden liittyminen Taivalkoskeen.

Laajin jo toteutettu Koillismaahan liittyvä sivuvirtaselvitys on ”Feasibility study: Koillismaan biotalouden kehittämisen ja kehittämisen skenaariot” vuodelta 2023 (Macon Consulting 2023). Kyseinen selvitys keskittyi ensisijaisesti Kuusamon Kuubio -bioteollisuusalueen kehittämiseen ja siihen soveltuviin sivuvirtoihin. Selvitys kattoi joidenkin sivuvirtojen osalta myös Taivalkosken. Idea toteuttaa Taivalkosken alueen sivuvirtojen kartoitus tuli em. Feasibility studyn valmistuttua. Taivalkosken sivuvirtaselvityksen tarkoituksena oli saada Taivalkosken sivuvirtojen mahdollisuuksista aiempaa tarkempi kuva - samalla Koillismaan sivuvirtojen tilanteesta ja mahdollisuuksista saatiin kokonaisvaltaisempi kuva.

Taivalkoskella on noin 3700 asukasta (tilanne 2023, Tilastokeskus 2024). Taivalkoskella on teollisuusalue, jossa on monia toimijoita kuten saha, konepajateollisuutta, varastotiloja sekä logistiikka-alan toimijoita. Taivalkoskella on myös huomattava määrä maataloutta, metsätaloutta, kalataloutta ja porotaloutta.

Selvityksen onnistumiselle olennaista on ollut kaikki selvityksen toteuttajalle myönnetyt haastattelut. Näin ollen L&T kiittää haastateltujen yritysten ja organisaatioiden eli Pölkky Oy:n, Atlantia Works Oy:n, Taivalkosken paliskunnan, Stena Recycling Oy:n ja Taivalkosken Voima Oy:n edustajia. Lisäksi L&T kiittää Taivalkosken kunnan edustajia Kauko Tyniä, Vesa Hannilaa, Varpu Paakinaho-Heikkistä ja Juha Tasalaa sekä ohjausryhmänä toimineita Naturpoliksen edustajia Leena Niemeä ja Jaana Määttä. L&T kiittää myös biohiiliosion kannalta olennaista tietolähdettä VTT:n tutkijaa Eskoa Saloa sekä kalanperkeitä koskeneen osion tietolähdettä Luken erikoistutkijaa Jaakko Hiidenhovia. Tuhkien osalta L&T hyödynsi omia tuhkan käsittelyn parissa työskenteleviä asiantuntijoita.

## 2 TAIVALKOSKEN ALUEEN SIVUVIRTOJEN NYKYTILAKUVAUS

### 2.1 Sivuvirtaselvityksen toteutus

Selvityksen kannalta olennaisten sivuvirtojen tunnistamisessa hyödynnettiin Taivalkosken alueen yrityslistausta, Koillismaalla toteutettuja aiempia sivuvirtoihin liittyviä selvityksiä, yritysten ja muiden organisaatioiden haastatteluja sekä Naturpoliksen asiantuntijoiden alustavia tietoja potentiaalisista sivuvirtojen lähteistä. L&T toimii alueella useiden yritysten jätehuoltokumppanina, joten myös L&T:n raportointijärjestelmän tietoja Taivalkosken alueen sivuvirroista hyödynnettiin. Tarkasteluun valittiin ainoastaan yrityksiä sellaisilta toimialoilta, joiden voidaan yllä mainittujen lähteiden ja L&T:n asiantuntija-arvion perusteella olettaa tuottavan merkittäviä määriä muita sivuvirtoja tai jätteitä kuin yhdyskuntajätteitä.

Taivalkosken alueen yrityslistauksen perusteella ja muiden yllä mainittujen lähteiden perusteella tunnistettiin valittujen eri toimialojen merkittävimmät yritykset. Yhtenä tarkastelukriteerinä käytettiin yrityksen liikevaihtoa ja henkilöstön määrää, sillä hyvin pienimuotoinen toiminta ei useinkaan tuota merkittäviä määriä uuden kiertotalousliiketoiminnan kannalta olennaisia sivuvirtoja.

## 2.2 Metsäteollisuuden sivuvirrat

Taivalkosken teollisuusalueella toimii mekaaniseen puunjalostukseen erikoistuneen Pölkky Oy:n saha. Yrityksellä on lisäksi neljä muuta tuotantolaitosta, joista kaksi on Kuusamossa. Muiden puuteollisuuden yritysten toiminta Taivalkoskella sekä koko Koillismaaan<sup>1</sup> alueella on Pölkkyä huomattavasti pienimuotoisempaa. Taulukossa 1 on esitetty Koillismaaan puunjalostusteollisuuden sivuvirrat jaoteltuna Taivalkoskeen ja Kuusamoon.

*Taulukko 1. Taivalkosken ja Kuusamon puunjalostusteollisuuden merkittävimmät sivuvirrat (lähde: metsäteollisuuden edustajan asiantuntijahaastattelu)*

Jäte tai sivuvirta	Määrä [t/v]		
	Taivalkoski	Kuusamo	Yht. (Koillismaa)
Tuorehake	110 000	150 000	260 000
Kuori	44 000	61 000	105 000
Kuivahake ja puru	13 000	18 000	31 000
Hiekkainen kuori	3 000	4 000	7 000
Höylälastu			5 000

Kaikki taulukossa 1 esitetyt sivuvirrat hyödynnetään jo. Tuorehake menee täysin selluteollisuuden raaka-aineeksi. Kuori hyödynnetään sahojen omissa tai sahojen ja niiden yhteisyritysten lämpökattiloissa. Lämpöä hyödynnetään sahoilla kuivausenergiana ja ylijäävän lämpöenergian osalta kaukolämmön tuotannossa. Taivalkoskella Pölkkyllä on Taivalkosken kunnan kanssa yhteisyritys Taivalkosken voima, joka operoi lämpökattilaa. Taivalkosken voiman sivuvirrat on käsitelty erikseen kohdassa ”yhdyskuntainfrastruktuuriin liittyvät sivuvirrat ja jätteet”.

Kuivahake ja puru toimitetaan energiateollisuudelle tai pelletin raaka-aineeksi. Hiekkainen kuori on peräisin sahan pihalle kertyvästä kuoriaineeksesta, joka on kostea, hiekkaista ja lämpöarvoltaan heikkoa. Hiekkaista kuorta voidaan sekoittaa puhtaan kuoreen sekaan ja hävittää se polttokattilassa. Hiekkaista kuorta on saatu hyödynnettyä myös yksittäisissä maanrakennusprojekteissa (esim. hiihtolatujen pohjissa), mutta hyödyntäminen maanrakentamisessa on kertaluonteista eikä jatkuvaa. Höylälastu on tuotteistettu paaleiksi, joita myydään esim. lemmikkien kuivikkeeksi.

Potentiaalisin puunjalostusteollisuuden sivuvirta uudelleenhyödyntämiselle on puhdas kuori, sillä sitä syntyy suuria määriä sekä Taivalkoskella että koko Koillismaalla, mutta sitä ei tällä hetkellä kierrätetä tai jalosteta materiaaliksi. Paikallinen sahateollisuus on tyytyväinen nykytilanteeseen, jossa kuori hyödynnetään paikallisesti energiana lämpökattiloissa, eikä uusille hyödyntämiskäytännöille ole akuuttia tarvetta. Kuoren poltosta ei yleisesti katsota aiheutuvan kasvihuonekaasupäästöjä, sillä poltosta vapautuu vain kuoren itsensä sitoma hiili, eikä tämän pitkällä aikavälillä katsota lisäävän ilman hiilidioksidipitoisuutta, toisin kuin fossiilisten polttoaineiden poltto. Toisaalta lyhyellä

<sup>1</sup> Koillismaa tarkoittaa tässä yhteydessä Taivalkoskea ja Kuusamoa yhdessä

aikavälillä tarkasteltuna päästöjä kuitenkin käytännössä syntyy, mistä johtuen myös puuperäisiin ja muihin ns. biogeenisiin päästöihin on alettu viime aikoina kiinnittää huomiota päästölaskentaan liittyvissä standardeissa (Greenhouse Gas Protocol 2024). Suomen tavoite on olla hiilineutraali 2035, mutta metsien hiilinielujen on todettu viime aikoina romahtaneen (Luke 2023). Nämä seikat luovat ajureita sille, että pitkällä aikavälillä myös puupohjaisten sivuvirtojen energiahyödyntämiselle tulisi etsiä vaihtoehtoja.

Puhtaan kuoren hyödyntämisen kehittämisen akuutimpi tarve on edistää hiekkaisen kuoren hyödyntämistä. Hiekkaisen kuoren hyödyntäminen helpottuisi, jos sille löytyisi jatkuva hyödyntämiskohde. Haasteena on hiekka, joka hankaloittaa kuoren käsittelyä ja hyödyntämistä. Hiekan poistaminen kosteasta kuoresta hyödynnettävyyden parantamiseksi on erittäin hankalaa käytännössä.

Muita metsäteollisuuden sivuvirtoja Taivalkoskella ovat risut puunkorjuusta, joita tulee 1000 kuutiota per työmaa. Ne joko jätetään metsään tai haketetaan energiakäyttöön.

### 2.3 Kala-, poro- ja maatalouden sivuvirrat

Taivalkoskella on kalankasvatustoimintaa, joista liikevaihdoltaan suurimpia ovat Kalankasvatus Vääräniemi Oy ja Napapiirin Kala Oy. Kalankasvatus Vääräniemi toimii myös Kuusamossa ja muualla Suomessa. Napapiirin Kala Oy kuuluu kuudesta yhtiöstä koostuvaan Hanka-Taimen ryhmään, joka toimii eri puolilla Suomea. Kalankasvatustoiminnasta syntyy Koillismaalla arviolta 200 tonnia kalanperkuujätteitä vuodessa. Ko. sivuvirta hyödynnettiin aiemmin paikallisten turkiseläinten ruokana, mutta turkistarhauksen loputtua kalanperkuujätteille on täytynyt etsiä uusia hyödyntämiskohteita. Toistaiseksi kalanperkuujätteille on löytynyt mm. Koillismaan ulkopuolelta turkistarha, joka voi vastaanottaa ko. sivuvirtaa. (lähde: kalatalouden edustajan asiantuntijahaastattelu)

Taivalkosken alueen porotalous tuottaa noin 30 tonnia teurastusjätteitä vuodessa. (Macon Consulting 2023). Koko Koillismaan porotalouden sivuvirtojen määräksi on arvioitu 70 tonnia vuodessa. Taivalkosken alueen porot kuljetetaan pääasiassa Pudasjärvelle teurastettaviksi. Taljat on saatu pääosin hyödynnettyä taljoina. Veri kerätään erikseen elintarvikkeeksi. Poron sarvia on toimitettu Kiinaan tai muille ulkomaisille toimijoille, mutta viime aikoina ko. toimijat eivät ole ottaneet sarvia vastaan. Teurasmonttuun päätyy mm. sisäelimet, koipinahka, luut, päät yms. Ko. materiaaleja on aiemmin toimitettu Honkajoki Oy:lle lihaluujauhon raaka-aineeksi, mutta tämä loppui kaksi vuotta sitten. Syy tähän oli todennäköisesti porojen teurasjätteiden liian suuri hiilipitoisuus. Uuden ratkaisun löytäminen sarville ja teurasmonttuun päätyville sivuvirroille olisi kiertotalouden kannalta merkittävää, sillä teurasmonttuun päätyvä materiaali jää kokonaan hyödyntämättä, minkä lisäksi niiden hajoamisesta aiheutuu kasvihuonekaasupäästöjä. (lähde: porotalouden edustajan asiantuntijahaastattelu)

Maatiloilta syntyy Taivalkoskella arviolta noin 19000 tonnia lantaa vuodessa. Arvio perustuu aiempaan selvitykseen, jossa arvioitiin pääasiassa Kuusamon alueen maatiloilta syntyvän lannan määrää (Macon Consulting 2023). Kuusamon alueen selvityksen tietojen perusteella laskettiin keskimääräinen lannan tuotto per maatilaneliö. Taivalkosken maataloustoiminta on keskimäärin samantyyppistä kuin Kuusamossa. Kertomalla Taivalkosken alueen maatilojen pinta-ala keskimääräisellä lannan tuotolla per maatilaneliö saatiin em. arvio Taivalkosken alueen maatilojen lannoista. Lannat käsitellään levittämällä ne pelloille.

### 2.4 Muut yritystoiminnan sivuvirrat

Taivalkosken teollisuusalueella toimii konepaja Atlantia Works Oy, joka valmistaa suurikokoisia teräsrakenteita. Konepajateollisuudelle tyypillisiä sivuvirtoja on erilaiset metallikappaleet, jotka saadaan erittäin hyvin kierrätettyä metalliraaka-aineeksi. Näitä sivuvirtoja Taivalkoskella syntyy yli 100 tonnia vuodessa. Hankalampi hyödynnettävä sivuvirta on metallin leikkaamisesta, pintakäsittelystä ja vastaavista toiminnoista syntyvä hienojakoinen metallipöly. Metallipölyä syntyy Taivalkosken metalliteollisuudesta noin 30 tonnia vuodessa – tosin tästäkin määrästä on suurin osa



laikkojen palasia ja niistä peräisin olevaa pölyä. Metallipöly on toimitettu loppusijoitettavaksi, sillä epäpuhtauksista johtuen materiaali ei kelpaa kierrätykseen. (lähde: metalliteollisuuden edustajan haastattelu)

Taivalkoskella on lisäksi majoitus- ja ravintola-alan toimintaa, kaupan alan yrityksiä, rakennusfirmoja sekä muuta yritystoimintaa kuten konehuoltoa ja logistiikka-alan yrityksiä. Yrityksiä on muutamia kymmeniä yhteensä ja niiden yhteenlaskettu henkilöstö on noin 160. Nämä kohteet tuottavat enimmäkseen yhdyskuntajätteitä ja hieman rakennusjätteitä. Näiden jätteiden kokonaismäärä tai laatu ei ole merkittävää uuden kiertotalousliiketoiminnan kehittämisen näkökulmasta, mistä johtuen niiden tarkempaa koostumusta ei ole tässä selvityksessä arvioitu. Toisaalta myös nämä jätteet tulisi lajitella ja ohjata mahdollisimman tehokkaasti kierrätykseen olemassa olevaa jätehuoltoinfraa käyttäen.

## 2.5 Yhdyskuntainfrastruktuuriin liittyvät jätteet ja sivuvirrat

Edellä mainittu Taivalkosken Voima Oy tuottaa Pölkyn sahan tarvitseman lämpöenergian lisäksi kaukolämpöä Taivalkosken kunnalle. Puuperäisten sivuvirtojen poltosta syntyy tuhkaa 400 tonnia vuodessa. Kuusamossa syntyy vastaavista toiminnoista 500 tonnia tuhkaa vuodessa. Taivalkoskella syntynyttä tuhkaa on toimitettu ForestVital Oy:lle hyödynnettäväksi metsälannoitteena. Haasteena on, että tuhkan ravinnepitoisuus on heikohko, mistä johtuen sen käyttö metsälannoitteena edellyttää suhteellisen suuria levitysmääriä. Tuhkalle soveltuvin levitysmenetelmä on lentolevitys, mutta se lisää kustannuksia. Tuhkan metsälannoitekäyttö on riippuvainen erilaisista tukimenetelmistä. Nämä seikat vaikuttavat tuhkan kiinnostavuuteen metsälannoitteena. Kaikkea syntyvää tuhkaa ei ole saatu lannoitekäyttöön kysynnän puutteen vuoksi. Kuusamon energia- ja vesiosuuskunta EVOlla on tuhkan rakeistuslaitos, jolla tuhkan hyödynnettävyyttä lannoitteena voidaan parantaa. Taivalkosken Voiman tuhka ei ole kuitenkaan sovelnut EVO:n prosessiin tuhkan hiekkapitoisuudesta johtuen. Tuhkassa on myös raskasmetalleja, etenkin vanadiinia, joita on kertynyt kuoriin. Tuhkan raskasmetallipitoisuudet ovat alle vaarallisen jätteen raja-arvojen eivätkä raskasmetallipitoisuudet aiheuta ongelmia metsälannoitekäyttöön. Kotipihoille tuhka ei kuitenkaan sovi lannoitteeksi eikä sitä luovuteta yksityishenkilöille. (lähde: Taivalkosken voiman haastattelu)

Tuhkaa on mahdollista myös hyödyntää maarakentamisessa ja tienpohjissa, jossa se korvaa maa-aineksia. Haasteena on ollut, että Koillismaan alueella on vähän rakentamista, eikä tuhkan kuljettamista kauemmas maarakennuskäyttöön ole pidetty kannattavana. Lisäksi tuhkan maarakennuskäyttö on tapauskohtaista eikä tuhkan tuottajan näkökulmasta niin kätevää kuin jatkuva hyödyntämiskohde. Tuhkan varastoinnille on lupa enimmillään kolmeksi vuodeksi. Välillä on ollut tilanteita, jossa tuhkalle ei ole löytynyt ajoissa hyödyntämiskohdetta, ja sitä on tästä johtuen jouduttu toimittamaan kaatopaikalle loppusijoitukseen. (lähde: Taivalkosken voiman haastattelu)

Taivalkosken jätevedenpuhdistamosta syntyy lietettä 620 tonnia vuodessa (Macon Consulting 2023). Taivalkoskella ja Kuusamossa syntyy yhteensä 3490 tonnia jätevesilietteitä vuodessa. Taivalkosken lietettä on kompostoitu aumakompostissa, mutta tuotetta on saatu huonosti eteenpäin hyödynnettäväksi (Macon Consulting 2023).

Taivalkoskella syntyy sekalaisia yhdyskuntajätteitä noin 700 tonnia vuodessa. Alueella on myös kaksi Rinki-keräyspistettä erilaisilla pakkausjätteille ja joitain paperinkeräyspisteitä. Erilliskerättyä biojätettä syntyy myös hieman. Kuusamossa yhdyskuntajätteitä erilliskerätyt jakeet mukaan lukien syntyy noin 8000 tonnia vuodessa (Macon Consulting 2023).

Sivuvirtoina on myös huomioitu hukkaenergia ja tyhjät tilat. Pölkyn ja kunnan yhteisomistuksessa olevan Taivalkosken Voiman ansiosta lämpöenergiaa ei mene hukkaan. Taivalkosken kunta on tehnyt alueella kartoituksia tyhjästä tiloista. Selvitysten perusteella tyhjiillään olevat rakennukset ovat niin huonokuntoisia, että ne kannattaa purkaa pois johtuen niiden ylläpitokustannuksista. Keskustajaamassa on muutamia käyttökelpoisia tyhjiä liikehuoneistoja.

## 2.6

## Yhteenveto

Taulukkoon 2 on koottu yhteenveto Taivalkosken alueen olennaisimmista sivuvirroista. Taulukossa on myös saatavilla olevat tiedot Kuusamosta ja koko Koillismaalta, sillä mitä suurempia määriä jotain sivuvirtaa on hyödynnettävissä, sen kannattavampaa hyödyntäminen on, eikä Taivalkosken sivuvirtoja kannata tästä johtuen tarkastella irrallaan muusta Koillismaasta.

Taulukko 2. Yhteenveto Taivalkosken alueen sivuvirroista ja niiden vertautuminen Kuusamoon ja koko Koillismaahan.

Sivuvirtaryhmä	Jäte tai sivuvirta	Määrä [t/v]			Nykytilanne
		Taivalkoski	Kuusamo	Yht. (Koillismaa)	
Puunjalostusteollisuuden sivuvirrat	Tuorehake	110 000	150 000	260 000	Selluteollisuuden raaka-aineeksi
	Kuori	44 000	61 000	105 000	Omiin lämpökattiloihin energiaksi
	Kuivahake ja puru	13 000	18 000	31 000	Energiateollisuuden polttoaineeksi
	Hiekkainen kuori	3 000	4 000	7 000	Hävitys polttamalla
	Höylälastu			5 000	Tuotteistettu mm. lemmikkien kuivikkeeksi
Kalanjalostuksen sivuvirrat	Kalan perkuujätteet			200	Turkistarhoille
Porojen teurastusjätteet	Porojen teurastusjätteet	32		66	Pääosin loppusijoitukseen
Maatalouden sivuvirrat	Maatilojen lannat	19 500	28 500		Peltolevitys
Metalliteollisuuden sivuvirrat	Mustaa rautaa ja koneistuslastua	120-180			Metallikierrätykseen
	Metallinen pöly ja hiomalaikat	30			Loppusijoitus
Yhdyskuntainfrastruktuurin sivuvirrat ja jätteet	Voimalaitoksen tuhka	400	500		Pääosin metsälannoitteeksi
	Yhdyskuntajäte	700	8 000		Energiahyödyntäminen (sekajätteen osalta)
	Jätevedenpuhdistamojen lietteet	620	2 870		

## 3 SELVITYS VALITTUJEN MATERIAALIEN HYÖDYNTÄMISEN KEHITTÄMISESTÄ

### 3.1 Materiaalien valinta jatkotarkasteluun

Kaikilta tarkastelluilta aloilta tunnistettiin sivuvirtoja, joiden hyödyntämisen kehittämiseksi on tarve. Vain osa näistä sivuvirroista valittiin jatkotarkasteluun, sillä Koillismaan alueella on menossa useita muita hankkeita, joissa eri sivuvirtojen hyödyntämistä jo kehitetään. Näin vältettiin selvityksen turha päällekkäisyys muiden selvityshankkeiden kanssa. Huomioitavaa on myös se, että Kuusamon alueelle ja osittain Taivalkosken alueelle on vuonna 2023 laadittu laaja selvitys, jossa tunnistettiin jo kehitysehdotuksia useiden Koillismaan sivuvirtojen osalta (Macon Consulting 2023). Alla on lyhyt yhteenveto muista hankkeista sekä perustelut jatkotarkasteltaville aiheille. Tarkasteltavien aiheiden valinta tehtiin yhdessä Taivalkosken sivuvirtaselvityksen ohjausryhmän kanssa.

#### 3.1.1 Metsäteollisuuden sivuvirrat

Puunjalostusteollisuuden sivuvirtoja on tutkittu jo kahdessa aiemmassa selvityksessä, jotka ovat ”Mekaanisen puunjalostuksen sivuvirtoihin liittyvät uudet liiketoimintamahdollisuudet sekä mahdolliset integraatiot energiantuotantoon – loppuraportti” vuodelta 2018 (Naturpolis ja Elinkeino- liikenne ja ympäristökeskus 2018) ja ”Feasibility study: Koillismaan biotalouden kehittymisen ja kehittämisen skenaariot” (Macon Consulting 2023) vuodelta 2023. Ensin mainitussa raportissa oli jo tunnistettu, että Koillismaan puunjalostusteollisuudesta syntyvä noin 100 000 tonnia puhdasta puunkuorta vuodessa voitaisiin hyödyntää teknisen biohiilen raaka-aineena, ja että Taivalkoski olisi sopivin sijoituspaikka laitokselle. Myöhemmässä raportissa mainittiin ko. sivuvirran mahdollisuus toimia joko pyrolyysiöljyn tai biohiilen sekä hemiselluloosan, siitä saatavien jatkojalosteiden ja rehun raaka-aineena. Raportissa esitettiin visio em. tuotteita valmistavan laitoksen sijoittamisesta Kuusamon Kuubion teollisuusalueelle. Biohiili kiinnostaa aiheena Koillismaalla, mistä on osoituksena myös meneillään oleva Naturpolioksen järjestämä selvitys jätevedenpuhdistamolietteen ja yhdyskuntabiojätteen seoksen hyödyntämisestä biohiilen raaka-aineena. Puunkuoribiomassan hyödyntäminen biohiilen raaka-aineena on Taivalkosken sivuvirtaselvityksen ohjausryhmän mukaan aihe, johon liittyvää tietämystä olisi hyödyllistä vielä entisestään syventää, mistä johtuen ko. aihe valittiin jatkotarkasteluun. Biohiili on myös Taivalkosken sivuvirtojen hyödyntämismahdollisuuksista mittakaavaltaan merkittävin, mistä johtuen siitä tehtiin muita sivuvirtoja laajempi, omiin alalukuihinsa jaettu tarkastelu.

#### 3.1.2 Kala-, poro- ja maatalouden sivuvirrat

Kalanjalostuksen merkittävimälle sivuvirralle eli kalanperkeille on ollut tarve löytää uusi hyödyntämiskohde, sillä Koillismaalla aiemmin kalanperkeitä turkiseläinten rehuksi vastaanottanut turkistarha on lopettanut. Kalanperkeiden toimittamista Koillismaan ulkopuolella sijaitsevaan turkistarhaan on kokeiltu. Kuusamon Feasibility studyssa (Macon Consulting 2023) esitettiin idea kalanperkeiden hyödyntämistä lemmikkieläinten ruuan valmistuksessa. Tämä edellyttäisi ko. tuotteen tuotantolaitoksen perustamista Koillismaalle. Haasteena on ollut, että tähän tarvittaisiin ulkopuolinen toimija, eikä idea ole vielä toistaiseksi edennyt. Kalanperkeitä voisi myös hyödyntää syötteenä biokaasulaitoksille. Kalanperkeiden hyödynnettävyyttä voidaan merkittävästi parantaa erilaisilla säilömenetelmillä. Tähän aiheeseen liittyvä selvitys on jo meneillään Koillismaalla. Tästä huolimatta myös Taivalkosken sivuvirtaselvityksessä tehtiin tiivis katsaus kalanperkeiden hyödynnettävyyden parantamiseen säilöntämenetelmillä.

Poron teurasjätteiden nykytilanne – päätyminen pääasiassa teurasmonttuun loppusijoitettavaksi – on kiertotalouden näkökulmasta huonoin mahdollinen ratkaisu. Tähän liittyen Koillismaalla on jo ”Sarvet ja separot kierto - kiertotalous käytäntöön poroteurastuksessa”-hanke (Naturpolis 2024-), jossa edistetään porotalouden sivuvirtojen hyötykäyttöä. Hanke valmistuu 30.9.2026 mennessä.

Maatilojen lantojen hyödyntämisen edistämistä selvitettiin jo pitkälle Kuusamon Feasibility studyssa. Lisäksi aiheeseen liittyen on osana ”Biomassat kierto Koillismaalla”-hanketta selvitetty jo maatilakohtaisten biokaasulaitosten mahdollisuuksista (Naturpolis 2023-). Hanke valmistuu 31.3.2026 mennessä.



### 3.1.3 Muut yritystoiminnan sivuvirrat

Taivalkosken metalliteollisuudesta syntyvä metallipöly päättyy nykyään loppusijoitukseen. Metallit ovat parhaimpia kierrätettäviä materiaaleja, mistä johtuen metallipölyn kierrätysmahdollisuudet otettiin jatkotarkasteltaviksi Taivalkosken sivuvirtaselvityksessä.

### 3.1.4 Yhdyskuntainfrastruktuuriin liittyvät jätteet ja sivuvirrat

Taivalkosken voimalaitoksen toiminnasta syntyvän tuhkan hyödyntämismahdollisuuksissa on nykyään jonkin verran haasteita, mistä on osoituksena se, että niitä on ajoittain jouduttu toimittamaan loppusijoitukseen kierrättämisen sijaan. Tästä johtuen tuhkien kierrättämisen edistäminen valittiin yhdeksi jatkotarkastelun aiheeksi.

Jätevedenpuhdistamolietteiden osalta on Koillismaalla jo käynnistetty em. hanke niiden hyödyntämisestä biohiilen raaka-aineena.

## 3.2 Mahdollisuudet kehittää valittujen materiaalien hyödyntämistä

### 3.2.1 Puunkuori biomassa biohiilen raaka-aineena

#### 3.2.1.1 Johdanto biohiileen

Biohiili on voimakkaan hiilipitoista ja huokoista ainetta, jota voidaan valmistaa biopohjaisista materiaaleista pyrolyysillä (Salo et al 2024). Pyrolyysissa eli kuivatislauksessa lähtöainetta kuumennetaan hapettomassa tilassa. Pyrolyysia on kahdenlaista: ns. nopeaa ja hidasta. Biohiiltä valmistetaan hitaalla pyrolyysillä, kun taas nopea pyrolyysi soveltuu paremmin tisleiden kuten bioöljyn valmistamiseen. Pyrolyysia toteutetaan useilla erilaisilla reaktorityypeillä, joilla on jokaisella omat vaatimukset raaka-aineen suhteen. Esim. puunkuori ei sovi kaikille reaktorityypeille. Reaktorityypin lisäksi lähtömateriaali vaikuttaa huomattavasti biohiilen ominaisuuksiin. Biohiiltä on useita erilaisia tyyppisiä, joilla on monia erilaisia käyttökohteita. Biohiili on merkittävä hiilivarasto, sillä siihen päättyy noin puolet lähtöraaka-aineen hiilisisällöstä. Hitaan pyrolyysin tarkoitus on maksimoida hiilen saanto, joka on puuraaka-aineilla raaka-aineesta riippuen noin 20-40%. (lähde: biohiilitutkimuksen asiantuntijahaastattelu)

Puupohjainen raaka-aine sisältää paljon energiaa, joka vapautuu pyrolyysissa kaasujen muodossa. Tästä johtuen puupohjaisia raaka-aineita hyödyntävä pyrolyysi edellyttää ulkoista energiaa ainoastaan prosessin käynnistämiseen - Pyrolyysin käynnistyttyä sen tuottamia palavia kaasuja pystytään hyödyntämään prosessin ylläpitämisessä. Pyrolyysi tuottaa siis paljon ylijäämäenergiaa, jonka hyödyntäminen on olennaista prosessin kokonaistaloudellisuuden kannalta.

Osa pyrolyysissa syntyvistä kaasuista on ns. kondensoituvia kaasuja, joista on mahdollista tuottaa pyrolyysiöljyjä lauhduttamalla. Raaka-aine vaikuttaa myös pyrolyysiöljyjen laatuun. Biopohjaisista lähtöaineista pyrolysoimalla valmistetuilla bioöljyillä on valtavasti potentiaalisia käyttökohteita, mutta niiden kaupallistaminen on haastavaa Euroopan kemikaalilainsäädännöstä johtuen.

Biohiiltä on mahdollista jatkojalostaa esim. aktiivihieksi, joka toteutetaan ns. vesihöyryaktivoinnilla 900C:ssä. Aktivointi voi tapahtua välittömästi heti pyrolyysin jälkeen. Aktiivihieiltä voidaan puhdistaa ja uudelleenkäyttää joitain kertoja. Loppuunkäytetty aktiivihie voidaan polttaa tai hävittää muutoin, esim. sekoittamalla se sementin joukkoon, jolloin sen hiilivarasto säilyy.

#### 3.2.1.2 Biohiilen käyttökohteet ja tulonlähteet

Biohiilen käyttökohteita ovat maanparannus, tuotteet kuten em. aktiivihie (esim. vedenpuhdistukseen) ja päästöjä vähentävät käyttökohteet, kuten käyttö metallurgiassa fossiilisen hiilen korvaajana. Tulonlähteitä eri käyttökohteilla on kolme: ylijäämäenergia, itse biohiilituote ja hiilikrediitit. Esim. jos biohiilitoimittaja valmistaa metallurgiselle toimijalle

biohiiltä, on tulonlähteinä tällöin biohiilen valmistuksen ylijäämäenergia ja itse tuote, joka kuluu prosessissa. Tällöin biohiilestä ei muodostu hiilivarastoa, mutta se korvaa fossiilista hiiltä.

Maanparannukseen tai muuhun pitkäaikaiseen varastoon biohiiltä myytäessä tulee tulonlähteeksi lisäksi mahdolliset hiilikrediitit. Biohiilestä on mahdollista saada hiilikrediittejä rekisteröitymällä jonkin valitun hiilenpoistostandardin, kuten Puro.earthin, rekisteriin. Tämä edellyttää, että biohiilen valmistaja toteuttaa elinkaarilaskelmat tuotteelleen ja noudattaa standardin ehtoja. Biohiili luokitellaan pysyväksi hiilen varastoksi, sillä hiilen arvioidaan säilyvän siinä vähintään 100 vuotta (Bioenergia ry 2024a). Yhdestä tonnista biohiiltä saa noin 2,5–3 hiilikrediittiä. Yhden hiilikrediitin hinta on noin 100–150 €. Hiilikrediittejä ostava taho voi kompensoida päästöjään ostetuilla krediiteillä. Biohiilen valmistaja ei voi laskea itselleen päästöhyötyjä valmistamastaan biohiilestä, mikäli biohiili on rekisteröity hiilikrediiteiksi. Biohiilen valmistaja voi kuitenkin hyödyntää biohiilen maanparannusaineena tai muutoin, kunhan biohiili säilyy hiilen varastona. Hiilikrediitit ja pyrolyysin ylijäämäenergia muodostavat arviolta 20–40 % biohiilen valmistuksen tulonlähteestä lopun tullessa itse tuotteesta. (lähde: biohiilitutkimuksen asiantuntijahaastattelu)

Monilla biohiilivalmistajilla on pitkäaikaiset sopimukset suuryritysten kanssa, jotka ostavat kaikki rekisteröidyt hiilikrediitit. Toisaalta osalla biohiilivalmistajista on ollut haasteita saada krediittejä myytyä. Euroopan unioni on kehittänyt sääntelyä hiilenpoistoihin liittyen (Bioenergia ry 2024a) ja biohiili on hyväksytty ko. sääntelyssä hiilivarastoksi. Tästä huolimatta biohiilestä saatavien hiilikrediittien markkina perustuu edelleen vapaaehtoisuuteen, mistä johtuen markkina ei ole vielä täysin kehittynyt. EU-sääntelyn edetessä myös hiilikrediittien markkina ja siihen liittyvä rahoitus todennäköisesti selkenee tulevaisuudessa. Joka tapauksessa hiilikrediiteille on selkeä kysyntä, sillä suuri määrä merkittäviä yrityksiä on asettanut hiilineutraaliutta koskevat tavoitteet. Tavoitteet on yleensä asetettu viimeistään vuodelle 2050, joskus aikaisemmin, mikä luo jatkuvasti kasvavaa tarvetta hiilenpoistolle ja päästökompensaatiolle (Science-Based Target initiative).

Biohiilituotteen hinta voi vaihdella 400 €:sta 2000 €:oon per tonni tuotetta, mutta keskimäärin hinta asettuu välille 900–1300 € per tonni. (lähde: biohiilitutkimuksen asiantuntijahaastattelu)

### 3.2.1.3 Biohiilen markkinat

Biohiilimarkkinoita ajaa eri tekijät eri puolilla maailmaa. Esim. Yhdysvalloissa viljelysmaiden huono kunto luo biohiillelle markkinaa maatalouspoliittisten ohjelmien kautta, mutta Euroopassa nimenomaan ilmastönäkökulmat ja biohiilen potentiaali hiilinieluna on tärkein ajuri (Bioenergia ry 2024b). Pohjoismaissa on noin 30 biohiilituottajaa, joista suurin osa on vasta suunnitteluasteella. Euroopassa oli vuoteen 2023 toteutunut 48 biohiilen tuotantolaitosta kokonaistuotannon ollessa 49 000 t biohiiltä (European Biochar Industry 2024). Arvio vuonna 2024 Euroopassa tuotetusta on yli 70 000 t (European Biochar Industry 2024). Haastatellun biohiiliasiantuntijan arvion mukaan vuonna 2030 Euroopassa olisi 1250 pyrolyysilaitosta. Perustuen tiedossa oleviin suunniteltuihin biohiiliprojekteihin vuonna 2024, markkinoiden kasvutahdin arvioidaan olevan 55 % vuodessa tällä hetkellä (European Biochar Industry 2024).

Suomessa maanparannus ja kasvualustat ovat pieni markkina biohiilen näkökulmasta, vaikka biohiilen käytön lisäämiseen on kiinnostusta. Haasteena on biohiilen nykyinen hintataso. Hintatason aleneminen voisi kasvattaa markkinaa merkittävästi. Biohiilen käytölle metallurgiassa on kasvava kysyntä. Jos biohiilen tuotanto kehittyy metallurgiavetoisesti, muiden käyttökohteiden markkinat voivat kehittyä samalla hintatason tullessa alaspäin. Metallurgia on päästökaupan piirissä, mikä mahdollistaa biohiilen maanparannuskäyttöä kehittyneemmän markkinan - päästöjen hinnan noustessa fossiilisen hiilen korvaaminen biohiilellä metallurgiassa muuttuu yhä kannattavammaksi. Biohiilen nykyinen hintataso ei ole ongelma alhaisen hintasensitiivisyyden käyttökohteille - esimerkkinä kuluttajille myytävät kasvualustat, joihin on lisätty hieman biohiiltä. Tämän kaltaiset tuotteet eivät kuitenkaan toimi massiivisina hiilivarastoina tai korvaa fossiilista hiiltä - biohiilen markkinoiden merkittävin ajuri on nimenomaan niiden potentiaali toimia hiilivarastoina ja fossiilisen hiilen korvaajina suuressa mittakaavassa. (lähde: biohiilitutkimuksen asiantuntijahaastattelu)

#### 3.2.1.4 Puunkuoresta tehdyn biohiilen mahdollisuudet ja haasteet

Puunkuoresta tehty biohiili ei mahdollista kaikkia vastaavia käyttökohteita kuin puuhakkeesta tehty biohiili. Esim. puunkuoresta tehdyn biohiilen eräs mahdollinen ongelma on se, että ko. biohiilen polyaromaattisten hiilivetyjen eli ns. PAH-yhdisteiden pitoisuudet saattavat olla liian korkeat maanparannuskäyttöön. Puunkuoribiohiilellä on suhteellisen suuri tuhkan pitoisuus ja matala hiilipitoisuus, mikä saattaa muodostaa esteen sen hyödyntämiselle metallurgiassa. Puunkuoribiohiilen jalostamisesta aktiivihieksi on jo lupaavia tutkimustuloksia. Se on soveltunut esim. mikromuovin poistamiseen vedestä. Biohiilestä jalostetulla aktiivihieellä voidaan korvata fossiilista aktiivihieiltä. Toinen kiinnostava mahdollisuus on kehitteillä oleva prosessi, johon sisältyy polttoaineiden valmistaminen hiilidioksidista, ja jossa voitaisiin hyödyntää merkittäviä määriä biohiiltä. Ko. prosessia kehitetään VTT:n Launchpad spin-off-hautomotiimin Calciner-tiimissä. Puunkuoresta tehty biohiili toimisi prosessissa kokeiden perusteella hyvin. Haasteena on ollut, että kuoresta tehtyä biohiiltä ei ole ollut saatavilla merkittäviä määriä. (lähde: biohiilitutkimuksen asiantuntijahaastattelu)

Haasteeksi biohiililaitokseen investoimisessa on osoittautunut se, että laitost kokonaisuus koostuu monista eri prosesseista ja komponenteista, jotka täytyy hankkia monilta eri yrityksiltä. Tämä aiheuttaa sen, että sekä laitoksen suunnittelu että siihen liittyvä hankinta on varsin monimutkaista. "Avaimet käteen"-tyyppisiä toimittajia on nykytilanteessa vain vähän, ja tällä tavalla toimitettuna laitosten investointi tulee erittäin kalliiksi (lähde: biohiilitutkimuksen asiantuntijahaastattelu). Kuusamon Feasibility studyssa 100 000 t puunkuorta raaka-aineena käyttävän laitoksen investoinnin suuruusluokka oli 40 miljoonaa euroa ja lisäksi toiset 40 miljoonaa euroa, mikäli laitokseen lisättiin vielä lisää tuotteita mahdollistava uuttoprosessi (Macon Consulting 2023). Esimerkki toteutuneista kustannuksista on Vow ASA:n 27 Yhdysvaltain dollarin laitost kokonaisuus, joka tuottaa uusiutuvaa energiaa ja biohiiltä (Vow ASA 2023).

Eräs vaihtoehto on rakentaa laitos osittain omin voimin ja tilata laitost kokonaisuuden sijaan laitost komponentit suoraan valmistajilta. Tällöin voidaan päästä moninkertaisesti - jopa 10 kertaa - halvemmilla investointikustannuksilla, mutta toisaalta tämä edellyttää syvällistä osaamista pyrolyysiprosesseista ja valmiutta ottaa itse vastuu laitteista. Kolmas vaihtoehto on malli, jossa raaka-aineen tuottaja tarjoaa raaka-aineen ja tehdaspaikan sekä mahdollisesti investoi laitokseen siten, että biohiililaitoksen rakentamisesta ja operoinnista vastaisi kumppani. Haasteena on myös pitkät toimitusajat laitoksille, 1-2 vuotta. (lähde: biohiilitutkimuksen asiantuntijahaastattelu)

Biohiililaitoksia koskevista haasteista huolimatta pienen mittakaavan laitoksia on saatu onnistuneesti toimitettua ja operoitua. Kapasiteetti näissä on n. 50-300 tonnia biohiiltä vuodessa. Yli 100 t biohiiltä vuodessa tuottavat laitokset ovat harvinaisia. Suurimmat biohiililaitokset Euroopassa ovat tuotannoltaan luokkaa 10 000 tonnia vuodessa. 100 000 tonnista puunkuorta voisi saada 30 - 40 000 tonnia biohiiltä, mikä olisi siis 3-4-kertainen Euroopan suurimpiin laitoksiin verrattuna. (lähde: biohiilitutkimuksen asiantuntijahaastattelu)

#### 3.2.1.5 Yhteenveto

Biohiilen markkinakehitys – jota metallurgiavetoinen hyödyntäminen voi kasvattaa vielä tässä esitettyjä ennusteita enemmän – indikoi merkittävää liiketoimintapotentiaalia biohiilen valmistamiselle sahateollisuuden sivuvirroista tulevaisuudessa. Haasteena on nykytilanteessa vielä suuret investointikustannukset. On oletettavaa, että biohiilimarkkinoiden kehittyessä myös markkina laitost valmistajien ja laitost kokonaisuuden toimittajien osalta kypsyy, jolloin biohiililaitokseen investointi muuttuu myös sahateollisuuden näkökulmasta yhä houkuttelevammaksi. Vaikka Taivalkosken sahateollisuus on arvioinut puunkuoren polttamisen energiaksi on nykytilanteessa optimaaliseksi vaihtoehdoksi, biohiileen liittyvät investoinnit muuttuvat ajan myötä kannattavammiksi. Biohiilen tuottamisen kiinnostavuuteen vaikuttaa tulevaisuudessa myös vallitseva kehitys, jossa myös bioperäisiä polttoaineita aletaan ajattelemaan yhä enemmän päästölähteinä.

Taivalkosken sahateollisuuden kannattaa hyvissä ajoin määritellä biohiili-investointien osalta tilanne, jossa laitosten investointien ja biohiilituotteiden hintatasot sekä puunpoltoon liittyvä sääntely-ympäristö ovat kehittyneet pisteeseen, jossa biohiilen tuotanto arvioidaan realistiseksi vaihtoehdoksi nykytilanteelle. Tämä edellyttää biohiilimarkkinoiden ja laitost toimittajien tarjonnan aktiivista seurantaa, mutta biohiilimarkkinoiden toteutuneen ja

ennustetun kehityksen perusteella laitosinvestoinnille optimaalinen tilanne voi tulla eteen nopeastikin. Edetessä biohiililaitokseen investoimisessa on virheiden välttämiseksi suositeltavaa itsenäisen kehittämisen sijaan tehdä yhteistyötä alalla jo 10–15 vuotta toimineiden pienten yritysten kanssa. Eräs kiinnostava huomioitava mahdollisuus on myös Business Finlandin investointiavustus suurille puhtaan siirtymän investoinneille, joka voidaan myöntää investointihankkeille, joiden hyväksyttävät kustannukset ovat vähintään 30 miljoonaa euroa (Business Finland 2025).

### 3.2.2 Kalanperkeiden hyödynnettävyyden edistäminen

Perinteisesti kalanperkeet on hyödynnetty turkistarhoilla, mutta turkistarhojen toiminnan vähentyessä, tulee kalanperkeille löytää muita hyödyntämisvaihtoehtoja. Kalanperkeisiin ja kuolleisiin kaloihin noudatetaan sivutuoteasetusta, jonka mukaan tuotannon aikana muodostuva kalaperäinen aines kuuluu sivutuoteasetuksen luokkaan 3 ja kalatautiin kuolleet tai taudin seurauksena lopetetut kalat kuuluvat sivutuoteasetuksen luokkaan 2. Kumpaankin luokkaan kuuluvat jakeet voidaan toimittaa esimerkiksi biokaasulaitokseen, mutta vain luokan 3 sivuotteita voidaan hyödyntää esimerkiksi lemmikkiruoan valmistuksessa.

Kalateollisuuden sivuvirtoja voitaisiin hyödyntää elintarvike-, lisäraavinne tai kosmetiikkateollisuudessa. Suomessa Kasnäsissä on yritys, joka valmistaa kalan perkuujätteistä kalajauhoa ja -öljyä. Kalajauho jalostetaan eteenpäin rehuksi.

Taivalkosken alueella ei ole kalanperkuujätteitä hyödyntäviä yrityksiä, jonka takia perkuujätteet tulee säilöä ennen toimitusta jatkokäyttöön. Tavallisimmat perkuujätteiden säilömistävät ovat pakastaminen, kuivattaminen, happo- tai emässäilöntä tai fermentointi. Pakastamisessa kustannukset nousevat korkeiksi, joten tämä ei ole usein vaihtoehtona. Emässäilöntä taas soveltuu perkuujätteiden lyhytaikaiseen hygienisointiin. Fermentointi ei ole ollut käytössä suurien perkuumäärien säilönnässä. Vaihtoehto on tunnistettu ja kalanperkeiden fermentointiin liittyvää tutkimusta on parhaillaan menossa Luonnonvarakeskuksella, josta tarkempia tutkimustuloksia saadaan mahdollisesti vuoden 2025 aikana. Fermentoinnin ajatellaan mahdollistavan laajempia jatkokäyttömahdollisuuksia, joista saadaan tietoa tutkimuksen valmistuttua. (lähde: kalataloustutkimuksen asiantuntijahaastattelu)

Happosäilöntä on yleisimmin käytössä oleva säilöntämenetelmä. Myös Taivalkosken alueella toimiva Kalankasvatus Vääräniemi Oy on käyttänyt kalan perkuujätteiden säilömiseen happosäilöntää. Yleisimmin tähän käytetään muurahaishappoa, mutta myös rikkihappoa voidaan käyttää. Muurahaishappoa lisätään 2-4 prosenttia perkeiden joukkoon ja pH:n tulisi olla 3,7-3,8. Happosäilöntään liittyvät hankinnat ovat minimisissään keräyssäiliö ja säilöntähappo, mutta voi vaatia myös murskaimen, pumpun tai sekoittimen ja pH:n mittauslaitteiston. Happosäilötyä kalaa voidaan käyttää rehunvalmistuksessa nesteenä tai jauhona, mutta sen käyttö voi rajata kalanperkeiden jatkokäyttömahdollisuuksia, sillä se heikentää perkeiden biokemiallista laatua. (Vielma et al 2013)

Kalanperkeiden toimittaminen turkistarhoille on ollut tähän asti paras tapa niiden hyödyntämiseen ja pysyvä toimintatapana niin kauan kuin turkistarhat voivat näitä hyödyntää. Taivalkosken alueella kustannukset ovat yksi tekijä valittaessa parasta perkeiden hävitysmuotoa, sillä pitkien välimatkojen takia logistiikan kustannukset kasvavat suuriksi. Tällä hetkellä muut jatkokäsittelyvaihtoehdot ovat toimitus biokaasulaitokselle tai kaatopaikalle. Kaatopaikalle toimitus ei kuitenkaan ole toivottu vaihtoehto. Taivalkosken kalankasvattajien toiveena on löytää pysyvä jatkokäsittelypaikka perkeille. Tulevat hankkeet antavat lisätietoa kalanperkeiden kannattavista jatkokäsittelymenetelmistä.

### 3.2.3 Metallintyöstön metallipölyn kierrätysmahdollisuudet

Pääasiallinen hyödyntämistapa metallipölylle on kierrättäminen romuteräksenä muun romuteräksen mukana. Metallipölyn käsittelyssä on varmistettava paloturvallisuus, sillä se voi tietyissä olosuhteissa syttyä palamaan. Riittävän puhtaasta metallipölystä voidaan maksaa, eli sillä on parhaimmillaan positiivinen hinta jätteen tuottajalle. Metallipölyn laatu vaikuttaa kuitenkin merkittävästi sen hyödynnettävyyteen. Laatuun taas vaikuttaa prosessi, missä pöly muodostuu, sekä pölyn seassa olevat mahdolliset epäpuhtaudet ja haitta-aineet. Esim. vesileikkauksesta tulevassa metallipölyssä ei yleensä ole juurikaan epäpuhtauksia. Erilaiset leikkausnesteet voivat tuoda mukanaan epäpuhtauksia,

jotka on huomioitava kierrätettävyyttä arvioitaessa. Jos metallia pintakäsitellään sinkoamalla, hajoavat sinkoamisessa käytetyt rakeet pikkuhiljaa ja päätyvät metallipölyn joukkoon. Tällöin sinkoamisrakeiden koostumus - esim. ovatko ne metallia vai jotain muuta ainetta - vaikuttaa lopullisen pölyn kierrätettävyyteen. Kierrätettävä metallijäte ei saa olla laadultaan vaaralliseksi jätteeksi luokiteltavaa. Käytännössä metallipölyn kierrättäminen edellyttää aina materiaalin kierrätyskelpoisuuden määrittävien laboratorioanalyysien suorittamista. (lähde: metallinkierrätyksen asiantuntijahaastattelu)

Taivalkosken metalliteollisuudesta tuleva metallipöly ei nykyisellään täytä kierrätettävän metallin laatuvaatimuksia johtuen materiaalissa olevista epäpuhtauksista. Kyseessä on käytännössä lattialta lakaistusta siivouspölystä, jossa on sekä metallipölyä että laikanpalasia tai niistä peräisin olevaa materiaalia sekä muita epäpuhtauksia. Paikallisen metalliteollisuuden edustajan mukaan metallin pölystä erottelevan laitteiston investointikustannukset sekä laitteiston käytön edellyttämä työmäärä eivät tee investoinnista houkuttelevaa. Toisaalta on olemassa esimerkkejä onnistuneesta konepajoilta peräisin olevasta metallipölyn kierrättämisestä. Taivalkoskella syntyvän metallipölyn tapauksessa kierrättämisen houkuttelevuutta rajoittaa materiaalin suhteellisen vähäinen määrä. (lähde: metallinkierrätyksen asiantuntijahaastattelu)

Eräs mahdollisuus metallipölyn kierrättämiseen on toimittaminen raaka-aineeksi hiomatarvikkeita valmistavaan teollisuuteen. Tähän tarkoitukseen metallipölyä syntyy todennäköisesti riittävästi, mutta muutoin hyödyntäminen edellyttäisi pölyn koostumusta koskevia analyyseja, jotka maksavat joitain tuhansia euroja (lähde: metallinkierrätyksen asiantuntijahaastattelu). Analyysien tulisi sisältää mm. haitta-ainepitoisuudet sekä hiukkasten kokojakauma (lähde: hiomatarviketeollisuuden asiantuntijahaastattelu). Nykytilanteessa metallipöly kerätään lattialta lakaistavana materiaalina ja se sisältää mm. laikan palasia yms. epäpuhtauksia, eikä se näin ollen kelpaa hiomatarvikkeiden raaka-aineeksi. Mikäli metallipölyn kierrättämistä tarkastellaan tulevaisuudessa uudestaan, on suositeltavaa tarkastella myös vaihtoehtoa, jossa riittävän puhtaaksi käsitelty metallipöly toimitetaan hiomatarvikkeiden raaka-aineeksi.

### 3.2.4 Voimalaitostuhkien kierrättämisen edistäminen

Tuhkan hyödynnettävyyteen neitseellisiä materiaaleja korvaavana kierrätettävänä materiaalina vaikuttaa tuhkan koostumus. Tuhkan soveltuvuus erilaisiin käyttökohteisiin edellyttää aina analytiikkaa, jossa tuhkasta määritetään tuhkan ominaisuudet kuten kemiallinen koostumus mukaan lukien mahdolliset haitta-ainepitoisuudet. Taivalkoskella syntynyt voimalaitostuhka ei ole sellaista, että se luokiteltaisiin vaaralliseksi jätteeksi perustuen siihen, että tuhka on jo sovelnutun metsälannoitteeksi. Toisin sanoen tuhkan haitta-ainepitoisuudet eivät ylitä vaarallisen jätteen raja-arvoja.

Voimalaitostuhkan erilaisia hyödyntämistapoja ovat jo mainitut metsälannoittaminen ja hyödyntäminen tienpohjissa ja vastaavassa rakentamisessa. Voimalaitostuhkia voidaan myös hyödyntää kaatopaikkarakentamisessa. Kaatopaikkojen lupavaatimusten edellyttämät rakennekerrokset sekä rakenteet kuten liuskat ja vastaavat edellyttävät soveltuvien materiaalien käyttämistä rakenteissa. Usein ko. materiaaleina joudutaan käyttämään neitseellisiä maa-aineksia. Tuhkan hyödyntäminen kaatopaikkarakenteissa ei vertaudu jätteen hyödyntämättä jättämiseen eli loppusijoittamiseen silloin, kun tuhkaa hyödynnetään sellaisissa kaatopaikkarakenteissa, jotka olisivat muutoin vaatineet neitseellisiä maa-aineksia. Tuhkan hyödyntäminen kaatopaikkarakenteissa on siis kierrättämistä. Tästä on osoituksena se, että ympäristöhallinnon ohjeistusten viimeaikaisten linjausten mukaisesti tuhkan käyttö kaatopaikkarakenteissa saa viranomaisraportoinnissa jäteasetuksen mukaisen jätteenkäsittelykoodin, joka luokitellaan kierrätykseksi (R5.2 ""Epäorgaanisen jätteen (esimerkiksi epäorgaanisten rakennusmateriaalien) kierrätys"") (Sähköpostitiedonanto Ympäristöministeriöltä L&T:lle 3.7.2024).

L&T oli mukana vielä julkaisemattomassa vuonna 2024 toteutetussa selvityksessä, jonka mukaan sivuvirtojen hyödyntäminen kaatopaikkarakenteissa voi olla luonnon monimuotoisuuden kannalta myönteistä. Tämä perustuu mm. siihen, että näin säästetään neitseellisen soraharjun aineksia ja ympäristöä.

Tuhkien hyödyntämistä kaatopaikkarakentamisessa saattaa rajoittaa tuhkan sulfaattipitoisuus. Etenkin puuta poltettaessa saattaa syntyä tuhkaa, jonka sulfaattipitoisuus ylittää sallitut raja-arvot. Toisaalta Taivalkosken voimalaitostuhkaa on jo hyödynnetty joissain maarakennuskohteissa, joten sulfaatin ei pitäisi olla ongelma kaatopaikkarakentamisen näkökulmasta, sillä kaatopaikkarakentaminen sallii muuta maarakentamista korkeammat sulfaattipitoisuudet. Tuhkan sisältämä hiekka ei ole ongelma kaatopaikkarakentamisen näkökulmasta. (lähde: L&T:n tuhkan käsittelyn asiantuntijat)

Tuhkia on mahdollista myös hyödyntää jätteiden stabiloinnissa. Tietyntyyppiset kaatopaikalle sijoitettavat jätteet edellyttävät stabilointia ennen loppusijoittamista. Kyseessä on mm. happamien jätteiden pH-arvon nostaminen, johon käytetään kalkkia, kalsiumhydroksidia tai sementtiä. Hyödyntämällä tuhkaa stabiloinnissa voidaan korvata em. aineita. Tuhkan hyödynnettävyyteen stabilointiaineena vaikuttaa sen haitta-aineiden, kuten sulfaatin, pitoisuudet, sekä neutraloivana aineena toimivan kalsiumoksidin pitoisuus. Raja-arvot ylittävät haitta-ainepitoisuudet eivät täysin estä tuhkan käyttöä stabiloinnissa; vaihtoehtona on tällöin käyttää stabiloinnissa osittain esim. sementtiä siten, että kokonaisuutena tuhkan ja sementin haitta-ainepitoisuudet eivät ylitä raja-arvoja. (lähde: L&T:n tuhkan käsittelyn asiantuntijat)

Tuhka on sivuvirtana pääasiassa arvoltaan negatiivinen sen tuottajalle, eli tuhkan tuottaja maksaa tuhkan hyödyntäjälle tai käsittelijälle tuhkan vastaanottamisesta. Tuhkan laatu vaikuttaa sen hintaan. Hinta tuhkan hyötykäytölle voi olla alle 10 € per tonni, mikäli tuhka on poikkeuksellisen laadukasta ja sille on selkeä markkinatilauks. Käsittelymaksu pienelle määrälle vaarallisen jätteen tasoiseksi määritellyä tuhkaa voi olla jopa satoja euroja per tonni tuhkaa. Keskimäärin tuhka- ja jätteenkäsittelykustannukset ovat kymmenestä muutamaan kymmeneen euroon per tonni jätettä. Heikkolaatuisenkin hyödynnetyn tuhkan käsittelyhintaa voi pysyä hintaluokassa 70–80 € per tonni, mikäli tuhkan määrä on suuri. Käsittelykustannuksiin vaikuttaa osaltaan analyysikustannukset - esim. stabiloitaessa tuhalla jätteitä on stabiloidun materiaalien kaatopaikkakelpoisuus arvioitava myös stabiloinnin jälkeen, minkä kustannukset voivat tilanteesta riippuen nousta 50 €:on per tonni. Tuhkaa loppusijoitettaessa ilman hyödyntämistä maksetaan siitä kaatopaikkaveroa 80 € per tonni. Loppusijoitettava tuhka yleensä itsessään edellyttää stabilointia esim. sementillä, jolloin kaatopaikkaveroa maksetaan myös stabilointiaineesta. Tällöin loppusijoitettavan tuhkan kaatopaikkaveroa voi nousta 100 €:on per tonni. Hyödynnettäessä tuhkaa kaatopaikkarakentamisessa tai muiden jätteiden stabiloinnissa siitä ei makseta kaatopaikkaveroa. (lähde: L&T:n tuhkan käsittelyn asiantuntijat)

Tuhkan kuljetuskustannukset ovat maltillisia - esim. noin 20 € per tonni reilun 300 km:n kuljetusmatkalle - mikäli tuhka on kuivaa ja sitä kuljetetaan täydellä säiliöautolla. Merkittävä osa kuljetuskustannuksista muodostuu tuhkan lastaamisesta ja purkamisesta. Tästä johtuen kuljetusmatkan kasvaessa kuljetuskustannus ei kasva samassa suhteessa, vaan mitä pidempi matka on, sen vähäisempi on hinta per kilometri. (lähde: L&T:n tuhkan käsittelyn asiantuntijat)

Taivalkosken voimalaitostuhkan hyödyntäminen metsälannoitteena on kiertotalouden näkökulmasta paras tuhkan hyödyntämistapa, mutta sekä maarakentaminen että hyödyntäminen kaatopaikoilla ovat myös kiertotalouden näkökulmasta myönteisiä käsittelytapoja verrattuna tuhkan loppusijoittamiseen. Kaatopaikkahyödyntäminen saattaa olla usein kustannustehokkaampaa kuin käyttö metsälannoitteena, paitsi jos metsälannoitehyötykäyttö on mahdollista lähellä tuhkan syntypaikkaa. Vähäisiä paikallisia maarakentamishyödyntämismahdollisuuksia ja pitkiä kuljetusmatkoja hyödyntämiseen muualla on tähän asti pidetty esteenä tuhkan hyödyntämiselle silloin, kun sitä ei ole saatu toimitettua metsälannoitteeksi.

Tuhkan määrä vaikuttaa sen kuljetus- ja käsittelykustannuksiin. Käsittelykustannukset per tonni ovat halvempia suurille kuin pienille tuhkamäärille. Taivalkoskella syntyvän voimalaitostuhkan määrää, 400 tonnia vuodessa, voidaan pitää keskiuurena. Tämä tekee siitä tuhkan hyödyntäjien näkökulmasta kiinnostavampaa, edesauttaen tuhkan hyötykäyttämismahdollisuuksia. Esim. kaatopaikkarakentamiseen käytettäville materiaaleille on selkeää kysyntää Suomessa, ja 400 tonnia vuodessa on volyymiltaan kohtalaisen kiinnostava lähde tuhkan hyödyntäjien näkökulmasta.



L&T hyödyntää tuhkaa sekä kaatopaikkarakentamisessa että loppusijoitettavien jätteiden stabiloinnissa eri puolilla Suomea. L&T:n kokemusten mukaan tuhkan kuljettaminen yli 200 kilometriäkin hyödyntämiseen voi olla kannattavaa. Näin ollen suosituksena Taivalkosken voimalaitostuhkan osalta on kartoittaa sopivia kohteita tuhkan hyödyntämiseksi kaatopaikkarakentamisessa, stabilointiaineena tai maarakentamisessa aiempaa paikallista tarkastelua laajemmalla tarkastelualueella noin 200 kilometrin kuljetusetäisyyteen saakka. Tarkastelu edellyttää kaupallisia keskusteluja potentiaalisten tuhkan hyödyntäjien kanssa ja tapauskohtaisia kustannuslaskelmia huomioiden sekä kuljetuskustannukset että käsittelymaksut. Esimerkki mahdollisesta kohteesta, jossa Taivalkosken voimalaitostuhkaa voisi hyödyntää, on L&T:n Kiimingin yksikkö, 133 kilometrin päässä Taivalkoskelta lähellä Oulua.

#### 4 YHTEENVETO

Neljälle jatkotarkasteluun valitulle materiaalille tunnistettiin uusia hyödyntämismahdollisuuksia vaihtelevasti. Yhteistä kaikille materiaaleille oli, että niistä jokaisen hyödyntäminen edellyttää joko toimijoiden omia tai tulevaisuudessa hankkeissa tehtäviä lisäselvityksiä. Tähän yhteenvedoon on koottu suositeltavat etenemismahdollisuudet kunkin materiaalin osalta jatkoselvitystarpeineen.

Puunkuoren jalostaminen biohiileksi on Taivalkosken sivuvirtojen hyödyntämismahdollisuuksista mittakaavaltaan merkittävin, mistä johtuen sitä tarkasteltiin tässä perusteellisimmin, aiemmissa selvityksessä jo esiin tuotuja näkökohtia syventäen. Taivalkoskella syntyvän puunkuoribiomassan lisäksi on suositeltavaa huomioida koko Koillismaan puunkuoribiomassa potentiaalisena biohiilen raaka-aineena, sillä näin saadaan mahdollisimman suuret volyymit ilman merkittäviä kuljetusetäisyyksiä. Biohiilen tuotannon houkuttelevuuteen vaikuttaa laitostoimittajien kyvykkyyksien ja hintatason kehitys, biohiilen hintakehitys sekä bioperäisten materiaalien polttoon liittyviä päästöjä koskevan sääntelyn kehitys. Markkinakehityksen ja kehittyvien biohiilen käyttökohteiden, kuten metallurgian, myötä biohiilen tuotantoon investointi muuttuu jatkuvasti selkeästi kannattavammaksi. Vaikka puunkuoresta valmistettu biohiili ei välttämättä sovellu metallurgiaan, on esim. aktiivihiihi selvitysten perusteella erittäin potentiaalinen biohiilituote, jota voi valmistaa puunkuoribiomassasta.

Mielenkiintoinen mahdollisuus, jota on suositeltavaa seurata, on VTT:n Calciner tiimin prosessi, jossa voitaisiin hyödyntää merkittäviä määriä biohiiltä. Investointituet, kuten esim. Business Finlandin investointiavustus suurille puhtaasti siirtymän investoinneille, voivat toimia merkittävinä biohiilihankkeiden mahdollistajina. Seuraava suositeltava toimenpide ja jatkoselvityksen aihe on kehittää Taivalkosken ja Koillismaan sahateollisuudelle biohiileen tuotantoon siirtymistä tarkasteleva tiekartta, jossa on määritelty biohiilimarkkinoiden kehitykseen, sääntely-ympäristöön ja investointitukiin liittyvät kriittiset tekijät, joiden perusteella arvioidaan ja ennakoitaan hyvissä ajoin missä vaiheessa investointi voisi muuttua ajankohtaiseksi.

Kalanperkeiden osalta niiden hyödynnettävyyden parantamista säilömällä tutkitaan jo meneillään olevassa toisessa hankkeessa. Luonnonvarakeskuksen fermentoimissäilöimiseen keskittyvä hanke kannattaa pitää seurannassa, sillä fermentointi saattaa mahdollistaa aiempaa laajempia jatkokäyttömahdollisuuksia – tästä saadaan kuitenkin tietoa vasta tutkimuksen valmistuttua. Myös Taivalkoskella on suunniteltu fermentointia tarkastelevaa tutkimusta.

Taivalkosken metalliteollisuudessa syntyvä metallipöly on määränsä ja laatunsa puolesta materiaalia, jolle nykytilanteessa tehtävä loppusijoittaminen on taloudellisessa mielessä looginen vaihtoehto. Mikäli ko. materiaalin kierrättämiseen halutaan panostaa, kannattaa metallinkierrättäjien lisäksi myös hiomatarviketeollisuus huomioida mahdollisena kohteena materiaalin kierrätykseen. Tämä kuitenkin edellyttää tarkempia selvityksiä pölyn koostumuksesta – myös mahdollisten puhdistamistoimenpiteiden jälkeen. Tämän osalta suosituksena on käydä keskustelut sekä metallinkierrättäjien että hiomatarvikevalmistajien kanssa metallipölyn laatuvaatimusten määrittämiseksi, jonka jälkeen tulee arvioida metallipölyn kierrätyskelpoiseksi käsittelyn edellyttämät investoinnit. Sellaisenaan, ilman metallipölyn epäpuhtauksia poistavia investointeja, ei materiaali todennäköisesti sovellu muuhun kuin nykytilanteessa jo toteutettavaan materiaalin hävittämiseen.

Voimalaitostuhkan osalta tunnistettiin uutena mahdollisuutena kaatopaikkarakentaminen, joka nykyisten viranomaistulkintojen mukaan luokitellaan kierrätykseksi. Tuhkan hyödyntäminen kaatopaikkarakenteissa ei kiertotalouden tasoltaan vastaa metsälannoitteena hyödyntämistä. Tästä huolimatta tuhkan hyödyntäminen kaatopaikkarakenteissa on kiertotalouden näkökulmasta loppusijoittamista huomattavasti mielekkäämpää, sillä näin korvataan kaatopaikkarakenteissa tarvittavia neitseellisiä materiaaleja. L&T:n kokemusten perusteella jopa 200 kilometrin etäisyydet voivat olla kannattavia tuhkan toimittamiselle kaatopaikkarakentamiseen tai muuhun hyödyntämiseen ympäristörakentamisessa. Suosituksena on näin ollen tarkastella tuhkan hyödyntämismahdollisuuksia aiempaa laajemmalla maantieteelliseltä alueelta huomioiden sekä kaatopaikkarakentaminen että hyödyntäminen tienpohjissa ja vastaavissa kohteissa.

## 5 LÄHTEET

- Bioenergia ry. 2024a. Biohiili osana kestävyysmurrosta -seminaari 25.9.2024, Marianne Tikkasen puheenvuoro ”Biohiilen merkitys kompensatiomarkkinoilla”.
- Bioenergia ry. 2024b. Biohiili osana kestävyysmurrosta -seminaari 25.9.2024, professori Kari Tiilikalan alkupuheenvuoro
- Business Finland. 2025. Business Finlandin nettisivut investointiavustuksesta suurille puhtaan siirtymän investoinneille. Haettu 18.2.2025: <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/investointiavustus-suurille-puhtaan-siirtymän-investoinneille>
- European Biochar Industry. 2024. European Biochar Market Report 2023/2024.
- Greenhouse Gas Protocol. 2024. Greenhouse Gas Protocol Land Sector and Removals Initiative. [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-07/Project%20Overview\\_25%20July%202024.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-07/Project%20Overview_25%20July%202024.pdf)
- Macon Consulting Oy. 2023. Feasibility study: Koillismaan biotalouden kehittämisen ja kehittämisen skenaariot. <https://kuubio.fi/wp-content/uploads/2024/04/HIB-feasibility-study-kaikki-materiaalit.pdf>
- Naturpolis ja Elinkeino- liikenne ja ympäristökeskus. 2018. Mekaanisen puunjalostuksen sivuvirtoihin liittyvät uudet liiketoimintamahdollisuudet sekä mahdolliset integraatiot energiantuotantoon.
- Naturpolis. 2023-. Biomassat kiertoon Koillismaalla -hankkeen nettisivut. Haettu 18.2.2025: <https://naturpolis.fi/hanke/biomassat-kiertoon-koillismaalla>
- Naturpolis. 2024-. Sarvet ja saporot kiertoon - kiertotalous käytäntöön poroteurastuksessa -hankkeen nettisivut. Haettu 18.2.2025: <https://naturpolis.fi/hanke/sarvet-ja-saporot-kiertoon-kiertotalous-kaytantaan-poroteurastuksessa/>
- Luke. 2023. Uutinen Luken sivuilla. Haettu 17.2.2025: <https://www.luke.fi/fi/uutiset/kasvihuonekaasuinventaarion-ennakkotiedot-2023-metsat-ovat-kaantyneet-paastolahteeksi-koska-puuston-nielu-ei-ena-riita-kattamaan-metsien-maaperan-paastoja>
- Vow ASA. 2023. Uutinen Vow ASA:n blogissa. Haettu 17.2.2025: <https://www.vowasa.com/blog/major-milestone-reached-in-vows-breakthrough-us-project/>
- Salo, E.; Weber K.; Hagner, M. ja Näyhä, A. 2024. Nordic perspectives on the emerging biochar business, Journal of Cleaner Production, Volume 475. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143660>
- Science-Based Target initiative. 2025. Science-Based Target iniciativien nettisivut. Haettu 17.2.2025: <https://sciencebasedtargets.org/>

- Vielma, J.; Setälä, J.; Airaksinen, S.; Kankainen, M.; Tarkki, V.; Kaitaranta, J.; Norström, A. & Nurmio, J. 2013. Vähäarvoisen kalamateriaalin jalostus lisäarvotuotteiksi – liiketoimintanäkymät. [https://www.vakavakala.fi/wp-content/uploads/2018/06/lisaarvotuotteet\\_liiketoimintanakymat\\_ty%C3%B6raportteja-28\\_2013.pdf](https://www.vakavakala.fi/wp-content/uploads/2018/06/lisaarvotuotteet_liiketoimintanakymat_ty%C3%B6raportteja-28_2013.pdf)

#### Haastattelut:

- metsäteollisuuden edustajan asiantuntijahaastattelu 19.9.2024
- kalatalouden edustajan asiantuntijahaastattelu 27.9.2024
- metalliteollisuuden edustajan haastattelu 19.9.2024
- Taivalkosken voiman haastattelu 13.9.2024
- Taivalkosken kunnan haastattelu 19.9.2024
- biohiilitutkimuksen asiantuntijahaastattelu 16.1.2025
- kalataloustutkimuksen asiantuntijahaastattelu 10.1.2025
- metallinkierrätyksen asiantuntijahaastattelu 22.1.2025
- hiomatarviketeollisuuden asiantuntijahaastattelu 25.1.2025
- L&T:n tuhkan käsittelyn asiantuntijat 7.1.2025