

## **Suomen biotalousstrategian päivitykseen liittyvä selvitys metsä- ja agrobiotalouden sivuvirroista ja niiden hyödyntämisestä**

Hanna Brännström  
Sanni Finni  
Tuula Jyske  
Juha-Matti Katajajuuri  
Petri Kilpeläinen  
Risto Korpinen  
Titta Kotilainen  
Sari Luostarinen  
Kimmo Rasa  
Saija Rasi  
Markku Saastamoinen  
Pekka Saranpää (koonnut)



## YHTEENVETO

Selvityksen tavoitteena on tunnistaa maa- ja metsätaloudessa ja –teollisuudessa syntyvien biopohjaisten sivuvirtojen potentiaalia korkeamman lisäarvon tuotteiden tuottamisessa. Lisäksi tarkastellaan sivuvirtojen hyödyntämisketjuja kokonaisvaltaisesti kaskadiperiaatteen mukaisesti sekä hyödyntämiseen liittyviä ympäristökestävyyden kysymyksiä ja –haasteita. Sivuvirtojen hyödyntämisessä on potentiaalia niin talouden, liiketoiminnan kuin ympäristön kannalta, mutta myös selkeitä kehittämistarpeita.

Metsäteollisuudessa ja maataloudessa syntyy biomassoista paljon erilaisia sivuvirtoja, joiden hyödyntämismahdollisuuksia on tutkittu monissa eri projekteissa. Metsäbiomassan, kuten puun kuoren ja sahapurun hyödyntämisen haasteena on paine lisätä näiden bioenergiakäyttöä. Se liittyy olennaisesti myös turpeen käytön voimakkaaseen vähenemiseen niin energian lähteenä kuin kasvualustana ja kuivikkeena. Pienten turvetta käyttävien voimalaitosten on löydettävä korvaavia energian lähteitä, mikä on johtanut mm. puupellettien ja metsähakkeen tuonnin kasvuun viime aikoina. Maatalouden sivuvirtojen, kuten oljen, lannan ja lietteen haasteena on ravinteiden kierrätys. Erottelutekniikoita pitäisi kehittää niin, että ravinteet pystytään palauttamaan kiertoon. Lannasta on tarkoitus valmistaa sekä biokaasua liikennepolttoainekäyttöön että mädätteestä väkevoityjä kierrätyslannoitteita. Yksittäiset prosessit ovat kehittyneitä, mutta niiden yhdistäminen ja lannan kokonaisvaltainen hyödyntäminen vaatii vielä kehitystyötä sekä ekologisen kestävyyden arviointia erilaisten vaihtoehtojen ja prosessiketjujen väliltä. Puhdistamolietteen käyttöä pyritään tehostamaan kehittämällä arvokkaiden yhdisteiden ja ravinteiden erottamisen tekniikoita. Riskinä ovat haitta-aineet, jotka voidaan poistaa esimerkiksi pyrolyysin avulla. Pyrolyysinesteitä voidaan käyttää edelleen lietelannan happokäsittelyssä ja kasvinsuojelussa. Pyrolyysilaitteistoja on saatavilla markkinoilta ja teknologinen valmiusaste on korkea (8-9), mutta laitteistojen liittäminen osaksi prosessointikokonaisuutta edellyttää kehitystyötä.

Turvetta voidaan korvata erilaisissa kasvualustoissa sekä viherrakentamisessa kasvi- ja puupohjaisilla kuiduilla, joita saadaan prosessoinnin sivuvirroista. Myös eläinten kuivikkeena käytettävää turvetta voidaan korvata erilaisilla biopohjaisilla sivuvirroilla, kuten ruokohelvellä tai muilla viljellyillä kasveilla. Metsäbiomassasta syntyvät puunjalostusteollisuuden sivuvirrat ovat myös mahdollisia kuivikevaihtoehtoja tai osana uusia yhdistelmiä. Teknologinen valmius on vasta laboratorioasteella, mutta ruokohelvestä ja järviruokosta tuotetaan jo kasvualustaa (TRL 8...9). Kaupallisen sovelluksen kehittämisessä on oleellista valmistuskustannus sekä tasalaatuisten materiaalien riittävä ja katkeamaton saatavuus.

Sekä havu- että lehtipuun kuoren hyödyntämistä on tutkittu monissa projekteissa ja myös yritysveitoisena yhteistyönä. Lukessa on tutkittu kuoren kaskadiprosessointia, jossa kuoresta uutetaan valikoituja arvokomponentteja ja jäljelle jäävä kuori hyödynnetään biokaasu- ja/tai pyrolyysiprosessin kautta. Näin sivuvirrasta voidaan tuottaa hiilipitoisia maanparannusaineita, energiaa ja muita lisäarvotuotteita. Biokaasuprosessin etuna energiantuotannossa on, että se voidaan hyödyntää liikenteen polttoaineena, jolloin energiasta saatavat tuotot ovat moninkertaiset sähköön ja lämpöön verrattuna. Korkeat investoinnit ja lopputuotteiden markkinoiden kehittymättömyys sen sijaan ovat rajoittaneet biokaasualan kasvua.

Sivuvirtoja voidaan käyttää korvaamaan fossiilisia raaka-aineita, jolloin niiden substituutiovaikutus on selvä. Esimerkkinä voidaan mainita juuri kasvuturpeen korvaaminen vaikkapa puuhakkeella. Harvat prosessit on kuitenkin kehitetty niin pitkälle, että niiden taloudellista kannattavuutta ja numeerista substituutiovaikutusta voidaan arvioida. Lähtökohtana ei pitäisikään olla nykyiset tuotteet vaan loppukäytön kannalta olennaiset ominaisuudet. Tarvitaan tiedon välittämistä loppukäyttäjälle, sekä oikeanalaisia kannustimia, jotta uusille tuotteille luodaan kysyntä ja markkinat.

## TAUSTA

Luonnonvarakeskus tarjoutui tekemään Maa- ja metsätalousministeriölle arviointityön nousussa olevista biotuote-innovaatioista sekä arvioimaan niiden mahdollisia markkina- ja substituutiovaikutuksia. Selvitys pyrittiin laatimaan silmällä pitäen Suomen biotalousstrategian päivittämistä ja jatkossa myös jalkauttamista.

Arviointityössä tarkasteluun valittiin kiertotalouden mahdollisuudet valituissa arvoketjuissa. Kysymykset, joihin haettiin vastausta ovat:

- kuinka paljon mahdollisia sivuvirtoja on käytettävissä?
- mitä mahdolliset lopputuotteet olisivat?
- mitä raaka-aineita voidaan korvata?
- arvio nykyisestä TRL-tasosta? (katso alla)
- arvio mahdollisesta SRL-tasosta? (katso alla)
- mitä tutkimukselta vielä edellytetään, esim. skaalauksen tarve

Toimeksiannossa sovittiin, että Lukessa valitaan 3-5 kooltaan merkittävää ja luonteeltaan erilaista sivuvirtaa (metsä- ja agrobiotalous) Luken asiantuntijoiden oman arvion sekä Biomassa-atlaksen ym. tietojen pohjalta. Sivuvirroiksi valittiin:

- 1) Olki, lanta, liete – ravinteet kiertoön,
- 2) Hidas pyrolyysi osanan kiertotalouden arvoketjua,
- 3) Turpeen korvaaminen kasvualustoissa, eri sivuvirtavaihtoehdot sekä kuivikkeet,
- 4) Kuoribiojalostamo ja
- 5) Metsä- ja agrobiomassan yhdistäminen: kuoresta arvojakeet, biokaasu ja biohiili.

Kattavaa kartoitusta ei tehty tässä vaiheessa. Tarkoitus on arvioida tutkijoiden toimesta sivuvirtojen käytön tehostamista ja potentiaalia tuottaa korkean lisäarvon lopputuotteita.

TRL (Technical Readiness Level) -tasot:

- TRL 1 – Basic principles observed
- TRL 2 – Technology concept formulated
- TRL 3 – Experimental proof of concept
- TRL 4 – Technology validated in lab
- TRL 5 – Technology validated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)
- TRL 6 – Technology demonstrated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)
- TRL 7 – System prototype demonstration in operational environment
- TRL 8 – System complete and qualified
- TRL 9 – Actual system proven in operational environment (competitive manufacturing in the case of key enabling technologies; or in space)

SRL (Social Readiness Level) -tasot:

- SRL 1: Identification and observation of basic principles and properties.
- SRL 2: Definitions of practical applications. Formulation of concepts.
- SRL 3: Observation and analysis through analytical research, laboratory research or experiments.
- SRL 4: Proof of concept that is based upon the integration of applications and concepts to demonstrate viability.
- SRL 5: Validation defined as the refined integration of applications or concepts to confirm validity.
- SRL 6: Simulated demonstration of a near-end state solution and testing in a simulated environment.
- SRL 7: Real-world demonstration of a near-end state solution and testing in an appropriate real-world environment.
- SRL 8: Qualified solution which is the completion of end state solution and refinement through testing.
- SRL 9: Proven solution that is based upon final solution implementation and success.

## **Olki, lanta ja puhdistamoliete – uusia tuotteita ja ravinteet kiertoon**

Sari Luostarinen, Markku Saastamoinen, Juha-Matti Katajajuuri

Olkea muodostuu vaihtelevia määriä riippuen kunkin kasvukauden kasvivalinnoista ja sadoista. Vuonna 2016 olkea muodostui laskennallisesti 3,55 miljoonaa tonnia sisältäen kaiken oljen ja ml. todellisuudessa peltoon jäävän sängen (arvio: Biomassa-atlas). Tällä hetkellä olkea käytetään lähinnä eläinten kuivikkeena lopun jäädessä peltoon tärkeänä peltomaan orgaanisen aineen syötteenä. Oljen käytön lisäämisessä onkin syytä huomata vaikutukset peltomaan kuntoon.

Kotieläinten lantaa muodostuu vuosittain noin 15,5 miljoonaa tonnia (lanta varastoinnin jälkeen, Suomen normilanta -järjestelmä). Se on suurin kierrätettävä biomassa ja sisältää eniten ravinteita. Tällä hetkellä pääosa lannasta hyödynnetään lannoitteena ilman prosessointia tilojen omilla pelloilla tai luovuttamalla se kasvinviljelytiloille. Pieni osa päätyy viherrakentamiseen, kotipuutarhoihin ja kasvualustoiksi.

Puhdistamolietettä muodostuu noin 4,7 miljoonaa tonnia vuosittain. Käytännössä osa siitä poistetaan tiivistyksessä ja kuivauksessa ja poistettu neste ravinteineen kiertää jäteveden puhdistusprosessiin. Kiintojäte päätyy prosessointiin ja käyttöön pääasiassa viherrakentamisessa ja lannoitevalmisteina.

Oljesta, lannasta ja puhdistamolietteestä voidaan valmistaa muitakin kierrätettyjä tuotteita, ja jalostuksen yhteydessä voidaan teknologiasta riippuen myös tuottaa uusiutuvaa energiaa sähkön, lämmön ja polttoaineiden tuotantoon. Erityisesti lantaa ja puhdistamolietettä voidaan prosessoida kierrätyslannoitevalmisteiksi. Ne voivat tulevaisuudessa olla paljon pitemmälle jalostettuja kuin nykyiset ja muistuttaa ravinnepitoisuuksiltaan ja ravinnesuhteiltaan epäorgaanisia lannoitevalmisteita. Valmisteita voidaan käyttää niin maanparannuksessa, lannoitteena kuin niiden yhdistelmänäkin epäorgaanisten lannoitteiden korvaajana. Erotettuja ravinteita voidaan käyttää myös puhtaiden kemikaalien korvaamiseen esimerkkinä typpiliuosten korvaaminen metsäteollisuuden jätevedenpuhdistamoilla.

Esimerkiksi monet suuremmat biokaasulaitokset kehittävät tuotantoprosessejaan eteenpäin siten, että biokaasu puhdistetaan liikennepolttoainekäyttöön ja mädätteestä jatkojalostetaan väkevyitä kierrätyslannoitevalmisteita. Toistaiseksi lantaa käytetään näissä laitoksissa vähän, mutta tulevaisuudessa lannan prosessointi lisääntynee, sillä siihen on etenkin kotieläintuotannon keskittymissä selkeä paine (ravinneylijäämät ja kierrätystarve) ja kannustimia lannan hyödyntämisen tehostamiseen on enenevästi tarjolla. Myös puhdistamolietteen sisältämien komponenttien käytön tehostamiseen panostetaan kehittämällä sekä ravinteiden erottamisen tekniikoita että orgaanisen aineen hyödyntämisen mahdollisuuksia haitta-aineiden aiheuttamien riskien asettamien käytön estojen poistamiseksi. Esimerkkinä näistä on kuivatun lietteen pyrolyysin kehittäminen. Pyrolyysi voi soveltua myös kuiville lantatyypeille ja tuottaa fosforipitoisten maanparannusaineiden lisäksi pyrolyysinesteitä, joille selvitetään käyttökohteita esimerkiksi lietelannan happokäsittelyssä ja kasvinuojelussa.

Kehitteillä on myös muita erilaisia arvotuotteita, kuten lyhytketjuisten rasvahappojen eristämistä erilaisista orgaanisista raaka-aineista. Näitä rasvahappoja voidaan hyödyntää useissa eri prosesseissa raaka-aineina, kuten biopolttoaineiden ja öljyjen tai biomuovien tuotannossa, korvata kemiallisia orgaanisia happoja tai tuottaa levien kautta kalojen rehua (ks. Osio: Biomassojen kokonaishyödyntäminen: Biokaasuprosessin hyödyntäminen arvokomponenttien tuotannossa). Oljen selluloosan eristämistä ja keittämistä tekstiileiksi tutkitaan myös aktiivisesti, jolloin voidaan korvata esimerkiksi puuvillaa ja puuta. Myös tämän prosessin on mahdollista pyrkiä ensin erottamaan oljesta arvokomponentteja, kuten hemiselluloosaa hyödynnettäväksi esimerkiksi elintarvikkeissa.

Prosessiteknologioista kierrätyslannoitevalmisteiden tuotannon prosessit ovat usein varsin pitkälle kehittyneitä ja jo käytössä (TRL 7-9), joskin sovellukset erilaisille biomassoille voivat vielä vaatia kehittämistä. Arvokomponenttien talteenotossa ollaan yleensä tätä alhaisemmilla TRL-tasoilla (3-5) ja teknologiat vaativat vielä kehittämistä ennen laajempaa käyttöönottoa. Huomionarvoista on, että kierrätettyjen tuotteiden tuotannossa muodostuu yleensä useamman prosessitekniikan ketjuja ja siten myös useita tuotteita yhdestä ketjusta.

Vaikka yksittäiset prosessit olisivat jo pitkälle kehittyneitä, niiden yhdistäminen kestäväksi kokonaisuudeksi voi vaatia vielä runsaasti kehitystyötä. Tämän vuoksi systeemitason valmius on oljen, lannan ja puhdistamolietteen hyödyntämisessä usein alhaisempi kuin yksittäisten tekniikoiden.

Tutkimustarpeita oljen, lannan ja puhdistamolietteen jalostamiseen uudelleenlaisiksi tuotteiksi on monenlaisia. Erilaisten prosessiketjujen kannattavuuden ja ympäristövaikutusten tarkasteluja tarvitaan kokonaiskestävyyden kehittämiseksi. Osalla teknologioista, etenkin arvokomponenttien erottamiseksi ollaan laboratorio- tai pilottimittakaavassa, jolloin tutkimusta tarvitaan teknologiakehityksen edistämiseksi ja tuotantomittakaavaan siirtymiseksi yritysten tukena. Tämä on usein hidastaa käyttöönottoa ja siihen tarvitaan myös taloudellista tukea. Tutkimus tarvitsee myös panosta viestintään markkinoiden kehittämisen ja päätöksenteon tuen kannalta, jotta kiertotalouden tavoitteita saadaan yhteiskunnassa edistettyä.

#### Kirjallisuutta

- Blasco, L., Kahala, M., Tampio, E., Vainio, M., Ervasti, S. & Rasi, S. 2020. Effect of Inoculum Pretreatment on the Composition of Microbial Communities in Anaerobic Digesters Producing Volatile Fatty Acids. *Microorganisms*. 8(4), 581 <https://doi.org/10.3390/microorganisms8040581>
- Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiahho, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A., zu Castell-Rüdenhausen, M. 2017. Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa : Nykytila ja suositukset ohjaukeinojen kehittämiseksi Suomessa. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 45/2017: 45 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-437-3>
- Luostarinen, S., Tampio, E., Laakso, J., Sarvi, M., Ylivainio, K., Riiko, K., Kuka, K., Bloem, E., Sindhöj, E. 2020. Manure processing as a pathway to enhanced nutrient recycling : Report of SuMaNu platform. *Natural resources and bioeconomy studies* 62/2020: 76 p. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-037-3>
- Luostarinen, S., Tampio, E., Berlin, T., Grönroos, J., Kauppila, J., Koikkalainen, K., Niskanen, O., Rasa, K., Salo, T., Turtola, E., Valve, H., Ylivainio, K. 2019. Keinoja orgaanisten lannoitevalmisteiden käytön edistämiseen. *Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja* 2019:5: 88 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-941-8>
- Luostarinen S., Grönroos J., Hellstedt M., Nousiainen J., Munther J. 2018. Modelling Manure Quantity and Quality in Finland. *FRONTIERS in Sustainable Food Systems* 2:60. <https://doi:10.3389/fsufs.2018.00060>
- Rasi, S., Kilpeläinen, P., Rasa, K., Korpinen, R., Raitanen, J., Vainio, M., Kitunen, V., Pulkkinen, H., Jyske, T. 2019. Cascade processing of softwood bark with hot water extraction, pyrolysis and anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 292, 121893. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121893>
- Tampio, E., Blasco, L., Vainio, M., Kahala, M. & Rasi, S. 2018. Volatile fatty acids and methane from food waste and cow slurry: Comparison of biogas and VFA fermentation processes. *GCB Bioenergy*. 2018;1-13. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12556>
- Tampio, E., Winquist, E., Luostarinen, S., Rinne, M. 2019. A farm-scale grass biorefinery concept for combined pig feed and biogas production. *Water Science and Technology* 80:6. <https://doi:10.2166/wst.2019.356>

## Hidas pyrolyysi osana kiertotalouden arvoketjuja

Kimmo Rasa

Hitaassa pyrolyysissä biomassaa kuumennetaan hapettomissa olosuhteissa. Hitaassa pyrolyysissä raaka-aineen lämpötilan nousu ja pitoaika maksimilämpötilassa mitataan minuuteissa, kun taas nopeassa pyrolyysissä vastaava aikayksikkö on sekuntimittakaavassa. Nopeassa pyrolyysissä painotetaan höyrystyvien yhdisteiden hyödyntämismahdollisuuksia. Prosessissa raaka-aineen kemiallinen koostumus muuntuu ja siitä erottuu höyrystyviä yhdisteitä, joista osa voidaan kondensoida nestemäiseen olomuotoon. Prosessissa syntyy siten kiinteä ja nestemäinen lopputuote sekä energiana hyödynnettävää kaasua. Raaka-ainetta ja sen esikäsitteilyä sekä prosessiteknologiaa ja -parametreja muuttamalla voidaan jakeiden määrään ja laatuun vaikuttaa merkittävästi. Siten lopputuotteiden ominaisuuksien ja potentiaalisten käyttökohteiden kirjo on suuri.

Pyrolyysin raaka-aineeksi soveltuu hyvin moninaiset sivuvirrat. Puupohjaiset materiaalit ovat tyypillisimpiä, mutta aktiivista tutkimusta on tehty mm. lantojen, jätevesilietteiden ja erilaisten maatalouden sivuvirtojen käsittelystä hitaan pyrolyysin avulla. Kiertotalouden näkökulmasta keskeinen tutkimuskysymys on ns. kaskadiprosessointi, jossa ennen pyrolyysiä biomassasta voidaan esimerkiksi uuttoteknologioiden avulla erottaa arvokomponentteja ja vasta jäljelle jäänyt kiinteä uuttojäätös prosessoidaan pyrolyysin avulla. Syntyvät pyrolyysituotteet voidaan hyödyntää joko sellaisenaan tai seuraavan peräkkäisen teknologian avulla (esim. osana biokaasuprosessia). Rasi ym. (2019) julkaisussa on hahmoteltu yksi mahdollinen asetelma käyttäen männyn ja kuusen kuorta esimerkikiraa-aineina. Tutkimuksen tavoitteena oli hyödyntää biomassaa kokonaisvaltaisesti yhdistämällä kuumavesiuutto, pyrolyysi ja biokaasun tuotanto teknologiaketjuksi. Tämä mahdollisti useiden lisäarvotuotteiden tuottamisen siten, että kaikki biomassan jakeet käytettiin hyödyksi ilman jätevirtojen syntymistä.

Ohessa on koottu mahdollisia pyrolyysituotteiden käyttökohteita irrallisena biojalostamo- ja kaskadikäytön näkökulmasta. Koonti perustuu vain tieteellisesti julkaistuun tai julkaisuun tähtäävään tutkimustietoon. On syytä korostaa, että pyrolyysissä syntyvät jakeet sellaisenaan eivät välttämättä ole ”lopullinen tuote”, vaan ne voivat vaatia jatkojalostusta. Hyvänä esimerkkinä tästä on kiinteän hiilipitoisen (biohiili) jakeen käyttö fossiilisista raaka-aineista peräisin olevan aktiivihiihen korvaajana. Aktiivihiihelle tyypillisen korkean pinta-alan saavuttaminen vaatii hitaan pyrolyysin ohelle aktivoitiprosessin. Teknologiavalinnoista riippuen biohiili voidaan siten nähdä myös aihiona korkeamman lisäarvon tuotteiden valmistamisessa.

Pyrolyysilaitteistoja on saatavilla markkinoilta. Teknologinen valmiusaste on siten korkea (8-9), joskin tuotekehityksessä ja laitteistojen liittämässä osaksi muuta prosessointiteknologiaa (mm. esi- ja jälkikäsitteilylaitteistot) on varmasti innovaatiotarpeita. Samoin teknologian optimointi muille kuin puupohjaisille materiaaleille voi vaatia kehitystyötä. Sosiaalisen valmiusaste on perinteisille puupohjaisille raaka-aineille korkea (>7). Lopputuotteiden käyttöön ja markkinoihin eri sovelluskohteiden näkökulmasta liittyy kysymyksiä, joka vaatii syvempää erillistä tarkastelua. Yleisellä tasolla voidaan todeta kypsyyssasteen vaihtelevan TRL tasoilta 3-4 aina markkinoilla oleviin tuotteisiin asti (esim. biohiili kasvualustoissa).

Hiilipitoinen lopputuote:

### **Maanparannusaine, hiilensidonta viljelymailla**

Puupohjaisen biohiilen käyttö on kansainvälisessä tutkimuksessa ollut aktiivisen mielenkiinnon kohteena jo pitkään. Kotimaisessa tutkimuksessa ei ole kuitenkaan voitu osoittaa, että biohiilen vaikutukset viljelijän tai ympäristön kannalta olisivat erityisen merkittäviä (Heikkinen ym. 2019; Soinne ym. 2020). Hitaasti hajoavana materiaalina biohiili kuitenkin säilyy maaperässä pitkään ja lisää siten maaperän pitkäaikaista

hiilivarastoa. Biohiilen laajamittaisen käytön hidasteena on tällä hetkellä sen verrattain korkea hinta. Useita mahdollisia biohiilen hyötynäkökulmia on esitetty myös kotimaisessa kirjallisuudessa, mutta niiden taloudellista arvottamista ei ole tehty (Hagner ym. 2013; 2015; 2016).

### **Kasvualustat, vedenpidätysominaisuudet**

Luonnonvarakeskuksessa on tehty urauurtavaa tutkimusta biohiilen raaka-aineen ja syntyvän lopputuotteen välisen yhteyden tutkimuksessa. Keskeisenä tutkimussuuntana on ollut erilaisten biohiilen vaikutus kasvualustan vedenpidätysominaisuuksiin (Hyväluoma ym. 2017; 2018; Rasa ym. 2018). Erilaisten puu- ja kasvipohjaisten biohiilien on osoitettu vaikuttavan kasvualustojen vedenpidätysominaisuuksiin (Kuoppamäki ym. 2016; Turunen ym. 2020). Sen sijaan jätevesilietteen pyrolyysissä syntyvä hiili sellaisenaan ei vaikuttanut erilaisten kasvualustojen vedenpidätysominaisuuksiin (Turunen ym. submitted(a)). Biohiiltä käytetään jo osana kasvualustoja, mutta sovelluskohteen taloudellisesta kannattavuudesta ei ole tarkempaa tutkimustietoa. Huomioiden tarpeen korvata turpeen käyttöä osana kasvualustoja, biohiilen käyttö kasvualustakomponenttina on yksi mielenkiintoinen tuoteinnovaatio.

### **Biohiili lannoitevalmisteena**

Käytettäessä ravinnerikkaita biomassoja pyrolyysin raaka-aineena, on mahdollista tuottaa lannoitevalmisteeksi soveltuvaa hiiltä. Lantojen osalta tutkimukset ovat toistaiseksi toteutettu laboratorio- ja astiakoemittakaavassa käyttäen mm. broilerin ja turkiseläinten lantoja (Keskinen ym. 2019; 2020, Sarvi ym. Submitted; Sarvi ym. käsikirjoitus). Jätevesilietteen osalta on pyrolyysiajoja toteutettu teollisen mittakaavan pilottilaitoksessa (Keskinen ym. submitted; Sarvi ym. käsikirjoitus). Pyrolyysiteknologian hyödyntäminen jätevesilietteiden käsittelymenetelmänä etenee HSY:n teollisen mittakaavan pilot-pyrolyysilaitteiston käyttöönoton myötä, mikä mahdollisesti edistää teknologian hyödyntämistä myös muiden ravinnerikkaiden raaka-aineiden prosessoimisessa. Huomioiden ravinteiden kierrätyksen tehostamiseksi vaadittavan edistyneen prosessointimenetelmien ja -kapasiteetin tarpeen, on lannoitevalmisteisiin tähtäävillä tuoteinvestoinneilla merkittävä markkinapotentiaali.

### **Biohiili raaka-aineena korkean lisäarvon sovelluskohteissa**

Hitaalla pyrolyysillä tuotettua biohiiltä voidaan muokata esimerkiksi erilaisten aktivointiprosessien avulla aktiivihiilen kaltaiseksi korkean ominaispinta-alan materiaaliksi (Siipola et al. 2018). Luken viimeaikaiset tutkimukset ovat tuottaneet tietoa lyhytkiertoisten alihyödynnettyjen puulajien käytöstä biohiilen tuottamiseen (Rasa et al. submitted; Turunen et al. submitted(b)). Tulosten perusteella esimerkiksi paju- ja haapaviljelmiltä voidaan korjata puuta huokosrakenteelta hyvin tasalaatuisen biohiilen tuottamiseen. Tämän lähestymistavan oletuksena ja seuraavana tutkimusaskelena on, että tasalaatuinen biohiili toimisi hyvänä raaka-aineena kehitettäessä mm. aktiivihiileen ja sähköteknologioihin tähtääviä sovelluskohteita. Tuoteinnovaatiot ovat vielä vahvasti tutkimusvaiheessa, mutta toisaalta markkinapotentiaaloin voidaan katsoa olevan merkittävä.

### **Pyrolyysineste ja -kaasu**

Pyrolyysissä syntyvät kaasumaiset yhdisteet voidaan polttaa sellaisenaan ilman lauhduttamista. Kondensoimattomat kaasut sisältävät kuitenkin paljon vettä ja mahdollisesti hyödynnettäviä yhdisteitä, jolloin polton mielekkyys voidaan kyseenalaistaa. Yksi mahdollisuus on erotella pyrolyysiprosessin matalissa lämpötiloissa syntyvä mm. orgaanisia happoja ja vettä sisältävä jae erilleen. Tälle jakeelle on alla esitelty eri hyödyntämisvaihtoehtoja. Prosessin korkeammassa lämpötiloissa syntyvä tervayhdisteitä sisältävä jae voidaan hyödyntää energiana, tai edelleen kehittää niiden käyttöä korkeamman lisäarvon sovelluskohteissa.

## Pyrolyysineste kasvinsuojeluaineena

Alhaisissa lämpötiloissa syntyvä pyrolyysineste sisältää mm. etikkahappoa, furfuraalia ja muita yhdisteitä, joita on käytetty osana kaupallisia kasvinsuojeluaineita. Laboratoriomittakaavassa on osoitettu (proof of concept), että erilaiset pyrolyysinesteet soveltuvat biopohjaiseksi kasvinsuojeluaineeksi mm. rikkakasvien ja hyönteisten torjuntaan (Hagner ym. 2010a; 2010b; 2015a:2015b; 2018: 2020; Lindqvist ym. 2010). Pyrolyysinesteiden hyödyntämisestä kasvinsuojelussa käytettävissä katemateriaaleissa on olemassa myös patentoitu sovellus (FI127775B MULCH COMPOSITION, METHOD OF MANUFACTURING AND RELATED USES, Hagner et al. 2020a, 2020b), tutkimukset sovelluskohteen tiimoilta jatkuvat. Mikäli nestepohjaisia tuoteinnovaatioita voidaan kehittää kaupallisiksi sovelluksiksi korvaamaan synteettisiä kasvinsuojeluaineita, on niillä merkittävä tulevaisuuden markkinapotentiaali.

## Pyrolyysineste lietalannan hapotuksessa

Pyrolyysinesteiden hyödyntämiselle ei ole toistaiseksi kaupallista käyttöä ja siksi nestejake on ollut teknologian käyttöönoton kannalta haaste. Yksi mahdollisuus matalissa pyrolyysilämpötiloissa syntyvän orgaanisia happoja sisältävän nestejakeen hyödyntämiseksi on sen käyttö synteettisen väkevän rikkihapon korvaajana lietalannan hapottamisessa. Sovelluksen taustalla on ajatus hajautetusta pyrolyysiprosessista lähellä metsäperäisiä raaka-ainelähteitä, mikä parhaimmillaan yhdistyy kotieläintuotantoalueisiin (synergiaedut lyhyiden kuljetusmatkojen takia). Tutkimuksissa on osoitettu menetelmän toimivan (Keskinen ym. 2018), mutta sen käytännön mittakaavan toteutukseen liittyy vielä avoimia kysymyksiä (Hagner ym. submitted). Sovelluksen markkina-arvoa ei ole yksityiskohtaisesti arvioitu, mutta lähtökohtaisesti sen voidaan olettaa olevan hyvin maltillinen.

## Kirjallisuutta

- Hagner, M., Hallman, S., Jauhiainen, L., Kemppainen, R., Rämö, S., Tiilikkala, K., Setälä, H. 2015a. Birch (*Betula* spp.) wood biochar is a potential soil amendment to reduce glyphosate leaching in agricultural soils. *Journal of Environmental Management* 164:46-52.
- Hagner, M., Hyvönen, T., Mikola, J., Kemppainen, R., Lindqvist, B., Suojala-Ahlfors, Tiilikkala, K. 2020a. Efficiency of a novel biodegradable pyrolysis liquid-amended mulch in weed control. *Weed Research* 60:182–193  
<https://doi.org/10.1111/wre.12411>
- Hagner, M., Kemppainen, R., Jauhiainen, L., Tiilikkala, K., Setälä, H. 2016. The effects of birch (*Betula* spp.) biochar and pyrolysis temperature on soil properties and plant growth. *Soil & Tillage Research* 163: 224–234.
- Hagner, M., Kuoppala, E., Fagnäs, L., Tiilikkala, K. & Setälä, H. 2015b. Using the copse snail *Arianta arbustorum* (Linnaeus) to detect repellent compounds and the quality of wood vinegar. *International Journal of Environmental Research*. 9:53-60.
- Hagner, M., Lindqvist, B., Vepsäläinen, J., Samorì, C., Keskinen, R., Rasa, K., Hyvönen, T. 2020b. Potential of pyrolysis liquids to control the environmental weed *Heracleum mantegazzianum*. *Environmental technology and innovation* 20: 11 p.
- Hagner, M., Pasanen, T., Lindqvist, B., Lindqvist, I., Tiilikkala, K., Penttinen, O-P. & Setälä, H. 2010a, Effects of birch tar oils on soil organisms and plants. *Agricultural and Food Science* 19: 13-23.
- Hagner, M., Penttinen, O-P., Tiilikkala, K. & Setälä, H. M. 2013. The effects of biochar, wood vinegar and plants on glyphosate leaching and degradation. *European Journal of Soil Biology* 58: 1-7.
- Hagner, M., Rätty, M., Nikama, J., Rasa, K., Peltonen, S., Vepsäläinen, J., Keskinen, R. Slow pyrolysis liquid in reducing NH<sub>3</sub> emissions from cattle slurry – usability, plant growth response and impacts on soil organisms. Submitted
- Hagner, M., Tiilikkala, K., Lindqvist, I., Niemelä, K., Wikberg, H., Källi, A., Rasa, K. 2018. Performance of liquids from slow pyrolysis and hydrothermal carbonization (HTC) in plant protection. *Waste and Biomass Valorization*  
<https://doi.org/10.1007/s12649-018-00545-1>
- Hagner, M., Penttinen, O-P., Pasanen, T., Tiilikkala, K. & Setälä, H., 2010b, Acute toxicity of birch tar oil on aquatic organisms. *Agricultural and Food Science* 19: 24-32.
- Heikkinen, J., Keskinen, R., Soenne, H., Hyväluoma, J., Nikama, J., Wikberg, H., Källi, A., Siipola, V., Melkieor, T., Dupont, C., Campargue, M., Larsson, S.H., Hannula, M., Rasa, K. 2019. Possibilities to improve soil aggregate stability using



- biochars derived from various biomasses through slow pyrolysis, hydrothermal carbonization, or torrefaction. *Geoderma* 344, 40-49.
- Hyväluoma, J., Hannula, M., Arstila, K., Wang, H., Kulju, S., Rasa, K. 2018. Effects of pyrolysis temperature on the hydrologically relevant porosity of willow biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 134, 446-453.
- Hyväluoma, J., Kulju, S., Hannula, M., Wikberg, H., Källi, A., Rasa, K. 2017. Quantitative characterization of pore structure of several biochars with 3D imaging. *Environmental Science and Pollution Research*, 25: 25648-25658.
- Keskinen, R., Hyväluoma, J., Sohlo, L., Help, H., Rasa, K. 2019. Fertilizer and soil conditioner value of broiler manure biochars. *Biochar* 1, 259-270. <https://doi.org/10.1007/s42773-019-00020-7>
- Keskinen, R., Hyväluoma, R., Wikberg, H., Källi, A., salo, T., Rasa, K. 2018. Possibilities of using liquids from slow pyrolysis and hydrothermal carbonizations in acidification of animal slurry. *Waste and Biomass Valorization* 9, 1429-1433.
- Keskinen, R., Nikama, J., Kaseva, J., Rasa, K. Feasibility of nitrogen-enriched chars as circular fertilizers. Submitted
- Keskinen, R., Suojala-Ahlfors, T., Sarvi, M., Hagner, M., Kaseva, J., Salo, T., Uusitalo, R., Rasa, K. 2020. Granulated broiler manure based organic fertilizers as sources of plant available nitrogen. *Environmental Technology & Innovation* 18, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100734>
- Kuoppamäki, K., Hagner, M., Setälä, H. 2016. Biochar amendment in green roof substrate affects runoff quality and quantity. *Ecological Engineering* 88:1-9.
- Lindqvist, I., Lindqvist, B., Tiilikkala, K., Hagner, M., Penttinen, O-P., Pasanen, T. & Setälä, H. 2010, Birch tar oil is an effective mollusc repellent: field and laboratory experiments using *Arianta arbustorum* (Gastropoda: Helicidae) and *Arion lusitanicus* (Gastropoda: Arionidae). *Agricultural and Food Science* 19: 1-12
- Rasa, K., Heikkinen, J., Hannula, M., Arstila, K., Kulju, S., Hyväluoma, J. 2018. How and why does willow biochar increase a clay soil water retention? *Biomass and Bioenergy* 119, 346-353.
- Rasa, K., Viherä-Aarnio, A., Rytönen, P., Hyväluoma, J., Kaseva, J., Suhonen, H., Jyske, T. The structural properties of feedstock determine the structural properties of willow biochar-quantitative analysis. Submitted to *Industrial Crops and Products*.
- Rasi, S., Kilpeläinen, P., Rasa, K., Korpinen, R., Raitanen, J-E., Vainio, M., Kitunen, V., Pulkkinen, H., Jyske, T. 2019. Cascade processing of softwood bark with hot water extraction, pyrolysis and anaerobic digestion. *Bioresources Technology* 292. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121893>
- Sarvi, M., Hagner, M., Velmala, S., Soenne, H., Uusitalo, R., Keskinen, R., Ylivainio, K., Rasa, K. Phosphorus availability of broiler manure-based organic fertilizers: chemical analyses and ryegrass growth response. Submitted.
- Sarvi, M., Rasi, S., Salo, T., Rasa, K., Vainio, M., Ylivainio, K., Luostarinen, S. 2019. Pyrolysis as a method for improved phosphorus recycling of fur animal manure. Manuscript in preparation.
- Siipola, V., Tamminen, T., Källi, A., Lahti, R., Romar, H., Rasa, K., Keskinen, R., Hyväluoma, J., Hannula, M., Wikberg, H. 2018. Effects of biomass type, carbonization process, and activation method on the properties of bio-based activated carbons. *BioResources* 13, 5976-6002.
- Soenne, H., Keskinen, R., Heikkinen, J., Hyväluoma, J., Uusitalo, R., Peltoniemi, K., Velmala, S., Pennanen, T., Fritze, H., Kaseva, J., Hannula, M., Rasa, K. 2020. Are there environmental or agricultural benefits in using forest residue biochar in boreal agricultural clay soil? *Science of the Total Environment*, 731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138955>
- Turunen, M., Hyväluoma, J., Heikkinen, J., Keskinen, R., Kaseva, J., Hannula, M., Rasa, K. 2020. Quantifying the pore structure of different biochars and their impacts on the water retention properties of Sphagnum moss growing media. *Biosystems Engineering* 191. 96-106.
- Turunen, M., Hyväluoma, J., Keskinen, R., Kaseva, J., Nikama, J., Reunamo, A., Rasa, K. Pore structure of waste water sludge chars and their water retention impacts in different soils. Submitted(a).
- Turunen, M., Rasa, K., Urbano-Tenorio, F., Hyväluoma, J., Rytönen, P., Kaseva, J., Egbert, B., Suhonen, H., Jyske, T. How clonal differences and within-tree heterogeneity affect pore property transformation when pyrolysing hybrid aspen wood into biochar? Submitted(b)

## Turpeen korvaaminen kasvualustoissa ja kuivikkeissa, eri sivuvirtavaihtoehdot

Titta Kotilainen, Sanna Finni

### Kuinka paljon sivuvirtoja on käytettävissä?

Alla mainittuja sivuvirtoja voidaan hyödyntää puutarhatuotannon kasvualustoissa ja osittain myös eläinten kuivikkeina. Luokittelu ja biomassan määrä saatu Biomassa-atlaksesta ellei toisin mainita.

Biomassa	t/vuosi
Puutuoteteollisuuden vaarattomat sahajauho, lastut, palaset ja puupohjaiset levyt	600426
Puutuoteteollisuuden kuori- ja korkkijätteet	185141
Massa- ja paperiteollisuuden kuori- ja puujätteet	424410
Paperi- ja kartonkipakkaukset, Yhdyskuntajätteen paperi ja kartonki, Jätteiden mekaanisen käsittelyn paperi- ja kartonkijätteet (yritystoiminnasta)	72679
Massa- ja paperiteollisuuden jätevesilietteet lukuun ottamatta kuitujätteitä sekä kuitu-, täyteaine- ja päällystysainelietteitä, jätteenkäsittelystä	432700
Ruokohelpi (estimoitu Luken Tilastotietokannasta viljelyalan ja vuoden 2017 satotason perusteella, satotietoa ei käytettävissä vuodesta 2017 eteenpäin)	13162
Järviruoko (Hyvärinen ym. 2017)	500 000

### Mitä mahdolliset lopputuotteet olisivat?

Rajoitettuihin kasvien kasvatusympäristöihin valmistettavat lopputuotteet voivat olla viljelylevyjä tai -kuutioita, paalattua tai säkitettyä kasvualustaa. Viljelylevyjä tai -kuutioita käytetään tyypillisesti kasvihuoneissa, kausihuoneissa ja viljelykouruissa tunneliviljelyssä. Paalattua tai säkitettyä kasvualustaa käytetään puolestaan erilaisissa astiaviljelyratkaisuisissa. Sovelluskohteena on myös viherrakentamisen irtomultatuotteet sekä tuotanto- ja harrastuseläinten kuivikkeet.

Avomaan vihannesten ja marjojen viljelyssä sekä viherrakentamisessa käytettävä maanpeitekate on myös yksi sovellusmahdollisuus. Tähän soveltuvat ainakin paperi- ja massateollisuuden pää- ja sivuvirrat, mahdollisesti myös ruohomaiset kasvukuidut tekniikan kehittyessä.

### Mitä raaka-aineita voidaan korvata?

Yllä mainituilla biomassoilla voidaan korvata turvetta ammatti- ja harrasteviljelyn kasvualustoissa sekä viherrakentamisen kasvualustoissa. Kestävämpiä materiaaliratkaisuja olisivat kasvi- ja puupohjaiset kuidut sekä erityisesti niiden prosessoinnin sivuvirrat. Myös eläinten kuivikkeena käytettävää turvetta voidaan korvata erilaisilla biopohjaisilla sivuvirroilla. Kuiviketuoituotannossa korvaavia materiaaleja voivat olla viljelty biomassat (ruokohelpi) sekä metsäbiomassaan pohjautuvat puunjalostusteollisuuden sivuvirrat joko ainoana kuivikevaihtoehdona tai erilaisina uusina yhdistelminä.

Maailmanlaajuisesti erilaisia kasvualustoja käytetään vuosittain noin 55 Mm<sup>3</sup>, josta lähes 40 Mm<sup>3</sup> on turvetta. Muina kasvualustamateriaaleina käytetään kookoskuitua (n. 5 Mm<sup>3</sup>) ja kivivillaa (n. 1 Mm<sup>3</sup>). Sekä turpeen, kivivillan että kookoskuidun käyttö kasvualustamateriaalina on haastava ekologisten, sosiaalisten ja taloudellisten kysymysten vuoksi. Suomessa turvetta käytetään puutarhakasvien viljelyssä n. 200 000 m<sup>3</sup>/v ja koko metsätaimituotanto (n. 150 milj. kpl/v) perustuu kasvuturpeen käyttöön. Erilaisten teollisesti valmistettujen ja rajoitettujen kasvualustarakaisujen globaalin kysynnän sekä avomaa- että kasvihuoneviljelyssä arvioidaan ainakin nelinkertaistuvan vuoteen 2050 mennessä. Kasvualustoihin liittyvä liikevaihto EU:ssa on 1,3 miljardia euroa. Suomessa kotieläinten kuiviketurvetta käytetään n. 0,6-1,3 Mm<sup>3</sup>/v. Noin 90 % broileritiloista käyttää turvekuiviketta ja kasvava broilerituotanto lisää entisestään

tarvetta. Hevos- ja nautakarjatiljoilla kuivikkeiden käyttömäärät ovat suuria. Puutarhatalouden uudet kateratkaisut korvaavat lähinnä muovin käyttöä.

Kuivikkeiden käyttö edistää paitsi eläinten puhtautta, hyvinvointia ja terveyttä myös vaikuttaa tuotannon ja lopputuotteiden laatuun ja hygieniaan.

### **Arvio nykyisestä TRL-tasosta?**

Teollisuuden sivuvirtajakeista ja ruokohelvestä on pystytty kompostoimalla tuottamaan lupaavia kasvualustamateriaaleja. Koemittakaavassa (200 l) tuotettujen kasvualustaerien toimivuus on todennettu lyhytkestoisin kasvatuskokein eri kasveilla (TRL3-4). Kompostointi sinänsä teollisessa mittakaavassa on jo olemassa ja viherrakentamisen kasvualustojen valmistuksessa hyödynnetään jo erilaisia metsäteollisuuden sivuvirtoja (TRL9). Sovellukset kuitenkin ammattimaiseen puutarhakasvien viljelyyn tuotetuissa kasvualustoissa puuttuvat. Yrityksen kehittämä menetelmä kasvualustan tuottamiseksi ruokohelvestä ja järviruokosta on myös olemassa (Kiteen mato ja multa 2017, TRL 8-9). Tällä patentoidulla prosessilla valmistettua kasvualustaa on testattu kasvihuonetomaatin kasvualustana Luonnonvarakeskuksessa hyvin tuloksin (Särkkä ym. 2016). Muiden käsittelyteknologioiden osalta tutkimuksia on meneillään (TRL3-4). Pelletointi sopii useimmille hienojakoisille materiaaleille kuiviketuotannossa.

### **Mitä tutkimukselta vielä edellytetään, esim. skaalaus?**

Kaupallistamisessa oleellista on kasvualusta- tai kuiviketuotteen valmistuskustannus sekä tasalaatuisten materiaalien riittävä ja katkeamaton saatavuus. Uusi raaka-aine tai valmistusmenetelmä ei saa merkittävästi lisätä tuotantokustannuksia nykyisestä. Lisäksi tarvitaan tietoa vaihtoehtoisten tuotteiden elinkaarisista ilmasto- ja taloudellisista vaikutuksista sekä taloudellisten ja sosiaalisten vaikutusten arviointia, joka mahdollistaa vaihtoehtoisten tuotteiden heijastusvaikutusten tarkastelun kokonaiskestävyyden kannalta.

Ruokohelpeä voidaan viljellä kivennäismailla ja eloperäisillä mailla ja se soveltuu erityisesti kosteikkoviljelyyn. Monivuotinen kasvi muodostaa pitkäaikaisen kasvipeitteen, vähentää muokkaustarvetta ja siten KHK-päästöjä. Ruokohelpeä on Suomessa viljely lähinnä energiaksi, pieni osuus on mennyt kuiviketuotantoon. Energiakäytössä ilmenneiden ongelmien vuoksi (tehoton logistiikka, soveltumattomuus nykyisiin polttolaitoksiin) ruokohelven viljelyalat ovat vähentyneet. Arvonmuodostus kasvualustan tai kuivikkeiden raaka-aineena tulisi arvioida erikseen. Olisiko viljely, keruu ja kuljetus kannattavaa kasvualusta- ja kuiviketeollisuuden maksamilla hinnoilla?

Järviruoko kerätään luonnontilaisilta, rehevöityneiltä ranta-alueilta. Järviruokon osalta saatavuutta parannetaan parhaillaan eri hankkeissa. Keskeiset ruovikkojen niiton esteenä olevat pullonkaulat liittyvät korjuuteknologiaan ja logistiikkaan.

Kasvialustojen laatuvaatimukset vaihtelevat eri käyttökohteissa viherrakentamisesta ja taimituotannosta ammattimaiseen kasvihuoneviljelyyn. Uusiopohjaisten raaka-aineiden sovelluspotentiaali vaihtelee käyttökohteen mukaan. Ammattimaiseen kasvintuotantoon ja eläinten hyvinvointiin suunnattujen tuotteiden laatuvaatimukset ovat korkeimmat. Tarvitaan tutkimusta siitä mitkä puunjalostusteollisuuden sivuvirrat ja miten valmistettuihin soveltuvat kuhunkin käyttötarkoitukseen. Esim. Kuivikkeiden osalta on selvitettävä käyttökustannuksia, vaikutusta eläinten hyvinvointiin ja syntyvän kuivikelannan jatkojalostusarvoa.

Puupohjaisten materiaalien esim. metsäteollisuuden sivuvirtojen osalta prosessoinnissa kasvualustaksi on vielä paljon tutkimattomia teknologisia mahdollisuuksia. Kompostointia nopeampia menetelmiä on mahdollista kehittää ja hyödyntää jo olemassa olevia sellu-, kartonki- ja paperiteollisuuden prosesseja. Metsäteollisuuden tuotantolaitosten alasajon sijaan olisi selvitettävä laitosten soveltuvuutta mm. erilaisten kasvialustojen valmistamiseen.

## Kirjallisuutta

Biomassa-atlas palvelu <https://www.luke.fi/biomassa-atlas/>.

Hyvärinen, H., Usva, K., Saarenketo, P., Juhanoja, S. ja Tuhkanen, E-M. 2017. Uutta liiketoimintaa vesistöjen ravinteista. Esiselvitys. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 39/2017. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 51 s.

Kiteen mato ja multa 2017. Eri ruokomateriaalien teollinen hyödyntäminen ravinteiden kierrätyksessä. Loppuraportti Ruokotuote -hanke.

Rannikkoruoko hanke. <https://johnnurmisenfaatit.fi/hankkeet/rannikkoruokohanke/>

Särkkä, Liisa; Tuomola, Päivi; Jokinen, Kari. 2016. Ruokohelpi- ja järviruokopohjaisten materiaalien soveltuvuus tomaatin kasvualustaksi: Loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 55/2016: 23 s.

Turunen, M., Hyväluoma, J., Heikkinen, J., Keskinen, R., Kaseva, J., Hannula, M. ja Rasa, K. 2020. Quantifying the pore structure of different biochars and their impacts on the water retention properties of *Sphagnum* moss growing media. Biosystems Engineering 191: 96-106. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.01.006>

## Kuoribiojalostamo

Hanna Brännström, Tuula Jyske, Petri Kilpeläinen, Risto Korpinen

### Kuinka paljon sivuvirtoja on käytettävissä?

Suomen metsäteollisuus käytti vuonna 2019 yhteensä lähes 71,1 miljoonaa kuutiometriä raakapuuta (stat.luke.fi). Havupuun kuoren osuus rungon tilavuudesta on vajaa 10 %. Vastaava luku lehtipuulle, varsinkin koivulle on n. 12 % (Björklund 2004).

Suomessa metsäteollisuus on käyttänyt vuosittain keskimäärin 25 Mm<sup>3</sup> kuusen (*Picea abies*) ainespuuta 2000-luvulla (Taulukko 1) (SVT 2020). Ainespuun käytön seurauksena syntyvän kuusen kuoren määrä on noin 1 miljoonaa kuivatonna vuosittain. Mäntyä (*Pinus sylvestris*) käytetään vuosittain hiukan enemmän, keskimäärin 27 M m<sup>3</sup>. Sivuvirtana syntyvän männyn kuoren määrä on noin 0,9 miljoonaa kuivatonna vuosittain.

Taulukko 1 Ainespuun keskimääräinen vuosittainen teollinen käyttö 2000-luvulla ilmoitettuna kuoripäällisenä tilavuutena, sekä kuoren osuus rungon tilavuudesta ja kuoren kuiva-tuoretiheys (Heiskanen ja Rikkinen 1976, Rikkinen ja Saikku 1976, Hakkila et al. 2020, SVT 2020). Näiden arvojen pohjalta laskettiin teollisen käytön seurauksena syntyvän kuoren määrä kuivatonneina.

2000-2019	Kuusi		Mänty		Lehtipuut	
	kuitupuu	tukkipuu	kuitupuu	tukkipuu	kuitupuu	tukki
Ainespuun käyttö, kuoripäällinen tilavuus, [Mm <sup>3</sup> ]	10,5	14,2	15,4	11,2	12,8	1,4
kuoren osuus rungon tilavuudesta, %	12,8	10,1	11,8	12,2	14,1 <sup>1)</sup>	
kuoren kuiva-tuoretiheys, [kg/m <sup>3</sup> ]	346	383	286	292		
Kuori, [Mt/a, kuiva-ainetta]	0,46	0,55	0,52	0,40		

<sup>1)</sup> koivu, lajeja ei eroteltu

Metsäteollisuuden sivuvirtana syntyi merkittävä määrä kuorta, yhteensä n. 7,1 miljoonaa kuutiometriä. Kuoren ensisijainen käyttökohde on sen polttaminen. Tukkipuuta käyttävät sahat, vaneritehtaat ja paperitehtaat tarvitsevat energiaa erilaisiin prosesseihin höyrynä ja lämpönä. Esimerkiksi vaneritehtaassa syntyvien sivutuotteiden (kuori, katkaisu- ja pyörästystähde, kuivaleikkaustähde, sahausreunat ja hiomapöly) sisältämä energia on yli kaksinkertainen verrattuna vanerikuution valmistukseen tarvittavaan energiaan. Vaneritehdas on siis energiaylijäämäinen. Lisäksi, koivun kuoren energiaosuus on 21 % sivutuotteiden kokonaisenergiaosuudesta (Siitonen 2010), joten kuori voitaisiin hyödyntää kokonaan muuhun käyttöön kuin energiantuotantoon.

Koivun kuori on jakaantunut kahteen eri kerrokseen: ulkokuoreen eli tuoheen ja sisäkuoreen. Ulkokuoren osuus runkopuusta on 3–4 % ja sisäkuoren osuus 8–9 %. Yhdestä kuutiosta runkopuuta saadaan 10,6 kg

absoluuttisen kuivaa ulkokuorta (Rižikovs ym. 2014), joten taulukosta 1 voidaan arvioida, että hyödynnettävää ulkokuorta syntyi vuodessa n. 150 000 tonnia.

Kuoribiojalostamokonseptien kehittämisen tueksi on mahdollista kehittää biomassan saatavuusarvioita metsävaratiedoista. Tällä hetkellä julkisesta saatavilla oleva, Luken kehittämä **VMI Puuhaku** -työkalu tuottaa käyttäjän määrittelemälle alueelle (ympyrä) ja biomassaositteelle (puulaji, kasvupaikka, jne.) yhden puun keskimääräisen kuoren biomassan (kg, VMI:n koepuiden keskiarvo), josta voidaan arvioida eri puulajeille tyyppillistä alueellista kuoren määrää metsiköissä. VMI Puuhaku on metsäinfo-sivustolla julkaistu uusi verkkopalvelu, joka tuo puun ominaisuudet kartalla ja kaikkien saataville. Linkki: <https://lukemetsainfo.luke.fi/fi/vmi-puuhaku>.

### **Mitä mahdolliset lopputuotteet olisivat?**

Koivun tuohi sisältää mm. suberiinia ja triterpeeniyhdisteitä kuten betulinolia ja lupeolia. Betulinolin ja lupeolin osuus ulkokuoresta on n. 30–35 % (Ekman 1983) Suberiinin osuus on n. 45 % ja loppu ulkokuoresta koostuu muista uuteaineista 5–10 %, hiilihydraateista 6 % ja ligniinistä 9 % (Pinto ym. 2009).

Betulinoli voidaan muokata betuliinihapoksi, jolla on todettu olevan biologisia ja farmakologisia toiminnallisuuksia. Betuliinihapon on todettu ehkäisevän malariaa ja erilaisia tulehduksia. Lisäksi betuliinihapolla ja sen johdannaisilla voidaan ehkäistä HIV:tä ja erilaisia syöpiä (Alakurtti ym. 2006). Betulinoli on erittäin rasvaliukoinen yhdiste, joten sitä ja sen johdannaisia voidaan hyödyntää esim. vettähylkivien tekstiilien valmistamisessa (Huang 2019). Lisäksi betulinolia ja sen johdannaisia voidaan käyttää säilöntäaineena, antioksidanttina, ihonhoitoaineissa, hiustenhoitoaineissa ja ravintolisissä. OptiBark-projektissa tutkitaan myös betulinolin hyödyntämistä pinta-aktiivisten aineiden valmistuksessa.

Suberiinin rasvahappoja voidaan käyttää vettähylkivien pinnoitteiden valmistamiseen, esim. hydrofobisen paperin valmistamiseen (Korpinen ym. 2019). Muita suberiinin rasvahappojen käyttökohteita voivat olla kosmetiikassa ihonpehmentimenä. Suberiinirasvahapot voivat toimivat maaleissa, musteissa ja päällysteissä kuivattajina sekä dispergointiaineina esimerkiksi maaleissa, sementissä, savituotteissa, öljynporaustesteissä sekä asfaltin emulgeeninä (Laine 2020). Suberiinirasvahappoja voitaisiin myös hyödyntää puunsuoja-aineena. Suberiinirasvahappoja voidaan muokata kemiallisesti ja käyttää mm. antioksidanteissa, päällysteissä, kopolymeereissä (polyuretaani), ruoan säilöntäaineena, vedenpuhdistuksessa (flokkulanttina), tekstiilivärinä, ruoan lisäaineena sekä lisäaineena lääketeollisuudessa.

Hybridihaavan (*Populus tremula* L. × *p. tremuloides* Michx.) kuorimassa on arviolta 10 % rungon massasta koostuen ligniinin (25 %), hemiselluloosan (28 %) ja selluloosan (15 – 23 %) rinnalla runsaasta määrästä hydrofiilisiä (14 – 20 %) sekä lipofiilisiä (2 – 5 %) uuteaineita. Koealoilla viljellyissä hybridihaapaklooneissa on havaittu olevan kloonityypikohtaista laatuvaihtelua, joten kloonien jalostuksella voidaan arvioida olevan vaikutusta puuaineksen koostumuksellisiin pitoisuuksiin. Koivun kuoren tapaan myös hybridihaavan kuoresta on eristettävissä suberiinirasvahappoja, mutta sisä- ja ulkokuoren erottelun ollessaan haastavaa, suberiinipitoisuus jää kuoren kokonaismassassa vain muutaman prosentin luokkaan. Kuoren vesi- ja alkoholiliukoiset uuteaineet sisältävät paljon voimakkaita fenolisia antioksidantteja, mutta vain vähäisissä määrin kondensoituneita tanniineja. (Korkalo, et al., 2020)

Kuusen ja männyn kuori sisältää runsaasti polyfenoleita, joita kutsutaan tavallisesti tanniineiksi. Tanniineille on runsaasti mahdollisia käyttökohteita. Perinteisesti tanniineja on käytetty nahan parkitsemisessa

(englanniksi tanning), jonka mukaan tämä monipuolinen yhdisteryhmä on nimetty. Tanniineita on tutkittu ja käytetty hyvin monissa eri käyttökohteissa kuten liimoina, vaahtoina, antioksidantteina, antiviraaleina, tulehdusta vastaan, ruostumisen estämiseen, virvoitusjuomissa, ruuissa, proteiinin saostamiseen, antibiootteina ja sairaudenhoidossa (Feng et al., 2013, Fraga-Corral et al., 2020, Jablonsky et al., 2017, Shirmohammadi et al. 2018). Teolliseen tuotantoon parhaiten soveltuvina pidetään perinteistä nahan valmistusta ja niiden käyttö osana liimoissa esimerkiksi puun liimaamiseen (Pizzi 2019). Yleensä tanniinit on eristetty muista lähteistä kuin pohjoismaisista havupuista, mutta viime vuosina kiinnostus tämän suuren sivuvirran hyödyntämiseen on kasvanut.

Männyn kuori koostuu hemiselluloosasta, selluloosasta, ligniinistä ja uuteaineista (Raitanen et al. 2020). Ulkokuoressa on huomattavasti enemmän ligniiniä kuin sisäkuoressa. Uuteaineina pidetään yhdisteitä, jotka eivät ole rakenteellisia soluissa ja ne ovat sitä myöten helpommin uutettavissa. Männyn sisä- ja ulkokuori sisältää näitä helpommin uuttuvia yhdisteitä, kuten sokereita, lignaaneja, flavonoideja, katekiineja ja prosyanideja (Karonen 2004). Erytisen runsaasti uuteaineita on sisäkuoressa 24 %, verrattuna ulkokuoreen 6 %. Sisäkuorta on aikaisemmin käytetty ruuissa peptuna, sillä se sisältää sokereita: glukoosia, fruktoosia ja sakkaroosia. Uuteaineet saadaan eristettyä helpommin kuoresta kuin muut yhdisteryhmät, joiden irrottaminen kuoresta vaatii korkeaa käsittelylämpötilaa ja sitä myötä painetta kestävän astian sekä voimakkaita keittokemikaaleja kuoren rakenteen hajottamiseen.

Myös kuusen sisä- ja ulkokuori sisältävät eri määrän yhdisteitä. Ja kuten männyllä, myös kuusella ulkokuoressa on huomattavasti enemmän ligniiniä kuin sisäkuoressa. Verrattuna mäntyyn, jossa sisä- ja ulkokuoren uuteainepitoisuudet vaihtelivat huomattavasti, kuusenkuoriosat sisältävät lähes saman määrän uuteaineita, 22 % sisäkuoressa ja 17 % ulkokuoressa (Raitanen et al. 2020). Kuusen uuteaineita ovat pääasiassa kondensoituneet tanniinit, stilbeenit, stilbeeniglukosidit ja erilaiset sokerit. Kuusen ja männyn kuoresta kuumalla vedellä eristettyjen tanniinipitoisten uutteen potentiaalia antioksidantteina ja antimikrobiaaleina tutkittaessa todettiin, että uutella on edellytyksiä kehitettäessä säilyvyyttä parantavia ainesosia ja/tai säilöntäaineita. Uutteen havaittiin mm. estävän hyvin rasvojen hapettumista liposomimalleilla testattaessa. Männyn ja kuusen kuoren uutteen olivat lipidien hapettumisenesto-vaikutuksiltaan 10-100 kertaa tehokkaampia kuin fenolisen marjatuotteen uutteen. Kuoriuutteet eivät vaikuttaneet merkittävästi lihavälipalojen hajuun tai makuun. Havainnot osoittavat, että kuoriuutteita voitaisiin käyttää kestävinä elintarvikkeiden ainesosina. Tarvitaan kuitenkin lisää tutkimusta, jotta voidaan todentaa tanniiniuutteen turvallisuus elintarvikkeissa lisä- ja makuaineina (Raitanen et al. 2020). Kuusen kuoren stilbeenipitoiset uutteen, jotka ovat valoherkkiä, eivät menetä antioksidatiivisuus- ja/tai antimikrobisuusvaikutustaan edes sen jälkeen, kun ne oli altistettu UV-valokäsittelylle (Välimaa et al. 2020). Stilbeenejä voitaisiin siten hyödyntää esimerkiksi pintojen lyhytaikaisessa suojauksessa.

Taulukko 2. Esimerkkejä tanniinien potentiaalisista hyödyntämissuunnista.

<b>Hyödyntämispolut</b>	
<b>Perinteinen käyttö</b>	<b>Uudet tuotteet/innovaatiot</b>
Nahan parkitseminen	Vedenkestävät liimat
Proteiinien saostus erilaisissa (kemian)teollisuuden prosesseissa	Veden ja jäteveden puhdistus (esim. raskasmetalleista, surfaktanteista ja orgaanisista kontaminanteista)
	Tanniinivaahoja lämpöeristeenä ja äänenvaimennuksessa, ja Eristysvaahtojen palonkestävyyden parantaminen
	Pintojen päällystys, laminaatit
	Tanniinikäsitelty silkkikangas, jolla on antioksidatiivisia sekä antibakteerisia ominaisuuksia
	Kosmetiikkaan ja lääkevalmisteisiin liittyvät sovellukset
	Rehutuotteet
	Muovihartsien valmistus
	Jarrupaloja autoteollisuuteen tanniini-furfuryylialkoholi hartsista
	Jarrupaloja autoteollisuuteen tanniini-furfuryylialkoholi hartsista
	Tanniini-rauta kompleksin käyttö aurinkokennoissa
	Polylaktidi-tanniini-peräisten komposiittien valmistus
	Tanniinihappo-polyetylen glykoli biologisena sidosaineena sisäisen haavan (verisuoni) parannuksessa
	Tanniini-peräiset biosorbentit arvokkaiden metallien (esim. kulta, hopea, palladium, platina) talteenottoon vesiliuoksista, elektroniikkajätteestä ja hydrometallurgian prosesseista
	Antimikrobisia vaikutuksia sol-gel enkapsulodulla tanniini-uuteella
	Tanniini-furaani vaahto kukka-asetelmien tueksi ja/tai kasvualustaksi

### Mitä raaka-aineita voidaan korvata?

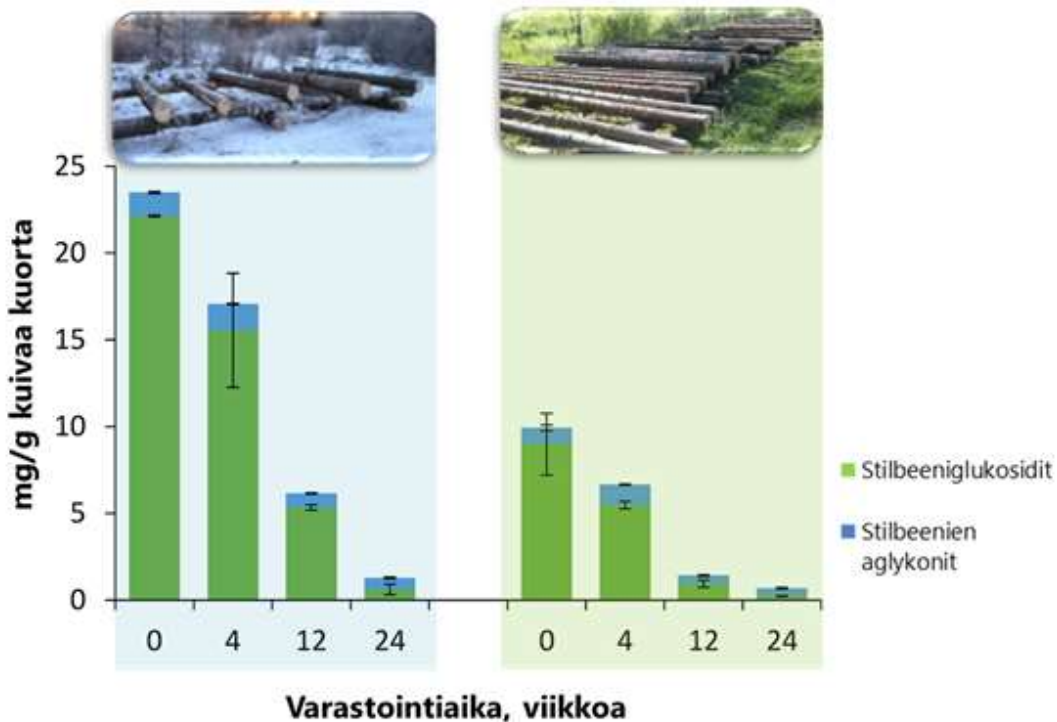
Kuoren yhdisteillä voidaan korvata synteettisiä kemikaaleja, joiden raaka-aineet ovat fossiilisia (Taulukko 2). Myrkylliset puunkyllästysaineet (kromi, kupari, kreosootti yms.) voitaisiin korvata kuoresta saatavilla yhdisteillä.



## Toimitusketjulla merkittävä vaikutus kuoriraaka-aineen kemialliseen koostumukseen

Kuoren uuteaineiden hyödyntäminen biojalostuksen raaka-aineena asettaa uudenlaisia vaatimuksia raaka-aineen toimitusketjulle materiaalin tuoreuden suhteen (Routa ym. 2020 a,b). Uuteaineperäisten yhdisteiden pitoisuudet kuoressa pienenevät nopeasti, ja jotkin yhdisteet voivat hävitä kokonaan, jos materiaalia ei käsitellä oikein. Etenkin arvokkaiden fenolisten uuteaineiden, kuten tanniinien ja stilbeenien, pitoisuudet laskevat nopeasti varastoinnin aikana (Jyske ym. 2020, Routa ym. 2020b). Varastointitavalla on myös merkittävä vaikutus häviöihin.

Routa ym. (2020) tutkivat varastoinnin vaikutusta männyn ja kuusen sahuksen laatuun polttoaineena, sekä varastoinnin vaikutusta kuoren uuteainepitoisuuksiin. Kuusen ja männyn kuorta varastoitiin 8 viikon ajan kasassa. Kuorikasoista otettiin näytteitä kahden, neljän ja kahdeksan viikon kuluttua. Kahdeksan viikon varastoinnin jälkeen kuusen kuoren uuteainepitoisuus oli 66% alkuperäisestä ja männyn 56%. Suurimmat muutokset tapahtuivat ensimmäisen kahden varastointiviikon aikana. Männyn kuoren kondensoituneista tanniineista menetettiin noin 60% kahden ensimmäisen varastointiviikon aikana. Tämän jälkeen pitoisuus laski vielä hieman, mutta häviöt tapahtuivat pääasiassa kahden ensimmäisen varastointiviikon aikana. Jyske ym. (2020) varastoivat kuusitukkeja kuorineen 24 viikon ajan. Varastointikoetta varten perustettiin sekä kesä- että talviajan koeasetelmat. Talvella kondensoituneiden tanniinien pitoisuus pysyi vakiona 12 ensimmäistä varastointiviikkoa, jonka jälkeen pitoisuus alkoi laskea selvästi. Kesällä ulkokuoren tanniinipitoisuus alkoi laskea heti varastoinnin alussa. Kuoren stilbeenipitoisuus alkoi laskea heti myös talviajan kokeessa (Kuva 4). Halmemies ym. (2018) kokeissa varastoitiin kuusen sahuksia kasassa 24 viikon ajan. Heidän tulostensa mukaan kaikki stilbeenit olivat hävinneet kuorinäytteistä jo neljän viikon varastoinnin jälkeen.



Kuva 4 Kuusen kuoren stilbeenipitoisuuden muutos varastoinnin aikana, kun tukkipuut varastoitiin kuorineen.

Kuoren kemiallinen koostumus ja uuteaineiden antioksidatiiviset vaikutukset säilyivät paremmin, kun puutavara varastoitiin kuoripäällisenä sen sijaan, että puut olisi kuorittu ja kuori kasattu (Jyske ym. 2020). Uuteaineiden antioksidatiiviset ominaisuudet muuttuivat vähemmän kuin analysoitujen uuteaineyhdisteiden pitoisuudet. Jos uuteaineita halutaan hyödyntää, on toimitusketjuja nopeutettava ja materiaali on toimitettava prosessoitavaksi heti kuorimisen jälkeen. Erityisesti arvokkaat yhdisteet, kuten tanniinit ja stilbeenit, alkavat hajota ja hävitä materiaalista nopeasti.

### Arvio nykyisestä TRL-tasosta

Kaupallisia toimijoita, jotka hyödyntävät koivun kuorta ovat mm.

Innomost (Kokkola, Suomi) <http://www.innomost.com/>

Nature Science Technologies (Riika, Latvia) <https://clickbetulin.com/>

The Activities Factory (Minnesota, Yhdysvallat) <https://www.theactivesfactory.com/>

KoivuBioTech Oy (Helsinki, Suomi) <https://www.rasweet.com/>

Tiettyjen yhdisteiden tuottamiseen koivun kuoresta on kaupallisia toimijoita, joten TRL-taso on 7 tai yli.

Kaupallinen toimija, joka hyödyntää männyn kuorta:

Eevia Health Oy (Seinäjoki, Suomi) <https://eeviahealth.com/>

<https://theinnovationcompany.fr/products/nordic-beauty-pine-bark/>

### Arvio SRL-tasosta?

Tiettyjen yhdisteiden tuottamiseen koivun kuoresta on kaupallisia toimijoita, joten SRL-taso on 9.

### Mitä tutkimukselta vielä edellytetään, esim. skaalaus?

Koivun kuoren yhdisteiden kemiallinen muokkaus ja saatujen tuotteiden testaus vaatii vielä tutkimusta. Mittakaavan kasvattaminen laboratorion tuotantomittakaavaan vaatii laskelmia. Tuotannon pitää olla taloudellisesti kannattavaa ja kokonaiskestävää. Kuoren täysimittainen hyödyntäminen esimerkiksi kaskadiprosessoinnin avulla (yksikköprosessien yhdistäminen) on yksi mahdollinen lisää tutkimusta vaativa ratkaisu, jolla voitaisiin lisätä kokonaiskestävyyttä (Rasi ym. 2019). Uudet tuotteet pitää myös hyväksyttää käyttökohteesta riippuen, esim. uuselintarvikelainsäädäntö, kemikaalilainsäädäntö.

### Kirjallisuutta

Alakurtti, S., Mäkelä, T., Koskimies, S., Yli-Kauhaluoma, J., 2006. Pharmacological properties of the ubiquitous natural product betulin. *Eur. J. Pharm. Sci.* 29, 1–13.

Bhat, K.M., 1982. Anatomy, basic density and shrinkage of birch bark. *IAWA Journal*, 3(3-4), pp.207-213.

Björklund, L. Bark på massaved – en studie över barkhalten i travar med massaved. VMR virkesmätning och redovisning. November 2004. 17 s.

Ekman, R. The Suberin Monomers and Triterpenoids from the Outer Bark of *Betula verrucosa* Ehrh. *Holzforschung* 1983, 37, 205–211.

Feng, S., Cheng, S., Yuan, Z., Leitch, M., Xu, C. (Charles), 2013. Valorization of bark for chemicals and materials: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26, 560–578. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.024>

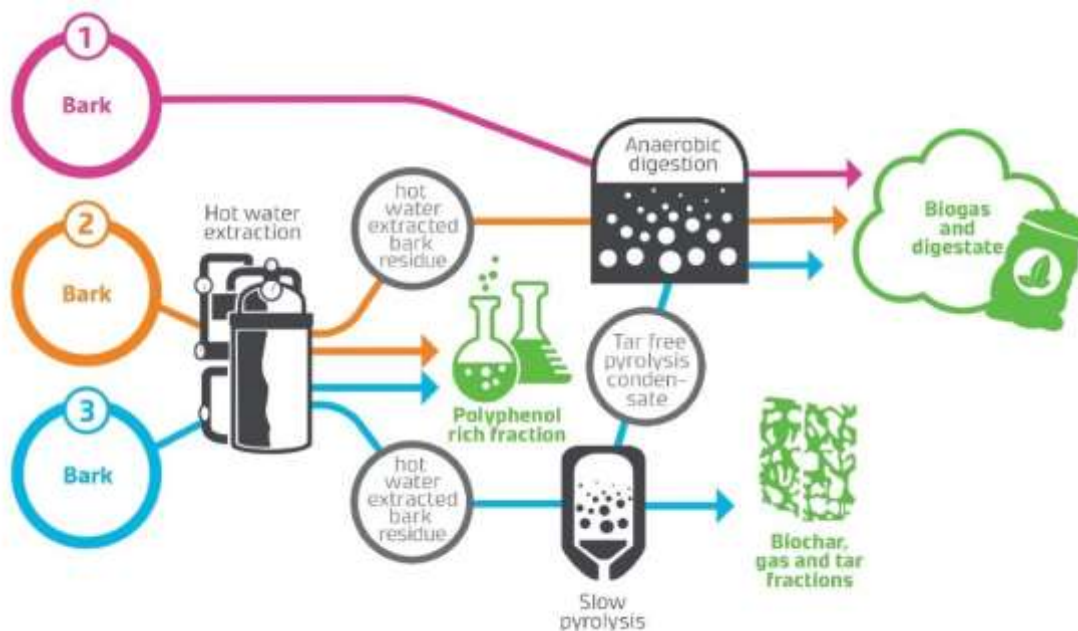
- Fraga-Corral, M., García-Oliveira, P., Pereira, A.G., Lourenço-Lopes, C., Jimenez-Lopez, C., Prieto, M.A., Simal-Gandara, J., 2020. Technological Application of Tannin-Based Extracts. *Molecules* 25, 614. <https://doi.org/10.3390/molecules25030614>
- Hakkila, P., Repola, J., Lindblad, J., Kalaja, H., Verkasalo, E., 2020. Mänty- ja kuusikuitupuun ominaisuudet Etelä-Suomessa - laadun vaihtelu ja hallinta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 25/2020. Natural Resources Institute Finland. 94 p. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-949-1>
- Halmemies, E., Brännström, H., Nurmi, J. and Alén, R., 2018. The degradation of bark extractives-derived phenolics during storage. In *NWBC 2018, Proceedings of the 8th Nordic Wood Biorefinery Conference/Hytönen E. & Vepsäläinen J.(eds.)*. VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.
- Heiskanen, V., Rikkinen, P. 1976. Havusahatukkien kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. *Folia Forestalia* 250.
- Huang, T. Betulin-modified cellulosic textile fibers with improved water repellency, hydrophobicity and antibacterial properties. Lisensiaatin työ, KTH, School of Engineering Sciences in Chemistry, Biotechnology and Health (CBH), Fibre- and Polymer Technology, Wood Chemistry and Pulp Technology, 2019.
- Jablonsky, M., Nosalova, J., Sladkova, A., Haz, A., Kreps, F., Valka, J., Miertus, S., Frecer, V., Ondrejovic, M., Sima, J., Surina, I., 2017. Valorisation of softwood bark through extraction of utilizable chemicals. A review. *Biotechnology Advances* 35, 726–750. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.07.007>
- Jyske, T., Brännström, H., Sarjala, T., Hellström, J., Halmemies, E., Raitanen, J.E., Kaseva, J., Lagerquist, L., Eklund, P. and Nurmi, J., 2020. Fate of Antioxidative Compounds within Bark during Storage: A Case of Norway Spruce Logs. *Molecules*, 25(18), p.4228.
- Karonen, M., Loponen, J., Ossipov, V., Pihlaja, K., 2004. Analysis of procyanidins in pine bark with reversed-phase and normal-phase high-performance liquid chromatography–electrospray ionization mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 522, 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2004.06.041>
- Korkalo, P.; Korpinen, R.; Beuker, E.; Sarjala, S.; Hellström, J.; Kaseva, J.; Lassi, U; Tuula, J. 2020. Clonal Variation in the Bark Chemical Properties of Hybrid Aspen: Potential for Added Value Chemicals. *Molecules*, 25, 1-18.
- Korpinen, R.I., Kilpeläinen, P., Sarjala, T., Nurmi, M., Saloranta, P., Holmbom, T., Koivula, H., Mikkonen, K.S., Willför, S., Saranpää, P.T. 2019 The Hydrophobicity of Lignocellulosic Fiber Network can be Enhanced with Suberin Fatty Acids. *Molecules* 24(23):4391. <https://doi.org/10.3390/molecules24234391>
- Laine, J. Puun kuoren komponenttien hyödyntäminen. Kandidaatin työ, Lappeenrannan—Lahden teknillinen yliopisto LUT, 24 s.
- Pinto, P.C.R.O.; Sousa, A.F.; Silvestre, A.J.D.; Neto, C.P.; Gandini, A.; Eckerman, C.; Holmbom, B. 2009. Quercus suber and Betula pendula outer barks as renewable sources of oleochemicals: A comparative study. *Ind. Crop. Prod.*, 29, 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.015>
- Pizzi, 2019. Tannins: Prospectives and Actual Industrial Applications. *Biomolecules* 9, 344. <https://doi.org/10.3390/biom9080344>
- Raitanen, J.-E., Järvenpää, E., Korpinen, R., Mäkinen, S., Hellström, J., Kilpeläinen, P., Liimatainen, J., Ora, A., Tupasela, T., Jyske, T. 2020. Tannins of Conifer Bark as Nordic Piquancy—Sustainable Preservative and Aroma? *Molecules* 25, 567; <https://doi.org/10.3390/molecules25030567>
- Rasi, S., Kilpeläinen, P., Rasa, K., Korpinen, R., Raitanen, J.-E., Vainio, M., Kitunen, V., Pulkkinen, H., Jyske, T. 2019. Cascade processing of softwood bark with hot water extraction, pyrolysis and anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 292: 7 p. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121893>
- Rikkinen, P., Saikku, O., 1976. Kuitupuun kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. *Folia Forestalia* 262.
- Rižikovs, J.; Zandersons, J.; Paže, A.; Tardenaka, A.; Spince, B. Isolation of Suberinic Acids from Extracted Outer Birch Bark Depending on the Application Purposes. *Balt. For.* 2014, 20, 98–105.
- Routa, J., Brännström, H. and Laitila, J., 2020a. Effects of storage on dry matter, energy content and amount of extractives in Norway spruce bark. *Biomass and Bioenergy*, 143, p.105821.
- Routa, J., Brännström, H., Hellström, J. and Laitila, J., 2020b. Influence of storage on the physical and chemical properties of Scots pine bark. *BioEnergy Research*, pp.1-13.
- Shirmohammadi, Y., Efhamsisi, D., Pizzi, A., 2018. Tannins as a sustainable raw material for green chemistry: A review. *Industrial Crops and Products* 126, 316–332. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.034>
- Siitonen, K. Vaneritehtaan sivutuotteet energiantuotannossa. Kandidaatin työ, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2010. 44 s.
- SVT, 2020. Luonnonvarakeskus, Metsäteollisuuden puunkäyttö. [https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE\\_04%20Metsa\\_04%20Talous\\_08%20Metsateollisuuden%20puunkaytto/04\\_metsateol\\_puunk\\_tavaralajeittain\\_1860.px/](https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_04%20Metsa_04%20Talous_08%20Metsateollisuuden%20puunkaytto/04_metsateol_puunk_tavaralajeittain_1860.px/)
- Välimaa, A. L., Raitanen, J. E., Tienaho, J., Sarjala, T., Nakayama, E., Korpinen, R., ... & Jyske, T. 2020. Enhancement of Norway spruce bark side-streams: Modification of bioactive and protective properties of stilbenoid-rich extracts by UVA-irradiation. *Industrial Crops and Products*, 145, 112150.

## Biomassojen kokonaishyödyntäminen: Biokaasuprosessin hyödyntäminen arvokomponenttien tuotannossa

Saija Rasi

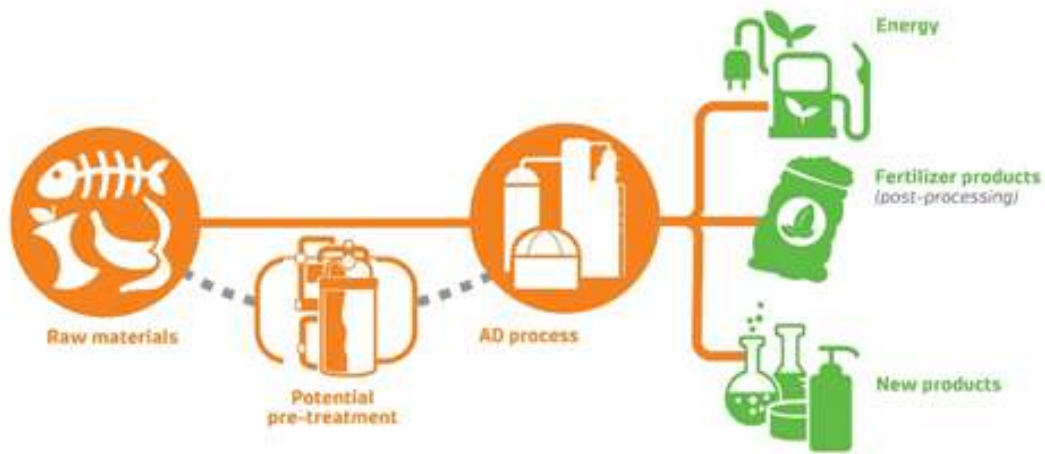
Biomassavarat ovat rajalliset eikä niillä yleensä voida korvata fossiilipohjaisia tuotteita täysin. Tämän vuoksi raaka-ainevarojen tehokas hyödyntäminen ilman jäljelle jääviä sivuvirtoja on tärkeää ja kaskadiprosessit ovat hyvä mahdollisuus hyödyntää arvokkaat resurssit mahdollisimman kokonaisvaltaisesti.

Esimerkiksi Lukessa on tutkittu kuoren kaskadiprosessointia (Kuva 1), jossa kuoresta uutetaan arvokomponentteja ja jäljelle jäävä kuori hyödynnetään biokaasu- ja/tai pyrolyysiprosessin kautta. Edellä on käsitelty kuoren arvokomponentteja, joista lisäarvo voitaisiin saada. Niitä ovat mm. tanniinit ja fenoliset yhdisteet, joilla on paljon soveltamiskohteita. Hyödyntämällä arvokomponenttien uutosta jäljelle jäävä sivuvirta pyrolyysiprosessissa, voidaan tuottaa hiilipitoisia maanparannusaineita, energiaa ja muita lisäarvotuotteita (ks. Hidas pyrolyysi osana kiertotalouden arvoketjuja). Biokaasuprosessissa kuori voidaan hyödyntää muiden orgaanisten sivuvirtojen mukana, jolloin tuotteeksi saadaan yleensä energiaa, ravinteita ja maanparannusaineita. Biokaasuprosessin etuna energiantuotannossa on, että energia voidaan hyödyntää liikenteen polttoaineena, jolloin energiasta saatavat tuotot ovat moninkertaiset sähköön ja lämpöön verrattuna. Korkeat investoinnit ja lopputuotteiden markkinoiden kehittymättömyys sen sijaan ovat rajoittaneet biokaasualan kasvua.



Kuva 1. Kuoren kaskadiprosessi (Rasi ym 2019).

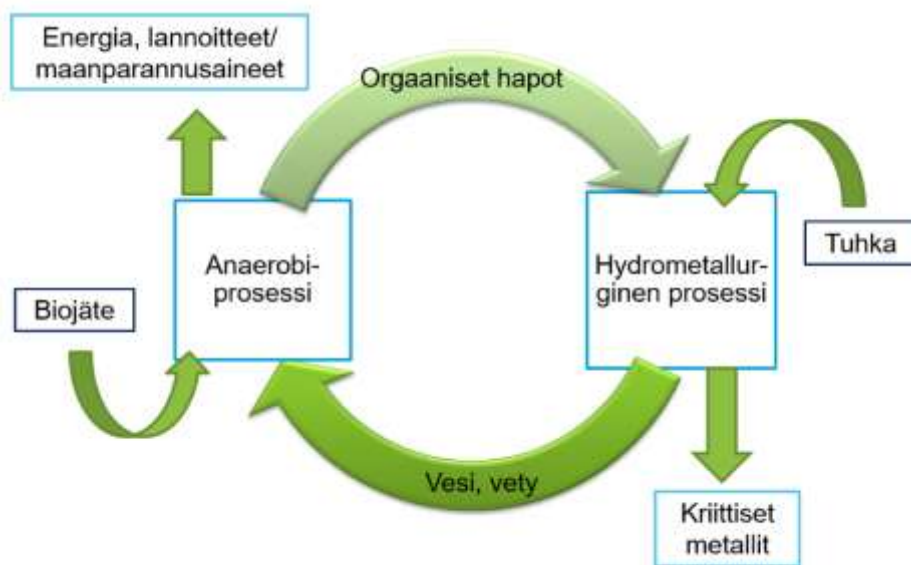
Biokaasuprosessi on jo yleisesti käytössä teollisuudessa erilaisilla sivujakeille, mm. puunjalostus-, etanoli- ja elintarviketeollisuudessa. Kun lisäksi huomioidaan yhdyskuntien biojätteen keräys ja hyödyntäminen biokaasuna, suuri osa jäteperäisestä biomassasta hyödynnetään jo biokaasuna ja lannoitevalmisteina, mutta tuotteiden hyödyntämisessä on vielä parannettavaa. Esimerkiksi kaikesta Suomessa tuotetusta biokaasusta 12 % menee soih tupolttoon ja edelleen mädätteen ravinteet ovat alihyödynnettyjä.



Kuva 2. Orgaanisten sivuvirtojen käsittely anaerobiprosessilla jolloin lopputuotteena voi olla energian ja ravinteiden lisäksi myös erilaisia kemikaaleja.

Yksi keino tehostaa biokaasuprosessia on muuttaa prosessi kaksivaiheiseksi, jolloin prosessissa voidaan metaanin ja ravinteiden ohella tuottaa myös kemianteollisuudelle tärkeitä biotuotteita, lyhytketjuisia haihtuvia rasvahappoja, kuten etikkahappo. Näitä rasvahappoja voidaan hyödyntää laajasti erilaisissa teollisuuden prosesseissa, ja niiden kysyntä on kasvussa (esim. vuosittainen kasvu etikkahapolle on arvioitu olevan 5,2 % 2020-2027). Rasvahappojen tuotanto on perinteisesti perustunut fossiilisiin raaka-aineisiin ja vain noin 10 % tuotetuista hapoista on biopohjaisia. Biopohjaisilla rasvahapoilla voidaan korvata teollisuudessa käytettyjä happoja tai niistä voidaan edelleen tuottaa uusia tuotteita. Vaihtoehtoisia tuotteita ovat mm. nestemäiset biopoltoaineet tai PHA biomuovien valmistamiseen. Levien kautta rasvahappoja voidaan käyttää kalarehun valmistamiseen. Pian julkaistavan artikkelin mukaan päästäisiin merkittäviin päästövähennyksiin, jos biopohjaisilla rasvahapoilla korvataan luonnonvaraisilla kaloilla tuotettuja rasvahappoja kalarehuvalmistuksessa. Luken ja Jyväskylän yliopiston yhteistyössä suunnitellaan prosessikokonaisuutta, jossa rasvahappoja hyödynnetään arvokkaiden maametallien talteenotossa elektroniikkajätteestä. Tämä olisi ainutlaatuinen prosessikokonaisuus, jossa erilaisten jätejakeiden hyödyntämistä voidaan yhdistää, mutta tutkimusta tästä vielä tarvitaan (Kuva 3).

Kun lyhytketjuisia rasvahappoja tuotetaan biokaasuprosessilla, tulee sivutuotteena vetyä sekä jäännös, jossa on edelleen metaanipotentialia jäljellä. Kaksivaiheisella biokaasuprosessilla nämä loputkin massat voidaan edelleen hyödyntää metaanina ja ravinnetuotteina sekä maanparannusaineina. Vetyä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa myös sellaisenaan. Kaksivaiheisen biokaasuprosessin, jonka ensimmäinen vaihe tuottaa rasvahappoja, TRL tason on luokkaa 4-5, mutta se olisi nostettavissa nopeastikin tasolle 6-7, sillä tekniikka pohjautuu nykyisiin biokaasulaitoksiin. SRL taso on alhaisempi, noin SRL 3. Tarvitaan tiedon lisäämistä yhteiskunnassa, sekä oikeanalaisia kannustimia, jotta näille tuotteille luodaan kysyntä ja markkinat.



Kuva 3. Orgaanisten ja elektroniikkajätteiden yhteishyödyntäminen.

#### Kirjallisuutta

- Bartek, L., Strid, I., Henryson, K., Junne, S., Rasi, S., Eriksson, M. 2021. Life cycle assessment of fish oil substitute produced by microalgae using food waste. Käsikirjoitus, lähetetty 1/2020.
- Grand View Research (2020). Acetic Acid Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2020 – 2027. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/acetic-acid-market>
- Rasi, S., Kilpeläinen, P., Rasa, K., Korpinen, R., Raitanen, J., Vainio, M., Kitunen, V., Pulkkinen, H., Jyske, T. 2019. Cascade processing of softwood bark with hot water extraction, pyrolysis and anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 292, 121893. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121893>
- Tilastokeskus 2020. Biokaasun tuotanto ja kulutus laitostyypeittäin. [http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_ene\\_ehk/statfin\\_ene\\_ehk\\_pxt\\_127t.px/](http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehk/statfin_ene_ehk/statfin_ene_ehk_pxt_127t.px/)