



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 83/2022

Biotalouden raaka-aineet ja materiaalivirrat hyötykäyttöön logistiikkaa tehostamalla

Synteesiraportti

Erika Winquist, Vesa Joutsjoki, Jukka Lokka, Eeva Lehtonen, Perttu Anttila,
Ari Ronkainen, Antti Suokannas, Eero Holmström, Jari Lindblad, Johanna Routa,
Hanna Brännström, Eila Järvenpää, Pekka Saranpää, Kari Väätäinen,
Ville Kankaanhuhta, Timo Lötjönen, Oiva Niemeläinen, Kaija Saarni,
Riitta Rahkonen, Jari Setälä, Janne Helin ja Pasi Rikkonen

Biotalouden raaka-aineet ja materiaalivirrat hyötykäyttöön logistiikkaa tehostamalla

Synteesiraportti

Erika Winqvist, Vesa Joutsjoki, Jukka Lokka, Eeva Lehtonen, Perttu Anttila, Ari Ronkainen, Antti Suokannas, Eero Holmström, Jari Lindblad, Johanna Routa, Hanna Brännström, Eila Järvenpää, Pekka Saranpää, Kari Väätäinen, Ville Kankaanhuhta, Timo Lötjönen, Oiva Niemeläinen, Kaija Saarni, Riitta Rahkonen, Jari Setälä, Janne Helin ja Pasi Rikkonen

Viittausohje:

Winqvist, E., Joutsjoki, V., Lokka, J., Lehtonen, E., Anttila, P., Ronkainen, A., Suokannas, A., Holmström, E., Lindblad, J., Routa, J., Brännström, H., Järvenpää, E., Saranpää, P., Väätäinen, K., Kankaanhuhta, V., Lötjönen, T., Niemeläinen, O., Saarni, K., Rahkonen, R., Setälä, J., Helin, J. & Rikkonen, P. 2022. Biotalousen raaka-aineet ja materiaalivirrat hyötykäyttöön logistiikkaa tehostamalla: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalousen tutkimus 83/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 83 s.

Viittausohje yksittäiseen artikkeliin:

Lehtonen, E. & Anttila, P. 2022. Maa- ja metsätalousen biomassojen saatavuus. Julkaisussa: Winqvist, E. ym. Biotalousen raaka-aineet ja materiaalivirrat hyötykäyttöön logistiikkaa tehostamalla: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalousen tutkimus 83/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 16–23.

Erika Winqvist ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0003-2418-2956>



ISBN 978-952-380-519-4 (Painettu)
ISBN 978-952-380-520-0 (Verkkajulkaisu)
ISSN 2342-7647 (Painettu)
ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)
URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-520-0>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Erika Winqvist, Vesa Joutsjoki, Jukka Lokka, Eeva Lehtonen, Perttu Anttila, Ari Ronkainen, Antti Suokannas, Eero Holmström, Jari Lindblad, Johanna Routa, Hanna Brännström, Eila Järvenpää, Pekka Saranpää, Kari Väätäinen, Ville Kankaanhuhta, Timo Lötjönen, Oiva Niemeläinen, Kaija Saarni, Riitta Rahkonen, Jari Setälä, Janne Helin ja Pasi Rikkonen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2022

Julkaisu vuosi: 2022

Kannen kuva: Jere Kaivosoja, Jari Setälä, Luonnonvarakeskus ja Kari Väätäinen.

Painopaikka ja julkaisumyönti: PunaMusta Oy, <http://luke.omapumu.com/fi/>

Tiivistelmä

Erika Winqvist¹, Vesa Joutsjoki², Jukka Lokka¹, Eeva Lehtonen³, Perttu Anttila¹, Ari Ronkainen¹, Antti Suokannas¹, Eero Holmström¹, Jari Lindblad⁴, Johanna Routa⁴, Hanna Brännström⁵, Eila Järvenpää², Pekka Saranpää¹, Kari Väättäin⁴, Ville Kankaanhuhta¹, Timo Lötjönen⁶, Oiva Niemeläinen², Kaija Saarni⁷, Riitta Rahkonen¹, Jari Setälä⁷, Janne Helin¹ ja Pasi Rikkonen¹

¹Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki.

²Luonnonvarakeskus, Tietotie 4, 31600 Jokioinen.

³Luonnonvarakeskus, Halolantie 31 A, 71750 Maaninka.

⁴Luonnonvarakeskus, Yliopistokatu 6 B, 80100 Joensuu.

⁵Luonnonvarakeskus, Teknologiakatu 7, 67100 Kokkola

⁶Luonnonvarakeskus, Paavo Havaksen tie 3, 90570 Oulu

⁷Luonnonvarakeskus, Itäinen Pitkätie 4 A, 20520 Turku

Fossiilisten raaka-aineiden käyttö on merkittävin ilmastoa lämmittävä tekijä. Uusiutuvilla biomassoilla voidaan korvata osa fossiilisista raaka-aineista energian, polttoaineiden, kemikaalien ja materiaalien valmistuksessa. Kuitenkin biomassojen lisääntynyt käyttö ruuan ja rehun lisäksi myös muihin käyttökohteisiin kasvattaa biomassan tuotantoon tarvittavaa maapinta-alaa, joka puolestaan lisää luontokatoa. Biomassojen hyödyntämisessä tulee entistä tarkemmin käyttää myös kaikki sivuvirrat kaskadiperiaatetta noudattaen.

Asetetut EU:n ja kansallisen tason säädökset ja ohjeet luovat puitteet yrityksille edistää kiertotaloutta sekä materiaalitehokkuutta. Myös raaka-aineiden hinnannousu sekä suoranaiset saatavuusongelmat ajavat yrityksiä siihen suuntaan, että materiaalien tehokkaampi hallinta tulee jatkossa entistä tärkeämmäksi. Biomassaraaka-aineiden tarkempaan hyödyntämiseen liittyy kuitenkin sekä logistiikka- että prosessointikustannuksia. Jotta koko arvoketjun tuotantokustannukset mahdollistavat kannattavan liiketoiminnan, biomassalogistiikka vaatii monenlaista osaamista ja yhteispeliä ketjun kaikissa vaiheissa.

Lähtökohtana kannattavalle biomassalogistiikalla on saatavuusdataan perustuva suunnittelu. Biomassa-atlas-palvelu tuo biomassat kartalle ja käyttäjä voi tarkastella valitsemiensa biomassatyyppien saatavuutta valitulla alueella. Palvelun taustatietona käytetään tilastotietoa. Jatkossa olisi entistä tärkeämpää saada laajemmin kerättyä ja jaettua myös yksityisten toimijoiden hallussa olevaa biomassadataa.

Tuotteiden ja erien jäljitettävyyden on oleellista sekä pää- että sivuvirtojen logistiikassa. Biokiertotalouden toimintaympäristö on hyvin hajautettu. Tässä ympäristössä on hyödynnettävä ratkaisuja, jotka ovat joustavia ja soveltuvat pienten ja hajautuneiden toimijoiden käyttöön. Jäljitettävyyden toteuttaminen vaatii, että erät tai tuotteet pystytään tunnistamaan ja yksilöimään ja että niihin voidaan liittää tietoa, jota pystytään jakamaan.

Varastointi on usein välttämätön osa biomassojen logistiikkaketjua. Varastoinnin aikana tavoitteena voi olla laadun säilyttäminen, ja joissakin tapauksissa varastoinnilla pystytään myös parantamaan haluttua laatuominaisuutta. Eri biomassoilla varastoinnissa tapahtuu samankaltaisia fyysikaalisia, kemiallisia ja biologisia reaktioita. Biomassojen luontaisten ominaisuuksien ja varastoinnin aikana tapahtuvien muutosten tunteminen mahdollistaa biomassan laadun optimoinnin jalostuksessa.

Metsätaloudessa puuraaka-aineen toimitusketjut ovat kompleksisia ja toimintaympäristö on kaiken aikaa muuttuva. Lisäksi puunkorjuun kausittaisuus ja sen tasaaminen erilaisten kuljetus- ja varastoratkaisujen avulla vastaamaan käyttöpaikkojen tasaista puuntarvetta ympäri vuoden

edellyttää toimivaa logistiikan ohjausta. Toimituslogistiikalle tehostamispainetta luovat tulevaisuudessa avohakkuiden pieneneminen ja väheneminen sekä harvennushakkuiden ja jatkuvan kasvatuksen yleistyminen. Uusia mahdollisuuksia metsäteollisuuden toimituslogistiikkaan luovat yritysten yhteistyön lisääntyminen logistiikan ohjaamisessa, uudet teknologiset ratkaisut, automaatio- ja robotisaatio sekä käyttöenergiamuotojen siirtyminen vähäpäästöisempiin ratkaisuihin.

Maataloudessa tilan sisäinen logistiikka on suurta. Tilakoon kasvaessa tilakokonaisuus on pirstaloitunut ja polttoaine-energian käyttö on noussut, vaikka tuotannon määrä ei olekaan kasvanut. Tilanteen parantamiseksi tilusjärjestelyjä on edistettävä. Vaihtolavojen käytön kehittäminen voisi parantaa logistiikkaa, sillä pitemmällä matkoilla kuorma-auto on traktoria tehokkaampi kuljetusväline. Maatalouden logistiikkatutkimusta on kehitettävä yhdessä paikkatietoosaamisen kanssa ja nykyaikaisia ohjelmistoja on otettava käyttöön.

Silakka ja kilohaili ovat tärkein kalastusresurssimme. Hyödyntämätöntä sivuvirtaa siitä syntyy nykyisin hyvin vähän. Silakasta yli 80 prosenttia käytetään turkiseläinten ja kalarehujen raaka-aineena. Silakan käyttöä elintarvikkeeksi ja lisäarvotuotteisiin tulisi entisestään edistää. Suomen lohiteollisuudessa syntyy yli 10 miljoonaa kiloa sivuvirtaa, jota voidaan hyödyntää lisäarvotuotteiden valmistuksessa. Lohiteollisuuden sivuvirtoja on riittävästi kannattavaan tuotantoon. Arvoa ja kannattavuutta voidaan parantaa, jos Suomen markkinoille luodaan kotimaisia raaka-aineita hyödyntäviä arvoketjuja. Käynnistyvä Euroopan meri-, kalastus- ja vesiviljelyrahasto (EMKVR 2021-2027) vauhdittaa vajaan hyödynnettyjen kalojen ja teollisuuden sivuvirtojen jalostusasteen nostamista.

Politiikka ohjaa vahvasti metsä-, maa- ja kalatalouden sivuvirtojen käyttöä. Vaikkakin merkittävä määrä uudesta poliittisesta ohjauksesta syntyy EU tason prosesseissa, on biotalouden sivuvirtojen ohjauksessa myös kansallisia, Suomesta käsin määriteltyjä vivahteita, joissa energia, elinkeinoelämän kilpailukyky ja logistiikka osana sitä korostuvat. Biotalous ympäristövaikutusten hallinnan painoarvo on kasvanut suomalaisessa politiikassa vähitellen, mutta nähtäväksi jää miten pitkäaikaisiksi Venäjän sotatoimien heijastevaikutukset suomalaisiin sivutuotemarkkinoihin ja niitä ohjaaviin politiikoihin osoittautuu.

Asiasanat: logistiikka, biomassa, biotalous, kiertotalous, liiketoimintamallit, data, jäljitettävyys, varastointi, laatu, metsätalous, maatalous, kalatalous, politiikka

Abstract

Erika Winqvist¹, Vesa Joutsjoki², Jukka Lokka¹, Eeva Lehtonen³, Perttu Anttila¹, Ari Ronkainen¹, Antti Suokannas¹, Eero Holmström¹, Jari Lindblad⁴, Johanna Routa⁴, Hanna Brännström⁵, Eila Järvenpää², Pekka Saranpää¹, Kari Väätäinen⁴, Ville Kankaanhuhta¹, Timo Lötjönen⁶, Oiva Niemeläinen², Kaija Saarni⁷, Riitta Rahkonen¹, Jari Setälä⁷, Janne Helin¹ and Pasi Rikkonen¹

¹Natural Resources Institute Finland, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki.

²Natural Resources Institute Finland, Tietotie 4, 31600 Jokioinen.

³Natural Resources Institute Finland, Halolantie 31 A, 71750 Maaninka.

⁴Natural Resources Institute Finland, Yliopistokatu 6 B, 80100 Joensuu.

⁵Natural Resources Institute Finland, Teknologiakatu 7, 67100 Kokkola

⁶Natural Resources Institute Finland, Paavo Havaksen tie 3, 90570 Oulu

⁷Natural Resources Institute Finland, Itäinen Pitkäkatu 4 A, 20520 Turku

The use of fossil raw materials is the most important reason for climate change. Renewable biomasses can replace part of the fossil raw materials in the production of energy, fuels, chemicals, and materials. However, in addition for food and feed production, the increased use of biomass also for other purposes increases the land area needed for biomass production, which in turn increases the biodiversity loss. Therefore, even all biomass side-streams must be used more efficiently, following the cascade processing principle.

Regulations and guidelines at EU and national level create a framework for companies to promote circular economy and material efficiency. In addition, the increasing raw material costs and even direct availability problems are driving companies in the direction that more efficient management of raw materials will become more important in the future. However, the more resource efficient utilization of biomass raw materials involves both logistics and processing costs. To keep the production costs of the entire value chain within a profitable range, biomass logistics requires versatile know-how and wide collaboration in all stages of the chain.

The starting point for profitable biomass-based business is planning the logistics according to biomass availability data. The Biomass Atlas service connects biomasses with location data and the user can view the availability of the selected biomass types in the selected area. Currently, the service uses only statistical information as background data. In the future, it would be important to collect and share even the biomass data from private actors.

The traceability of products and batches is essential both in the logistics of main and side streams. The operating environment of the circular bioeconomy is very decentralized. In this environment, it is necessary to utilize solutions that are flexible and suitable for use by small and decentralized actors. The implementation of traceability requires that batches or products can be identified and individualized, and that information can be attached to them and shared.

Storage is often a necessary part of the biomass logistics chain. During storage, the purpose is to maintain quality, and in some cases, storage can also improve the desired properties for the end-use. Different biomasses undergo specific physical, chemical and biological reactions during storage. Knowing the typical properties of biomass and the changes that occur during storage and transport enables the optimal use of biomass.

In forestry, the logistics of wood raw material supply is complex and the operating environment constantly changing. In addition, to meet the steady wood demand and seasonal variation in wood harvesting, various transport and storage solutions as well as effective logistics management are needed. In the future, the reduction of final felling and the increase of thinning and

continuous cover forestry harvesting will create pressure for the efficient supply logistics. New opportunities for forest industry supply logistics are created by the increase in collaboration between companies to control logistics, new technological solutions, automation and robotization, and the transition of fuel energy forms to lower-emission solutions.

In agriculture, the on-farm logistics play a key role. Along with the increase in farm size, the farm as a whole has become fragmented and the use of fuel and energy has increased, even though the amount of production has not increased. To improve the situation the land consolidations and voluntary land exchanges needs to be promoted. Developing the use of pallet trucks could improve logistics from farms to biorefineries, as transport by truck is more efficient than transport by tractor for longer distances. Agricultural logistics research must be developed together with location data know-how and modern software must be introduced.

Herring and sprat are most important fishing resources in Finland. Nowadays, very little unused side-stream is generated from these. More than 80 percent of herring is used as raw material for fur animals and fish feed, but the use for human consumption and other value-added products should be increased. In the Finnish salmon industry, more than 10 million kilograms of side-streams are generated, which can be used in the production of value-added products. There are enough side-streams coming from the salmon industry for profitable production. Value and profitability can be improved if value chains utilizing domestic raw materials are created for the Finnish market. The newly launched European Maritime, Fisheries and Aquaculture Fund (2021-2027) accelerates the processing rate and the extent of value-added of underutilized fish and industrial side streams.

Policies strongly guide the use of side-streams from forestry, agriculture and fishery. Although EU-level processes have a significant role in creating new policy instruments, there are also national adjustment that highlight the aspects of energy, business competitiveness and logistics in the political steering of the use of side-streams. In addition to these national interests, the importance of managing the environmental effects of the bioeconomy has gradually increased in the Finnish politics. Given the recent emphasis on the national security and self-sufficiency due to Russo-Ukrainian war, it remains to be seen what course the side stream markets and policies will take for the longer run.

Keywords: logistics, biomass, bioeconomy, circular economy, business models, data, traceability, storage, quality, forestry, agriculture, fishery, policy

Sisällys

1. Johdanto	9
2. Liiketoimintaympäristö ja siihen sopeutuminen.....	10
2.1. Johdanto.....	10
2.2. Kiertotalouden kaskadiperiaatetta tukevat ja haastavat toimintaympäristön muutokset	10
2.3. Ratkaisuja biomassasivuvirtojen hyödyntämiseen.....	11
2.4. Arvoketjut ja liiketoiminnan esimerkit, "showcaset"	12
3. Maa- ja metsätalouden biomassojen saatavuus	16
3.1. Johdanto.....	16
3.2. Biomassan saatavuusarvioita.....	17
3.3. Kehityskohteet	20
4. Jäljitettävyys.....	24
4.1. Johdanto.....	24
4.2. Esimerkkejä jäljitettävyyden tapaustutkimuksista	24
4.3. Datan ja erän yhdistäminen	27
4.4. Jäljitettävyys- ja laatutiedon digitaalinen välittäminen	28
5. Biomassojen ja niiden jalostuksen sivutuotteiden varastointi sekä laadun hallinta	32
5.1. Johdanto.....	32
5.2. Laadun käsite ja sen arviointi	32
5.3. Laadun mittarit ja laatutiedon käyttö.....	34
5.4. Biomassan laadun muutokset varastoinnissa	35
6. Metsätalouden logistiset ketjut ja niiden tutkiminen	40
6.1. Johdanto.....	40
6.2. Metsätalouden päävirrat ja logistiikan erityispiirteet.....	40
6.3. Metsäteollisuuden sivuvirrat ja sivuvirtojen logistiikka.....	42
6.4. Toimitusketjujen tutkimus ja tarpeet	43
7. Maatalouden pää- ja sivuvirtojen logistiikka ja varastointi	47
7.1. Johdanto.....	47
7.2. Päävirtalogistiikat.....	48
7.3. Sivuvirtalogistiikat.....	50
7.4. Maatalouslogistiikan tutkimuksessa on kehitettävää	56

8. Kalatalouden pää- ja sivuvirrat	60
8.1. Johdanto.....	60
8.2. Kalansaaliit, niiden käyttö ja syntyvät sivuvirrat.....	60
8.3. Kalatalouden sivuvirroista lisää arvoa	62
8.4. Euroopan meri-, kalatalous- ja vesiviljelyrahaston sivuvirta- ja logistiikkatoimenpiteitä	62
8.5. Logistiikkaselvityksiä ja tutkimustarpeita.....	63
9. Sivuvirtojen logistiikan ohjaaminen politiikalla.....	66
9.1. Johdanto.....	66
9.2. Poliittiset ohjauskeinot	68
9.3. Poliittisten ohjauskeinojen yhteenveto	76
10. Tunnistetut tutkimuksen kehitystarpeet	81

1. Johdanto

Erika Winqvist

Siirryttäessä fossiilitaloudesta biotalouteen, ja edelleen biokiertotalouteen, raaka-aineen hankinta ja logistiikka kohtaavat uudenlaisia haasteita, koska biomassa on raaka-aineena monin tavoin hyvin erilainen kuin fossiiliset raaka-aineet. Biomassat syntyvät hajautetusti, niiden korjuu on kausiluontoista, niillä on matala lämpöarvo ja korkea vesipitoisuus ja ne pilaantuvat herkästi. Kaiken kaikkiaan tämä on johtanut tilanteeseen, jossa biomassojen, olivatpa ne sitten pää- tai sivuvirtoja, logistinen tehokkuus on usein heikko.

Biomassojen kustannustehokas hyödyntäminen vaatiikin esikäsittelyä tilavuuden ja tilavuuspainon pienentämiseksi sekä säilyvyyden parantamiseksi, varastointia ja varastoinnin aikaisen laadun hallintaa, hajautetun ja keskitetyn tuotannon yhdistämistä sekä uusia logistisia ratkaisuja, joissa voi olla avainasemassa esim. eri toimijoiden välinen yhteistyö. Nämä kaikki ovat keskeisessä roolissa, kun lähdetään tavoittelemaan maataloudessa ravinteiden kierrätystä ja hiilen sidontaa peltomaahan, metsäbiomassojen kaskadikäyttöä, kosteikkokasvien viljelyä käytöstä poistuvilla turvetuotantoalueilla tai järvien hoitokalastuskalan hyödyntämistä.

Myös aivan perinteisessä maataloustuotannossa uusia haasteita tuo maatalouden rakennemuutos, tilakokojen kasvaminen ja välimatkojen kasvaminen tilan sisäisessä logistiikassa. Laajentavat tilat hankkivat lisäpeltoa usein vuokraamalla sitä viljelyn lopettaneilta pellonomistajilta, jolloin vuokralle tarjolla olevat viljeltävät peltolohkot ovat aikaisempien viljelykäytäntöjen vuoksi usein pieniä ja niitä joudutaan hankkimaan kaukaa. Vastaavasti metsätalouden toimituslogistiikalle tehostamispainetta luovat avohakkuiden pieneneminen ja väheneminen sekä harvennushakkuiden ja jatkuvan kasvatuksen yleistyminen. Yhteinen haaste kaikelle biomassalogistiikalle on energian hinnan nousu.

Luonnonvarakeskuksella on pitkät perinteet maa- ja metsätalouden päävirtalogistiikassa. Jo lähtökohtaisesti päävirtojen logistiikka on suomalaisessa toimintaympäristössä haastavaa, koska alkupään tuotantoyksiköt, leimikot metsässä ja maatilat maataloudessa, ovat pieniä ja hajallaan. Jotta ketjun tuotantokustannukset pysyvät kalliiden kustannusten maassa kansainvälisesti kilpailukykyisellä tasolla, biomassalogistiikka vaatii monenlaista osaamista ja yhteispeiliä arvoketjun kaikissa vaiheissa. Tätä osaamista pyritään hyödyntämään jatkossa, kun myös sivuvirtalogistiikalle on entistä suurempi tarve. Seuraavissa luvuissa on kuvattu tarkemmin logistiikan tutkimukseen liittyviä aihepiirejä ja osaamistarpeita:

- Liiketoimintaympäristö ja siihen sopeutuminen
- Maa- ja metsätalouden biomassojen saatavuus
- Jäljitettävyys
- Biomassojen ja niiden jalostuksen sivutuotteiden varastointi sekä laadun hallinta
- Metsätalouden logistiset ketjut ja niiden tutkiminen
- Maatalouden pää- ja sivuvirtojen logistiikka ja varastointi
- Kalatalouden pää- ja sivuvirrat
- Sivuvirtojen logistiikan ohjaaminen politiikalla

2. Liiketoimintaympäristö ja siihen sopeutuminen

Vesa Joutsjoki, Jukka Lokka ja Erika Winqvist

2.1. Johdanto

Luonnonvarojen käytön ennustetaan globaalisti yli kaksinkertaistuvan noin 90 miljardista tonnista 190 miljardiin tonniin vuoteen 2060 mennessä, jos käytön oletetaan seuraavan nykyisiä trendejä (IRP 2019). Tämä vastaisi vuotuisena kasvuna ei-metallisille mineraaleille 2,2 %, metallimalmeille 1,7 %, biomassalle 1,4 % ja fossiilisille polttoaineille 0,2 %. Mikä puolestaan tarkoittaisi materiaalien hankintaan liittyvien hiilidioksidipäästöjen voimakasta kasvua ja korkeaan teknologiaan tarvittavien raaka-aineiden saatavuuden vähenemistä. Kehityskulun muuttamiseksi on solmittu materiaalitehokkuuteen ja kiertotalouteen kannustavia sopimuksia ja laadittu edellä mainittuja tavoitteita tukevia ohjelmia globaalilla, EU- ja kansallisella tasolla. Globaali YK:n kestävän kehityksen tavoiteohjelma Agenda 2030, EU:n vihreän kehityksen ohjelma Green Deal ja kansalliset sopimukset muodostavat eri tasoille rakentuvan kehikon globaalien tavoitteiden toteuttamiseksi alueellisella tasolla.

EU:n kiertotalouspaketti, kestävään rahoitukseen ohjaava taksonomia-asetus ja komission tulkitseva tiedonanto jätteistä ja sivutuotteista antavat suuntaviivat myös Suomessa resurssitehokkuuden ja siihen liittyvän kaskadiperiaatteen noudattamiselle omissa säädöksissä ja käytännön toimenpiteissä. EU:n jätepolitiikkaa ohjaavaan direktiiviin 2008/98/EY kytkeytyvä jätehierarkia asettaa kaskadiperiaatteen mukaisen etusijajärjestyksen materiaalien eri käyttömuodoille, tällä tavoitellaan etenkin biomateriaalien tehokasta ja kertautuvaa käyttöä.

Tässä luvussa kuvataan EU:n ja kansallisen lainsäädännön tuomia raameja kiertotalouden liiketoimintaympäristölle, liiketoimintamallien kautta löytyviä ratkaisuja biomassasivuvirtojen hyödyntämiseen sekä tuodaan esimerkkejä toimivista konsepteista biomassan kaskadihyödyntämiseen.

2.2. Kiertotalouden kaskadiperiaatetta tukevat ja haastavat toimintaympäristön muutokset

Kaskadiperiaatteella tavoitellaan biomassan elinkaarisen resurssitehokkuuden parantamista ja ympäristövaikutusten pienentämistä; biomassaa käytetään ensin materiaalina ja kierrätetään mahdollisimman pitkään, hyödyntäen se jokaisessa vaiheessa mahdollisimman korkean arvon kohteessa. Kaskadikäyttö pyrkii hyödyntämään materiaalien kaikkia komponentteja, kuten erilaisia kemiallisia ainesosia, ennen kuin jäljelle jäävää materiaalia käytetään energian tuottamiseen elinkaarensa lopussa. Biologisten materiaalien kaskadiperiaate on osa kiertotaloutta ja resurssitehokkuutta, joissa merkittävimmät mahdollisuudet liittyvät sivuvirtojen hyödyntämiseen korkeimman arvonlisän periaatteen mukaisesti. Biomassan kaskadikäytön avulla voidaan myös parantaa ekologista kestävyttä, mikäli elinkaariset päästöt vähenevät ja resurssien kokonaiskäyttö vähenee.

Suomen omissa säädöksissä kiertotalous ja materiaalitehokkuus on nostettu keskeisiksi teemoiksi. Vuonna 2022 päivitetyn biotalousstrategian ja vuoteen 2027 ulottuvan valtakunnallisen jätesuunnitelman tavoitteisiin on listattu materiaalien resurssiviisas käyttö ja kierrätys sekä sivuvirtojen hyödyntäminen riippuvuuden vähentämiseksi uusiutumattomista, erityisesti fossiilista, raaka-aineista. Maaliskuussa 2020 komissio antoi Kiertotalouden toimintasuunnitelman,

joka on yksi keino toteuttaa Euroopan vihreän kehityksen ohjelman tavoitteita ilmastoneutraalista, resurssitehokkaasta, oikeudenmukaisesta ja kestävästä Euroopasta. Linjassa komission toimintasuunnitelman kanssa Suomen hallitusohjelmassa asetettiin tavoitteeksi vahvistaa Suomen roolia kiertotalouden edelläkävijänä. Tämän pohjalta tehdyssä Kiertotalouden edistämishjelmassa ehdotetaan tavoitteita luonnonvarojen käytölle sekä toimenpiteitä, joilla hiilineutraalista kiertotalousyhteiskunnasta tulee taloutemme kestävä perusta vuonna 2035 (VN 2021).

Asetetut EU:n ja kansallisen tason säädökset ja ohjeet luovat puitteet yrityksille edistää kiertotaloutta sekä materiaalitehokkuutta, koska yritykset tunnistavat tarpeen vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja parantaa resurssiturvallisuutta. Myös raaka-aineiden hinnannousu sekä suoranaiset saatavuusongelmat ajavat yrityksiä siihen suuntaan, että materiaalien tehokkaampi hallinta tulee jatkossa entistä tärkeämmäksi. Kiertotalouden ja materiaalitehokkuuden ratkaisujen toteuttamisessa on kuitenkin keskeistä, että liiketoiminta on kustannustehokasta. Suoria taloudellisia hyötyjä voivat olla esimerkiksi tehokkaamman resurssikäytön tuomat kustannussäästöt sekä kestävä kehityksen periaatteiden noudattamisesta aiheutuva markkinaosuuden kasvu.

Kaskadiperiaatteen noudattaminen ei kuitenkaan automaattisesti tarkoita kustannussäästöä. Vaikka biomassaraaka-aineet ovat jatkossa yhä kilpaillumpi resurssi, liittyy sen tarkempaan hyödyntämiseen sekä prosessointi- että logistiikkakustannuksia. Prosessointikustannuksia voi nostaa uusien patentoitujen teknologioiden käyttö. Sähkön ja polttoaineiden hinta on puolestaan ollut kesästä 2021 saakka voimakkaassa nousussa johtuen osittain EU:n julkaisemasta Fit for 55 -ilmastopakettista, jonka tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä 55 prosenttia vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 tasosta. Vuonna 2022 energian hintojen nousu on vain kiihtynyt Ukrainan sodan myötä.

2.3. Ratkaisuja biomassasivuvirtojen hyödyntämiseen

Ensimmäinen vahva sysäys biokiertotaloudelle oli Euroopan unionin laajuinen orgaanisen jätteen kaatopaikkakielto, joka astui Suomessa voimaan vuoden 2016 alusta. Ensimmäisessä vaiheessa oli tärkeää löytää orgaanisille jäte- ja sivuvirroille edes jotain hyötykäyttöä. Edelleen tämä liiketoimintamalli näkyy siinä, että 80 % suurten keskitettyjen biokaasulaitosten tuloista saadaan porttimaksuista. Vähitellen tilanne on kuitenkin muuttumassa ja biokaasulaitoksen lopputuotteista, uusiutuvasta energiasta ja kierrätysravinteista saadaan yhä enemmän tuloja. Arvonlisän luominen kierrätysraaka-aineita hyödyntämällä ja nykyisin kaskadiperiaatteen tavoittelemisen ovat laajemminkin muuttaneet liiketoiminnan konseptia; arvoketjut ja -verkot sekä niihin liittyvät logistiikan järjestelyt ovat keskeisiä elementtejä kiertotalouteen kytkeytyvän liiketoiminnan kehittämisessä.

Erityisesti kiertotalouden ratkaisuissa tarvitaan usean toimijan välistä yhteistyötä, jonka tuloksena voi syntyä yritysverkosto tai laajamittaisemmassa synergianhaussa keskeisen teeman ympärille muodostunut teollinen ekosysteemi. Lisäarvon tuottamiseksi ja muiden hyötyjen konkretisoimiseksi toimijayhteisöt tarvitsevat keskinäistä, koordinoitua yhteistyötä. Yhteistyön maleista avainroolissa ovat logistiset ratkaisut materiaalien, esineiden ja palveluiden oikea-aikaisen, sujuvan ja ennen kaikkea kustannustehokkaan liikkumisen varmistamiseksi. Helpoimman lähtökohdan kustannustehokkaalle logistiikalle tarjoaa paikallinen yhteistyö, mutta toimivia ratkaisuja voi löytyä myös hajautettua ja keskitettyä prosessointia yhdistämällä.

Biomassasivuvirtojen hyödyntämisen haasteita ovat sivuvirtojen syntymisen kausiluontoisuus ja säilyvyys varastoinnin aikana. Luvuissa 5. *Biomassojen ja niiden jalostuksen sivutuotteiden varastointi sekä laadun hallinta* sekä 7. *Maatalouden pää- ja sivuvirtojen logistiikka ja varastointi*

kerrotaan lisää näistä haasteista sekä niiden hallinnasta. Biomassasivuvirtojen toimitusketjujen hallinta onkin erityisen tärkeää. Hyödyntäjän näkökulmasta Just in time (JIT) periaatteen noudattaminen säästää varastointikuluissa. Kausiluontoisia biomassasivuvirtoja on kuitenkin joka tapauksessa pakko varastoida joko tuottajan tai hyödyntäjän toimesta. On sopimuskysymys, miten tämä hoidetaan. Biokympin biokaasulaitos Kiteellä toimittaa ravintorikkaan mädätysjäännöksen varastoitavaksi suoraan maatilojen varastoihin. Viljelijälle tärkeää on varmistaa mädätysjäännöksen saanti juuri oikeaan aikaan, jotta levitysajankohta voidaan parhaiten optimoida. Viimeaikaiset kriisit, koronapandemia ja Ukrainan sota, ovat osoittaneet laajemminkin huoltovarmuuden merkityksen. Myös muita kriittisiä tuotantopanoksia kuten mineraalilannoitteita saattaisi olla tarpeen ostaa ja varastoida yhden ylimääräisen kasvukauden verran.

Luvut 3. *Maa- ja metsätalouden biomassojen saatavuus* ja 4. *Jäljitettävyyden* nostavat esiin toisenlaisia haasteita. Vajaahyödynnetyille biomassoille tai sivuvirroille ei ole olemassa vakiintuneita markkinoita tai toimitusketjuja ja lisäksi niiden laatu vaihtelee. Yksi esimerkki vajaahyödynnetyistä biomassasta on järviruoko, jota niitetään vesistökuunnostuskohteissa, mutta ei juuri hyödynnetä. Kouvolassa "Kestävästi luonnosta" -osuuskunta on lähtenyt rakentamaan omaa liiketoimintaa järviruokojen korjuun, toimitusten, tuotteistamisen ja koulutusten ympärille. Järviruokoa käytetään mm. kattojen rakennusmateriaalina, seinien eristemateriaalina, viljelyssä käytettävänä katemateriaalina ja kasvuvalustan raaka-aineena. Osuuskuntamuotoinen hankinta voisi toimia myös muiden sellaisten vajaahyödynnetyjen biomassojen osalta, joissa biomassaa on yksityisten maanomistajien tai viljelijöiden omistuksessa. Digitaalisten sovellusten kehittäminen on puolestaan avainasemassa, kun tuodaan tietoa biomassan saatavuudesta ja laadusta hyödyntäjille sekä varmistetaan tiedon luotettavuus parantamalla jäljitettävyyttä.

2.4. Arvoketjut ja liiketoiminnan esimerkit, "showcaset"

Sekä muuttuva säädösympäristö että uudet liiketoimintamahdollisuudet ovat nostaneet kiertotalouden yksittäisten edelläkävijöiden toiminnasta kannattavaksi liiketoiminnaksi yhä useammalle yritykselle. Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra päivittää Kiertotalouden kiinnostavimmat -listaa, jolle hakeneesta 168 yrityksestä Sitra ja sen sidosryhmien kiertotalousasiantuntijoista koostuva raati valitsi mukaan 41 kiinnostavinta. Yritykset on ryhmitelty kiertotalouden viiden toimintamallin mukaisesti: 7 tuotteistaa palvelua ja 10 uusiutuvuutta, 5 edistää jakamistalouden kehittämistä, 6 tavoittelee elinkaaren pidentämistä ja 13 resurssitehokkuutta ja kierrätystä. Useista tuotekehitysvaiheissa olleista ratkaisuista on kehittynyt kaupallisen tason innovaatioita. Listalla on mukana sekä startup-yrityksiä että kiertotaloutta kohti matkaavia suur-yrityksiä (Sitra 2021).

Alle on poimittu muutama esimerkki kiertotalousyrityksistä, joista kukin on ratkaissut logistiikkahaasteen omalla tavallaan.

Paikallinen hyödyntäminen ratkaisee logistiikkahaasteita

Nykypäivän kiertotaloudella saavutettavaan arvonlisään ja sitä kautta liiketaloudelliseen kannattavuuteen pyrkivä yritys-konsepti on Fazerin (Oy Karl Fazer Ab) vuonna 2022 toimintansa aloittanut ksylitolitehdas Lahdessa. Patentoitua teknologiaa hyödyntävä tehdas valmistaa ksylitolia kaurankuorista, jotka saadaan Fazerin oman kauramyllyn tuotannosta sivuvirtana. Ksylitolituotannosta jäljelle jäävä kaurankuorimassa hyödynnetään bioenergiaksi, joten kaurankuoresta hyödynnetään kaikki osat eikä hävikkiä synny lainkaan. Kierrätysraaka-aine muodostuu lähellä jatkojalostusprosessia, jolloin logistiikan kustannukset voidaan minimoida. Kaurankuoren kuljetusta olisi vaikea järjestää kustannustehokkaasti, koska raaka-aineen kuiva-ainepitoisuus

tilavuutta kohti on matala. Fazerin ksylitolitehdas on esimerkki nykyaikaisesta, materiaalitehokkuuteen ja kaskadiperiaatteeseen pohjautuvasta arvoketjuratkaisusta, jossa tehdään pääprosessin eli kauramyllyn sivuvirrasta jalostetaan korkean lisäarvon lopputuotetta.

Hoitolastuskalan elintarvikekäyttö vaatii katkeamattoman kylmäketjun

Apetit Järvikala-tuoteperhe sai alkunsa Järvikalapihvien muodossa, kun Säkylän Pyhäjärven hoitolastuksen saalis haluttiin hyötykäyttöön. Avainasemassa hoitolastuskalan hyödyntämisessä on nopea ja tehokas logistiikka katkeamattoman kylmäketjun varmistamiseksi, koska helposti pilaantuvan raaka-aineen on säilyttävä elintarvike tuotannon vaatima korkea aistinvarainen ja hygieeninen laatu. Säkylässä logistiikkaa helpottaa paikallinen hyödyntäminen, kun hoitolastuskala voidaan käyttää raaka-aineena Apetitin ruokapakastetehtaassa Pyhäjärven rannalla.

Ympäristöjalanjälkimittauksen mukaan Apetit Järvikala-tuotteilla on kokonaisuudessaan negatiivinen rehevöitymisvaikutus. Vaikutus syntyy kalastuksen seurauksena: kalaraaka-aineen mukana järvistä poistuu ravinteita, jotka vesistöön jäädessään vaikuttavat rehevöittävästi (Luke 2020).

Kolmen säiliön jäteauto

Suomessa eri jätelajeita pyritään ensisijaisesti hyödyntämään erilliskeräyksellä. Tämä takaa paremman raaka-aineen laadun sekä mahdollistaa korkeamman asteen hyödyntämisen kuin sekajätteen mekaaniseen lajitteluun perustuvassa toimintamallissa. Esimerkiksi erilliskerättyä biojätettä voidaan käyttää bioetanolin ja/tai biokaasun valmistukseen. Vastaava biohajoavaa jätettä on mahdollista erottaa myös mekaanisesti sekajätteen joukosta, mutta biohajoavan jätteen joukkoon jäävät epäpuhtauden haittaavat fermentointiprosessia sekä alentavat toisena lopputuotteena saatavan kompostin laatua.

Nykyinen malli vaatii kuitenkin useiden erillisten jätelajien keräystä ja kuljetusta. Sastamassa jäteautoliikennettä on onnistuttu vähentämään, kun uusimmassa jäteautossa on kolme erillistä säiliötä ja kertakäynnillä tyhjennetään niin sekajäte-, pakkausmuovi- kuin biojäteastiakin. Asukkaiden ei enää tarvitse viedä kierrätettäviä jätteitä itse kotipihaa kauemmas ja kierrätettäviä jätelajeita haetaan yhä useamman omakotitalonkin nurkalta (Kusnetsoff 2020).

Ydinviestit

- Biomassan kaskadikäytön avulla voidaan parantaa ekologista kestävyttä, mikäli elinkaariset päästöt vähenevät ja resurssien kokonaiskäyttö vähenee
- Vaikka biomassaraaka-aineet ovat jatkossa yhä kilpaillumpi resurssi, liittyy sen tarkempaan hyödyntämiseen sekä logistiikka- että prosessointikustannuksia
- Helpoimman lähtökohdan kustannustehokkaalle logistiikalle tarjoaa paikallinen yhteistyö, mutta toimivia ratkaisuja voi löytyä myös hajautettua ja keskitettyä prosessointia yhdistämällä.

Viitteet

- EC 2020. Circular economy action plan. https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en
- EC 2020. EU taxonomy for sustainable activities. https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-taxonomy-sustainable-activities_en
- Euroopan komissio 2019. Euroopan vihreän kehityksen ohjelma. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fi
- Euroopan komissio 2015. Kiertokunnon - Kiertotaloutta koskeva EU:n toimintasuunnitelma. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:52015DC0614&from=IT>
- EUR-Lex 2008. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY, annettu 19 päivänä marraskuuta 2008, jätteistä ja tiettyjen direktiivien kumoamisesta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex:32008L0098>
- EUR-Lex 2007. Komission tiedonanto neuvostolle ja Euroopan parlamentille, tulkitseva tiedonanto jätteistä ja sivutuotteista. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A52007DC0059>
- IRP 2019. Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want. Oberle, B. Bringezu, S., Hatfeld-Dodds, S., Hellweg, S., Schandl, H., Clement, J., and Cabernard, L., Che, N., Chen, D., Droz-Georget, H., Ekins, P., Fischer-Kowalski, M., Flörke, M., Frank, S., Froemelt, A., Geschke, A., Haupt, M., Havlik, P., Hüfner, R., Lenzen, M., Lieber, M., Liu, B., Lu, Y., Lutter, S., Mehr, J., Miatto, A., Newth, D., Oberschelp, C., Obersteiner, M., Pfster, S., Piccoli, E., Schaldach, R., Schüngel, J., Sonderegger, T., Sudheshwar, A., Tanikawa, H., van der Voet, E., Walker, C., West, J., Wang, Z., Zhu, B. & A Report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya. <https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook>
- Kusnetsoff, J.-T. 2020. Kolmen säiliön jäteauto vähentää kuormurien rallia Sastamalassa – Kierätysjätteetkin haetaan yhä useamman omakotitalon nurkalta. <https://www.puheenaiheet.fi/uutiset/kolmen-sailion-jateauto-vahentaa-kuormurien-rallia-sastamalassa-kieratysjatteetkin-haetaan-yha-useamman-omakotitalon-nurkalta/>
- Luke 2020. Apetit pureutui ruokatuotteidensa ympäristövaikutuksiin viljelystä ja kalastuksesta alkaen yhdessä Luken kanssa. <https://www.luke.fi/fi/palvelut/asiakasesimerkit/apetit-pureutui-ruokatuotteidensa-ymparistovaikutuksiin-viljelysta-ja-kalastuksesta-alkaen-yhdessa-luken-kanssa-0>
- Sitra 2021. Kiertotalouden kiinnostavimmat 2.1. <https://www.sitra.fi/hankkeet/kiertotalouden-kiinnostavimmat/>
- UN 2015. The 2030 Agenda for Sustainable Development. UN Member States. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/>
- VN 2022. Suomen biotalousstrategia 2022. Kestävästi kohti korkeampaa arvonlisää. Valtioneuvoston julkaisuja 2022:3. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163967?-show=full>

VN 2021. Uusi suunta. Ehdotus kiertotalouden strategiseksi ohjelmaksi. Valtioneuvoston julkaisu 2021:1. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162654>

YM 2022. Kierrätyksestä kiertotalouteen 2022. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2027. Ympäristöministeriön julkaisu 2022:13. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/-10024/163978>

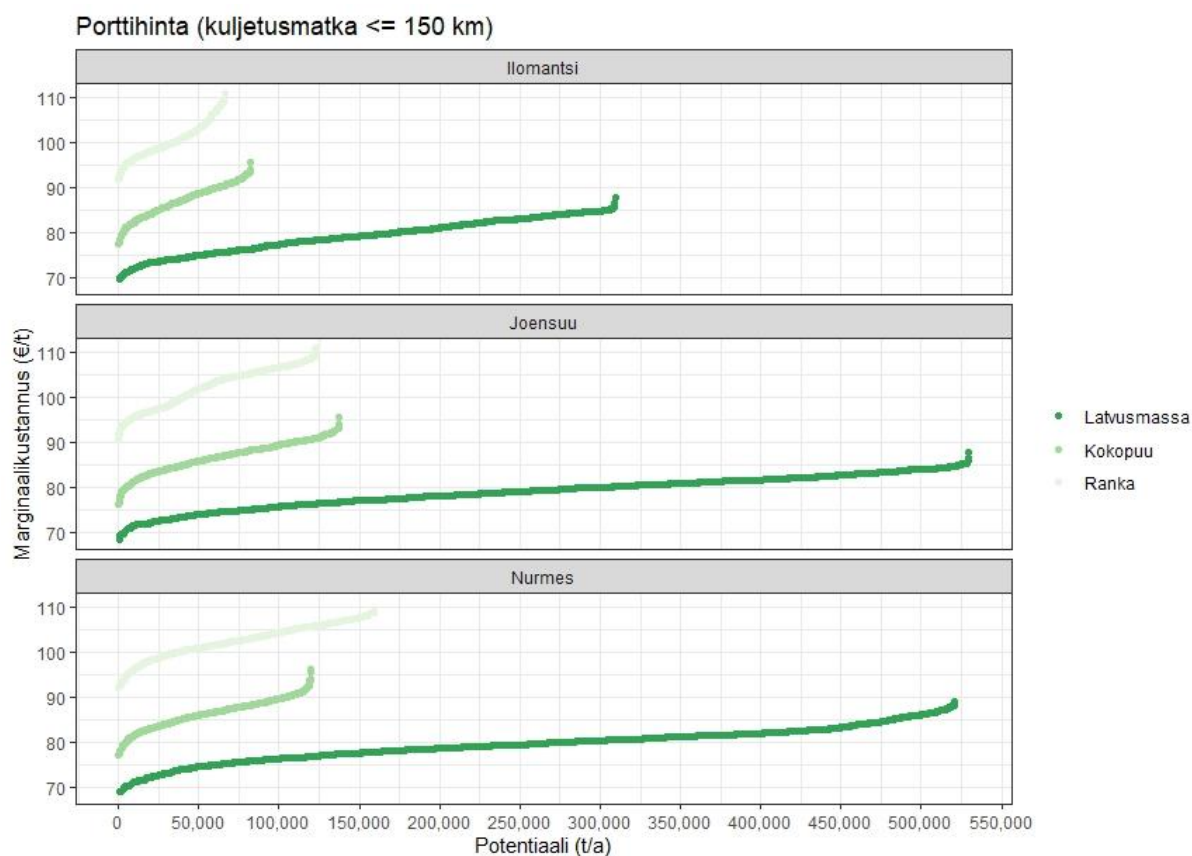
3. Maa- ja metsätalouden biomassojen saatavuus

Eeva Lehtonen ja Perttu Anttila

3.1. Johdanto

Yhteiskunta ja yritykset tarvitsevat strategisen päätöksenteon tueksi tietoa biomassojen saatavuudesta. EU:n ja Suomen tavoitteissa biomassojen käyttömäärille pitäisi huomioida, kuinka paljon biomassoja käytännössä olisi mahdollista hankkia. Ruuan- ja rehuntuotannon lisäksi biomassoja tarvitaan fossiilisten raaka-aineiden korvaamiseen materiaalien, kemikaalien, lannoitteiden, polttoaineiden ja energian tuotannossa. Viime aikoina Ukrainan sodan myötä myös huoltovarmuus erityisesti energian ja lannoitteiden osalta on korostunut entisestään.

Yritykset tarvitsevat biomassojen saatavuustietoa investointisuunnitelmiinsa. Esimerkiksi hake- lämpölaitoksen, biokaasulaitoksen tai biohiiltämön pitää ennen investointipäätöstä suunnitella raaka-aineen hankintaketjut ja varmistaa raaka-aineiden saatavuus – periaatteessa koko laitoksen käyttöajaksi. Uusien laitosinvestointien lisäksi kapasiteetin ja tuotantolinjan muutokset saattavat edellyttää tietoa biomassavaroista. Pelkkä määrätieto ei riitä. Lisäksi tarvitaan tietoa biomassan laadusta, sijainnista sekä hankintakustannuksesta (Kuva 1). Saatavuuteen ja hankintakustannukseen vaikuttavat myös vaihtoehtoinen tai kilpaileva käyttö. Tärkeää on osoittaa rahoittajille ja asiakkaille, että tarvittava biomassa on hankittavissa taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävästi.



Kuva 1. Esimerkki kustannus-tarjontakäyristä, jotka kuvaavat tiettyyn pisteeseen toimitetun biomassan hankintakustannuksen suhteessa hankittuun määrään (Anttila ym. 2022).

Sivuvirtabiomassojen hyötykäyttö on tärkeää myös ympäristövaikutusten vähentämiseksi; niin kasvihuonekaasupäästöjen kuin ravinnevalumiinien hillitsemiseksi. Ruuantuotannon sivuvirtabiomassat sisältävät kasvien tarvitsemia ravinteita kuten typpeä ja fosforia. Merkittävin ravinnepihvin sivuvirta on tuotantoeläinten lanta, jonka fosfori riittäisi koko Suomen viljojen ja nurmien lannoittamiseen (Ylivainio ym. 2015). Karjanlannan ravinteille olisi erityistä tarvetta eteläisessä Suomessa, kun taas eläintuotannon painopistealueita ovat Lounais-Suomi, Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaa, Pohjois-Savo ja Kainuu. Ravinteiden tehokas kierrätys edellyttäisi lantojen prosessointia, joka mahdollistaisi niiden kuljettamisen nykyistä kauemmas (Marttinen ym. 2017)

Seuraavissa alaluvuissa esitellään menetelmiä ja tietolähteitä maatalouden ja metsäbiotalouden biomassojen sekä biohajoavien jätteiden saatavuuden arviointiin. Mahdollisia kehityskohteita pohditaan myös alla. Kalatalouden sivuvirtoja arvioidaan luvussa 8.

3.2. Biomassan saatavuusarvioita

Biomassan saatavuutta arvioitaessa ensimmäinen lähtökohta on biomassan olemassa oleva kokonaismäärä, esim. tietyn alueen kaikkien peltojen tai metsien biomassa. On kuitenkin huomattava, että osa metsäpinta-alasta on käytön ulkopuolella erilaisten rajoitusten (esim. suojelualueet) vuoksi. Käytettävissä olevasta pinta-alastakin vain osa on tietyllä hetkellä käytettävissä biomassan hankintaan. Peltojen multavuuden ylläpitämiseksi voi olla järkevää korjata oikea vain joka toinen vuosi. Metsien hakkuumäärät taas olisi syytä pitää keskimäärin sellaisina, että puustopääoma ei ainakaan pienene. Hakkuumahdollisuuslaskelmilla voidaan osoittaa, mikä osa puuntuotantoon käytettävissä olevista metsistä voidaan tietyllä ajanhetkellä kestävästi hakata. On myös syytä erottaa toisistaan laskelmin osoitettavissa oleva biomassan hankintamahdollisuus ja biomassan saatavuus. Saatavuus ratkeaa markkinoilla, ja siihen vaikuttavat edellä mainittujen seikkojen lisäksi omistajan tahtotila saattaa biomassaa liikkeelle ja ostajan maksuvalmius.

Biomassojen saatavuutta on arvioitu Lukessa useissa eri hankkeissa ja tuloksia on koottu hanke- ja raportteihin sekä nettiselainkäyttöiseen Biomassa-atlas -karttapalveluun, jossa on tietoa metsähakepotentiaalista, maataloudessa syntyvistä peltobiomassoista ja lannasta, yhdyskuntien biojätteistä ja teollisuuden biohajoavista sivuvirroista (Luonnonvarakeskus 2022a). Myöhemmin Biomassa-atlaksen konseptia hyödynnettiin Forest Energy Atlas -karttapalvelussa, joka kattaa Suomen lisäksi Ruotsin ja Baltian maat (Luonnonvarakeskus 2022b). Forest Energy Atlas tarjoaa tietoa erilaisten metsäjakeiden hankintamahdollisuuksista.

Kasvinviljelyn sivuvirrat

Kasvinviljelyn sivuvirtojen arvioinnin perustana ovat päätuotteiden tuotannon tunnusluvut: kylvetyt vilja- ja nurmialat ja korjatut sadot. Kylvöalojen tieto saadaan maataloushallinnon rekisteriaineistoista kasvulohkon tarkkuudella. Satotiedot Luken tilastopalvelu kokoaa otantatutkimuksena vuosittain ELY-kohtaisiksi satotiedoiksi. Hehtaarisatotieto yhdistetään viljelyalaan, jolloin saadaan kyseisen alueen potentiaali tuottaa satoa. Sivuvirtoja muodostuu kullekin kasvilajille ominainen määrä, joka vertautuu pääsadon määrään. Vilja- tai siemensadon ja viljelykasvin satoindeksi (SI, siemensato/koko kasvin paino, yleensä 0,40–0,50) perusteella voidaan arvioida olki- ja varsibiomassan kokonaismäärä. Karkeasti ottaen viljoilla tulee siemensatoa ja oikea suunnilleen yhtä paljon.

Eläintuotannon sivuvirrat

Eläintuotannon sivuvirtoja ovat lanta, teurasjätteet ja rehujäte. Lantamäärät voidaan laskea Suomen normilanta -järjestelmän (Luostarinen ym. 2017) mukaisesti laskennallisten sonnan ja virtsan eritystietojen, lannankäsittelytietojen ja Ruokavirastosta tai Luken tilastoista saatavien eläinmäärien pohjalta. Normilannan mukaisesti lasketut lantamäärät esitetään paikkatietona ja karttoina Biomassa-atlaksessa (Luonnonvarakeskus 2022a).

Suurin osa teurasjätteestä toimitetaan Suomessa Honkajoki Oy:n käsiteltäväksi, ja tietoa sen määristä on saatavissa k.o. yrityksen vuosiraporteista. Lisäksi pienempiä määriä päätyy muihin jätteitä käsitteleviin laitoksiin, joista ympäristölupavervolliset raportoivat ympäristöhallinnon järjestelmään YLVAan.

Biohajoavat jätteet

YLVA-tietojärjestelmästä on mahdollista poimia myös tieto muiden ympäristölupavervollisten yritysten biohajoavista jätteistä. Biomassa-atlaksessa yritystoiminnasta muodostuvat biohajoavat jätteet on luokiteltu viiteen pääluokkaan: eläin- ja kasvijäte, puujäte, liete, paperi- ja pahvi-jäte sekä biohajoava sekajäte. Tarkempi jaottelu noudattaa eurooppalaista jätteen EWC /LoW(European Waste Catalogue, List of Wastes) -luokitusta, joka kertoo jätteen alkuperätoimialasta ja jätteen laadusta.

Myös yhdyskunnissa syntyy ravinnepitoisia biomassoja kuten biojätettä ja jäteveden käsittelyn lietteitä. Rekisteriaineistoista löytyy tietoa niiden määristä jätteenkäsittelylaitoksissa. Niiden määrät syntyipaikoilla voidaan laskea väestömäärien ja Tilastokeskuksen yhdyskuntajätetilaston ja jätetutkimuksista saatavien kertoimien avulla. Tietoa yhdyskuntabiojätteistä kootaan Lukessa Biomassa-atlakseen ja Ravinnelaskuriin (Luonnonvarakeskus 2022a, c).

Ruuan ei pitäisi päätyä biojätteeksi. Luke on tehnyt yhdessä elintarvikealan eri toimijoiden kanssa kansallisen ruokahävikkitiekartan, jotta ruokahävikkiä voitaisiin vähentää elintarvikeketjun kaikissa vaiheissa: alkutuotannossa, teollisuudessa, kaupassa, ravitsemispalveluissa ja kotitalouksissa. Samalla seurataan ruokahävikin kokonaismäärää, joka ensimmäisen seurannan mukaan on Suomessa 351–376 miljoonaa kiloa vuosittain. Tiekarttaa ja seurantajärjestelmää on tarkoitus päivittää ja ylläpitää. Työ jatkuu seurantamenetelmien ja -työkalujen kehittämiseksi, aineistojen edustavuuden ja otoskokojen parantamiseksi, seurantajärjestelmän kokonaisuuden systematisoimiseksi sekä ruokahävikin vähentämistoimenpiteiden kokoamiseksi. (Riipi ym. 2021).

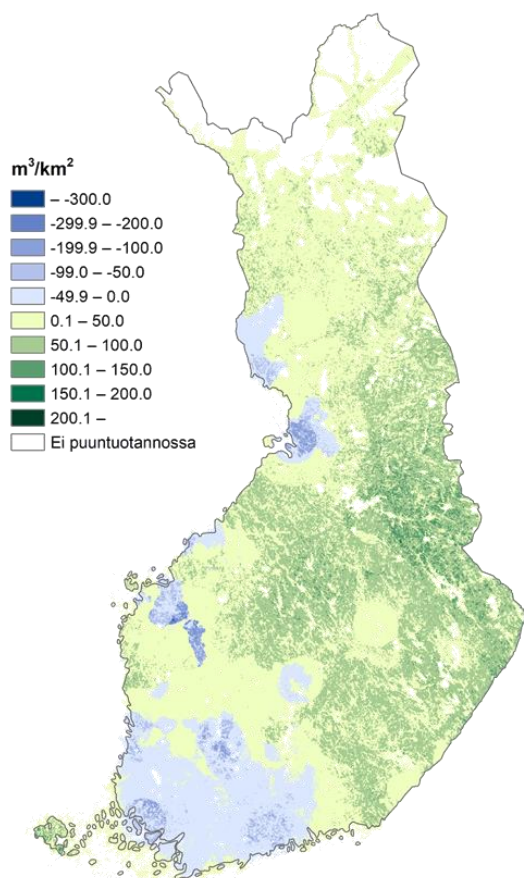
Metsäbiotalouden sivuvirrat

Pääosa Luken metsäbiotalouden sivuvirtoja koskevista saatavuuslaskelmista on tehty metsähakkeelle. Metsähakkeella tarkoitetaan hakkuiden yhteydessä korjattavissa olevaa biomassaa, joka pääosin ei kelpaa ainespuuksi, mutta joka voitaisiin voimassa olevia korjuusuosituksia noudattaen hankkia muuhun tarkoitukseen. Metsähakkeen raaka-aineita ovat uudistushakkuiden latvusmassa, ja kannot sekä nuoren metsän harvennuksessa korjattava pienpuu. Latvus- ja kantobiomassojen hankintamahdollisuudet riippuvat tukkipuun hakkuumääristä, kun taas pienpuuta voidaan korjata myös ainespuun hankinnasta riippumattomasti. Hankintamahdollisuuksien laskennassa huomioidaan metsänhoitosuosituksissa korjuulle annetut rajoitteet kuten kasvupaikan soveltuvuus sekä korjaamatta jätettävän biomassan määrä (Koistinen ym. 2016) sekä varastointihävikki (Anttila ym. 2021). Metsähakkeen nykyiset käyttömäärät ovat niin suuria, että olemassa oleva, kilpaileva käyttö tulee huomioida. Tämä voidaan tehdä paikkatietoanalyysillä

(Anttila ym. 2021, Kuva 2) tai optimoimalla samanaikaisesti metsien kasvatusta ja käyttöä (Hyvönen ym. 2019).

Lukessa ja sitä edeltäneessä Metsäntutkimuslaitoksessa on useissa tutkimuksissa laskettu metsähakkeen hankintamahdollisuuksia Suomessa valtakunnallisesti ja alueellisesti. Useimmat tutkimuksista perustuvat valtakunnan metsien inventointi- ja satelliittikuva-aineistoihin (Anttila ym. 2009b, Laitila ym. 2010, Tomppo ym. 2014) tai inventointiaineistojen pohjalta laadittuihin alueellisiin hakkuumahdollisuuslaskelmiin (Muinonen ym. 2013, Nivala ym. 2016, Anttila ym. 2018, Anttila ym. 2021). Myös metsähakemarkkinoiden osittaistasapainomallilla on arvioitu tulevia hankintamääriä (Kallio ym. 2011).

Metsähakkeen hankintamahdollisuuksia on selvitetty viennin edistämisyhkimyksissä sekä EU-tasolla (Asikainen ym. 2008) että globaalisti (Anttila ym. 2009). Myöhemmin EU-tasolla hankintamahdollisuuksia on laskettu yhdessä Euroopan metsäinstituutin kanssa (Verkerk ym. 2011). Alueellisia laskelmia viennin edistämistarkoituksessa on tehty eri puolilla Eurooppaa, Kanadassa, Uruguayssa ja Kiinassa (esim. Virkkunen ym. 2009, Anttila ym. 2015). Julkisten laskelmien lisäksi sekä Suomessa että ulkomailla on tehty lukuisia maksullisia projekteja, joissa tilaajana on ollut metsä- tai energiateollisuusyritys tai paikallinen kehittämissyhtiö (esim. Anttila ym. 2011). Metsäteollisuuden sivuvirtojen osalta hakkeen, purun ja kuoren hankintapotentiaalia on arvioitu lähinnä tuotantokapasiteetteihin ja sivuvirtakertoimiin perustuen (Anttila ym. 2022).



Kuva 2. Metsähaketaselaskelma osoittaa alueet, joissa hankintamahdollisuudet ovat suuremmat kuin ennakoitu kysyntä (vihreällä) ja päinvastoin (sinisellä). Esimerkki skenaariosta, jossa turpeen käytöstä 50 % korvattaisiin metsähakkeella ja latvusmassan ja harvennuspuun määrä on laskettu suurimman ylläpidettävissä olevan hakkuutason mukaan (Anttila ym. 2021).

3.3. Kehityskohteet

Strategisesta suunnittelusta operatiivisen tason dataan

Käytössä olevat biomassojen saatavuuden arvioinnin menetelmät perustuvat laskennallisiin menetelmiin, joiden aineistoina on rekistereitä, tilastoja, maastoinventointi- ja kaukokartoitusaineistoja sekä muita kohteita. Muodostuvat määrät voidaan arvioida alueellisella tasolla strategisen päätöksenteon tueksi ja kokonaiskuvan muodostamiseksi. Jotta biomassojen käyttöä voitaisiin lisätä, tarvittaisiin tietoa yksittäisistä muodostuvista biomassaeeristä, syntyajankohdasta ja omistajasta. Biomassoilla on paljon pieniä paikallisia käyttökohteita.

Suomen biotalousstrategian päivitys (Valtioneuvosto 2022) pyrkii siihen, että biotalouden eri sektoreilla kyetään luomaan entistä korkeampaa arvonalisää. Päivityksessä otettiin aiempaa strategiaa tarkemmin huomioon kiertotalouden ratkaisut ja toimintakäytännöt sekä uusiutuvien luonnonvarojen hyödynnettävyys. Samalla strategian tavoitteena on lisätä materiaalien resursiivisasta käyttöä ja kierrätystä sekä hyödyntää sivuvirtoja. Bioresurssien ja muiden ekosysteemipalveluiden käytettävyyden ja kestävyuden lisäämiseksi halutaan lisätä tietoa biomassojen ja sivuvirtojen kysynnästä, saatavuudesta ja kilpailutilanteesta tilastointia parantamalla ja huolehtimalla että tieto on toimijoiden saatavilla.

Myös Ilmastoruokaohjelman (Maa- ja metsätalousministeriö 2021) tavoitteena on ottaa maatalouden ja elintarviketalouden sivuvirrat tehokkaaseen käyttöön, nostaa sivuvirtojen jalostusarvoa ja tuottaa korkean lisäarvon tuotteita. Arvioinnin ja seurannan kohteena ovat sivuvirtojen määrä ja taloudellinen arvo ja hyötykäytössä olevien biomassojen osuus. Alkutuotannon biomassoista tarvitaan siis aiempaa tarkempaa tietoa, jotta biomassat saataisiin liikkeelle ja hyödynnetyksi.

Biomassa-atlaksessa on alueellisiin tilastoihin ja tila- tai lohko-kohtaiseen rekisteritietoon perustuvaa mallinnettua tietoa alueellisista sivuvirtamääristä kuten kasvintähteet ja lanta, mutta vain viljelijöillä itsellään on tieto, mitä sivuvirtoja tiloilla oikeasti syntyy ja mitä sille tehdään. Kannattaisi käydä keskusteluita erityyppisten tilojen viljelijöiden kanssa ja tunnistaa olemassa olevia tuotannonohjauksen ja tiedonhallinnan käytäntöjä, joihin sivuvirtojen ja niiden tiedonhallinta kytkeytyy. Maatiloilla kerätään jo paljon dataa, koska tekniikka sen mahdollistaa, mutta dataa ei osata vielä täysin hyödyntää eikä varsinkaan jakaa muiden käytettäväksi. Vapaaehtoisuuteen perustuvissa ilmoitusmenettelyissä on keskeistä ratkaista, miten sivuvirran tuottaja motivoituisi tiedon ilmoittamiseen. Myös uusia ideoita ja datatalouden toimijoita datan hyödyntämiseen tarvitaan lisää. Toistaiseksi pullonkaulana on vielä selkeän ansaintalogiikan puuttuminen.

Elintarvikkeiden jalostuksesta saatava sivuvirtatieto perustuu ympäristölupien jäteilmoituksiin (YLVA). Ympäristöhallinto kokoaa tiedon siis suoraan toimijoilta, lakisääteisesti. Tieto ei kata kaikkia yrityksiä, sen laadunvarmistuksessa olisi parannettavaa ja jäteluokittelu ei palvele arvoa lisäävää jatkohyödyntämistä.

Laskentamenetelmiä pitäisi saada ketterämmiksi. Automatisointi mahdollistaisi dynaamiseman ja jatkuvammin päivittyvän laskennan. Tarkempi spatiaalinen ja ajallinen resoluutio tuloksissa olisi tarpeen. Kehittyneempien laskentamenetelmien ohella tarvittaisiin ajankohtaista ja tosiasiallista tietoa syntyvistä biomassoista, kuten toimijoiden ilmoituksia syntyneistä ja saatavilla olevista biomassoista.

Biomassa-atlaksen kaltainen palvelu, jossa kaikki tieto on avointa, ei palvele yksityisten toimijoiden sivuvirtojen ilmoittamista. Biomassa-atlaksessa olisi hyödyllistä olla taso, jossa tieto

kulkee luottamuksellisesti ja rajatummin esim. yksityisten toimijoiden välillä ja tutkimuksen suuntaan. Rajatumman tiedonjakamisen taso mahdollistaisi myös lantatiedon esittämisen nykyistä tarkemmalla spatiaalisella resoluutiolla. Luottamuksen rakentaminen on siis keskeistä, että tieto liikkuisi. Lisäksi tiedonhallinta pitäisi tehdä mahdollisimman vaivattomaksi ja integroida tilan tai yrityksen muuhun toimintaan.

Lisää tietoa biomassojen käytöstä

Biomassojen varsinaisesta tuotannosta ja korjatuista sadoista Luke tuottaa vuosittaiset tilastot. Biomassojen jakautumisesta eri käyttökohteisiin ei ole tietoa etenään alueellisesti.

Biomassojen varastoinnin aiheuttamat muutokset pitäisi pystyä huomioimaan nykyistä paremmin. Nykyisin Biomassa-atlaksessa on laskettu tiedot ennen varastointia ja varastoinnin jälkeen lannalle, mutta ei muille biomassoille.

Puupolttoaineilla on lähitulevaisuudessa kasvava rooli energiantuotannossa. Edellä mainittu laskentamenetelmien kehittäminen olisi tarpeen myös huoltovarmuuden varmistamiseksi. Vuotuisen hankintamahdollisuuden lisäksi tarvittaisiin tietoa siitä, paljon polttoaineita on varastoituna ja saatavissa liikkeelle. Kiinteiden oletusten sijaan tarvittaisiin mahdollisuus herkkystarkasteluille keskeisten parametrien suhteen.

Lisäksi on vielä monia biomassajakeita, joista tietoa on varsin niukasti. Elintarviketeollisuuden sivuvirroista, vesistöjenkunnostuksen kalabiomassoista ja järviruo'on saatavuudesta ja hyödyntämisestä kaivattaisiin lisää tietoa.

Ydinviestit

- Yhteiskunnan ja yritysten strategista päätöksentekoa tuetaan biomassojen saatavuusarvioilla. Eri biomassajakeille tarvitaan erilaisia laskentamenetelmiä.
- Saatavuustiedon tulisi olla vielä tarkempaa paikan ja ajan suhteen biomassojen mobilisaation tehostamiseksi operatiivisella tasolla.

Viitteet

- Anttila, P., Karjalainen, T. & Asikainen, A. 2009a. Global potential of modern fuelwood. Metlan työraportteja/Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 118. 29 s.
- Anttila, P., Korhonen, K.T. & Asikainen, A. 2009b. Forest energy potential of small trees from young stands in Finland. In: Mia Savolainen (ed.). Bioenergy 2009. Sustainable Bioenergy Business. 4th International Bioenergy Conference from 31st of August to 4th of September 2009. Book of Proceedings Part I. FINBIO julkaisusarja - FINBIO Publications 1(44): 221-226.
- Anttila, P., Asikainen, A., Laitila, J., Broto, M., Campanero, I., Lizarralde, I. & Rodríguez, F. 2011. Potential and supply costs of wood chips from forests in Soria, Spain. *Forest Systems* 20(2): 245-254.
- Anttila, P., Vaario, L.-M., Pulkkinen, P., Asikainen, A. & Duan J. 2015. Availability, supply technology and costs of residual forest biomass for energy – A case study in northern China. *Biomass and Bioenergy* 83: 224-232.

- Anttila P., Nivala V., Salminen O., Hurskainen M., Kärki J., Lindroos T.J. & Asikainen A. 2018. Regional balance of forest chip supply and demand in Finland in 2030. *Silva Fennica* 52(2) article id 9902. 20 p. <https://doi.org/10.14214/sf.9902>
- Anttila, P., Nivala, V., Hirvelä, H., Laitila, J. & Sikanen, L. 2021. Metsähakkeen riittävyys energiaturpeen korvaajana. 41 s. Luonnonvarakeskus. <https://mmm.fi/metsat/puunkaytto-puun-energiakaytto>.
- Anttila, P., Nivala, V., Laitila, J., Lehtonen, E. & Sikanen, L. 2022. Biohiilen raaka-aineet ja niiden saatavuus Pohjois Karjalassa. 35 s. Luonnonvarakeskus.
- Asikainen, Antti, Liiri, Harri, Peltola, Sanna, Karjalainen, Timo & Laitila, J. 2008. Forest energy potential in Europe (EU 27). Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 69. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2008/mwp069.htm>.
- Hyvönen, P.; Lempinen, R.; Lappi, J.; Laitila, J.; Packalen, T. 2019. Joining up optimisation of wood supply chains with forest management a case study of North Karelia in Finland. *Forestry: An International Journal of Forest Research*: 15 p.
- Kallio, A.M.I., Anttila, P., McCormick, M. & Asikainen, A. 2011. Are the Finnish targets for the energy use of forest chips realistic - assessment with a spatial market model. *Journal of Forest Economics* 17(2): 110–126.
- Koistinen, A., Luro, P. & Vanhatalo, K. (toim.). (2016). Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas. Tapion julkaisuja. Saatavilla: http://tapio.fi/wp_content/uploads/2015/06/MHSEnergiapuun_korjuun_suosituksat_verkkojulkaisu2.pdf
- Laitila, J., Heikkilä, J. & Anttila, P. 2010. Harvesting alternatives, accumulation and procurement cost of small-diameter thinning wood for fuel in Central Finland. *Silva Fennica* 44(3): 465–480.
- Luonnonvarakeskus. 2022a. Biomassa-atlas. <https://projects.luke.fi/biomassa-atlas/>.
- Luonnonvarakeskus. 2022b. Forest Energy Atlas. <https://forest-energy-atlas.luke.fi/>.
- Luonnonvarakeskus. 2022c. Ravinlaskuri auttaa ravinteiden kierrätyksen suunnittelussa. <https://www.luke.fi/fi/palvelut/ravinlaskuri-auttaa-ravinteiden-kierrätyksen-suunnittelussa>.
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J. & Munther, J. 2017 SUOMEN NORMILANTA – laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2017. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 54 s.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2021. "Luonnos ilmatoruokaohjelmasta." mmm.fi/ilmatoruokaohjelma. 16. 6. Haettu 2022. https://mmm.fi/documents/1410837-/1895908/ilmatoruoka_ohjelma MMM.pdf/f49357ca-a405-bf41-0c7e-a8c061c9548e-/ilmatoruoka_ohjelma MMM.pdf/ilmatoruoka_ohjelma MMM.pdf?t=1623829785173.
- 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., Koskiahio, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A., zu Castell-Rüdenhausen, M. 2017. Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa. Nykytila ja suositukset ohjauskeinojen kehittämiseksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2017. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 46 s.

- Muinonen E., Anttila P., Heinonen J. & Mustonen J. 2013. Estimating the bioenergy potential of forest chips from final fellings in Central Finland based on biomass maps and spatially explicit constraints. *Silva Fennica* 47(4).
- Nivala, M., Anttila, P., Laitila, J., Salminen, O. & Flyktman, M. 2016. A GIS-based methodology to estimate the regional balance of potential and demand of forest chips. *Journal of Geographic Information System* 8: 633–662.
- Riipi, I., Hartikainen, H., Silvennoinen, K., Joensuu, K., Vahvaselkä, M., Kuisma, M. & Katajajuuri, J.-M. 2021. Elintarvikejätteen ja ruokahävikin seurantajärjestelmän rakentaminen ja ruokahävikkitiekartta. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 49/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 72 s
- Tomppo, E., Katila, M., Mäkisara, K. & Peräsaari, J. 2014. The Multi-source National Forest Inventory of Finland – methods and results 2011. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 319. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp319.htm>.
- Valtioneuvosto. 2022. Suomen biotalousstrategia - Kestävästi kohti korkeampaa arvonlisää. [Valtioneuvoston julkaisu 2022:3. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-547-4](http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-547-4).
- Verkerk, P.J., Anttila, P., Eggers, J., Lindner, M. & Asikainen, A. 2011. The realisable potential supply of woody biomass from forests in the European Union. *Forest Ecology and Management* 261(11): 2007–2015.
- Virkkunen, M., Flyktman, M., Paappanen, T., Leinonen, A., Anttila, P., Laitila, J. & Karjalainen, T. 2009. Pre-feasibility study of biomass plant in Uruguay. VTT, Jyväskylä. 65 p.
- Ylivainio, K., Sarvi, M., Lemola, R., Uusitalo, R., Turtola, E. 2015. Regional P stocks in soil and in animal manure as compared to P requirement of plants in Finland: Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management. WP4 Standardisation of manure types with focus on phosphorus. *Natural resources and bioeconomy studies* 62/2015. 32 p. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-129-7>

4. Jäljitettävyys

Ari Ronkainen, Antti Suokannas ja Eero Holmström

4.1. Johdanto

Jäljitettävyys viittaa kykyyn seurata ja jäljittää tietoa, eli mahdollisuutta osoittaa mistä erä on tullut ja mitä erälle on sen eri vaiheissa tehty. Jäljitettävyteen tehdyt sovellukset luovat läpinäkyvyyttä toimitusketjuun. Jäljitettävyttä vaaditaan mm. elintarvikekäyttöön meneviltä tuotteilta, mutta myös mm. energiakäyttöön menevältä materiaalilta. Euroopan Unionissa kiertotalouden sivuvirtoihin sovelletaan niin sanottua kaskadiperiaatetta. Periaatteen mukaan materiaalia pitäisi hyödyntää niin pitkälle kuin mahdollista ja sen energiakäytön pitäisi olla viimeinen vaihtoehto. Energiakäyttöön menevää materiaalia käsitteleekin niin sanottu Renewable Energy Directive, eli direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä 2018/2001/EU, tai RED II. Direktiivi vaatii mm., että energiaksi käytettävä materiaali on jäljitettävissä ja että siitä voidaan osoittaa, että sillä ei ole heikennetty luonnon tilaa esimerkiksi käyttämällä herkkää ympäristöä energian tuotantoon. Myös monet sertifiointi järjestelmät vaativat tuotteiden jäljittämistä ja erilaisten asioiden osoittamista tuotannosta, kuten elintarvikekaupassa käytettävä GTP (good trading practices, sekä metsäteollisuuden FSC ja PEFC-sertifiointit.

Biotaloudessa ja biokiertoaloudessa syntyy usein eriä hajallaan ja lukuisissa paikoissa. Erät voivat olla varsin pieniä ja niiden arvo vähäinen. Tästä syystä jäljitettävyys ratkaisujen on oltava edullisia ylläpitää ja niiden on sopeuduttava joustavasti verkostomaiseen toimintaan. Luottamus on toinen tärkeä tekijä jäljitettävyys järjestelmässä. Järjestelmässä on oltava luottamus toimijoiden välillä mm. tiedon oikeasta käytöstä ja tiedon oikeellisuudesta. Toimitusketjussa keskitetyt jäljitettävyysratkaisut eivät ole suositeltavia, koska ne altistavat ongelmille kuten tiedon manipulointi, yksittäisten pisteiden peittäminen jne. Lohkoketju on suhteellisen uusi jakautunut kirjanpitolohkoketju, jonka suosio on kasvanut lukuisine eri alojen sovelluksineen, erityisesti koskien toimitusketjuja. Teknisesti lohkoketju on hajautettu ja jaettu tietokanta, minne tietoa voidaan turvallisesti tallentaa.

Tässä luvussa esitellään esimerkki projekteja, joissa on kehitetty jäljitettävyysratkaisuja erilaisiin käyttökohteisiin. Jäljitettävyudessa oleellista on erien tai tuotteiden tunnistaminen ja datan ja erän tai tuotteen yhdistäminen. Luvun lopussa käsitellään biokiertoalouden hajautetun ja verkostomaisen luonteen aiheuttamia haasteita jäljitettävyydelle ja jäljitettävyystiedon välittämiselle, sekä esitellään muutamia kehittyviä ratkaisuja, joita voitaisiin hyödyntää biokiertoalouden jäljitettävyysaasteiden ratkaisemiseen.

4.2. Esimerkkejä jäljitettävyuden tapaustutkimuksista

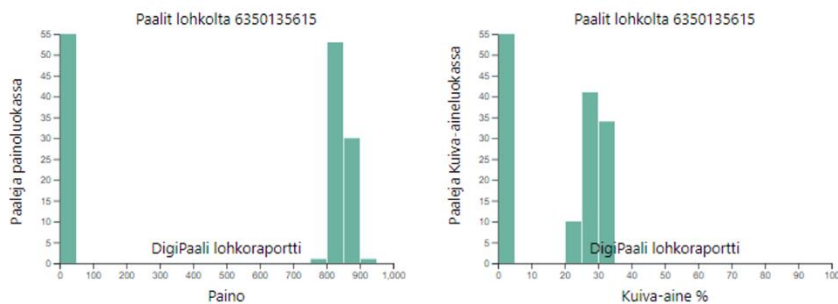
Digipaali - tehokkuutta rehupaalien elinkaaren hallintaan

Hämeen ammattikorkeakoulun ja Luonnonvarakeskuksen digipaalihankkeessa kehitettiin pyöröpaalimiin soveltuva rehupaalien digitaalinen seuranta järjestelmä. Järjestelmä kerää jokaisen paalin paalaustapahtumasta olosuhdetietoa ja tietoa paalin ominaisuuksista. Hankkeessa kehitetty mobiililaitteilla käytettävä käyttöliittymä mahdollistaa paalaustapahtuman reaaliaikaisen seurannan. Käyttöliittymää hyödyntäen nähdään paalien keruureitti ja paalin sijainti pellolla.

Samalla traktori-paalain -yhdistelmän kuljettaja voi lisätä paalin tietoihin lisäinformaatiota koskien säilöntäainetta, mahdollisia epäpuhtauksia rehussa tai muita häiriöitä paalausprosessissa (Pölonen ym.. 2021). Paikkakohtainen viljely on mahdollista, kun käytössä on GPS-paikka- ja satotieto. Digipaaluksessa radiotaajuuksilla toimivan tunnisteiden (RFID) käyttö auttaa paalin seurannassa pellolta ruokintaan. Verrattuna viivakoodiin (EAN) tai ruutukoodiin (QR) RFID-tunniste soveltuu paremmin paalikäyttöön, koska se ei vaadi suoraa näköyhteyttä (Penttilä ym.. 2019). Viljelijälle arvokkain ja käyttökelpoisin tieto on tietokantaan tallentuva lohkoraportti, jossa on pylväsdiagrammina (Kuva 3) peltolohkolta korjattu kuiva-aine- ja paalien painotieto ryhmiin luokiteltuna. Tietokantaan on lisättävissä mm. paalirehun laatutiedot. Vaikka yhteisen kansallisen paalitietokannan perustamisessa ja ylläpidossa on haasteita, se todennäköisesti olisi kuitenkin viljelijöiden, paalainvalmistajien, tutkimuksen ja neuvonnan kannalta hyödyllisin ratkaisu edellyttäen, että tiedon omistajuudesta ja hallinnasta voidaan sopia. Hankkeen lisätietoja on enemmän osoitteessa www.digipaali.fi.

Karkearehupaalissa oleva RFID-tunniste mahdollistaa paalin seurannan eli jäljitettävyyden sen koko elinkaaren ajan – pellolta ruokintaan. Samalla se antaa paikkatiedon rehupaaliin käytetystä kiedontamuovista, joka helpottaa energiakäyttöön soveltuvan jätemuovin jäljitystä. Se on merkittävä etu, kun yksittäiseltä isolta maito- tai lihantuotantotalta voi tulla kiedontamuovia jopa 5 000–10 000 kg vuodessa.

Päivämäärä	Lohko	Hehtaaria	Sisältää	lkm.	Paino yht.	Kuiva-aine yht.	Paino ka.	Kuiva-aine ka	Kuiva-aine paino ka	ha-sato tuore	ha-sato kuiva-aine
18-06-2020 18-06-2020	6350135615	7.56	Rehu	43	34268kg	10492.86kg	796.93kg	30.62%	244.02kg	4532.8kg	1387.94kg
08-08-2020 08-08-2020	6350135615	7.56	Rehu	97	36816kg	9550.07kg	379.55kg	25.94%	98.46kg	4869.84kg	1263.24kg



Kuva 3. Lohkoraportti on nopea ja käytännönläheinen työkalu viljelijälle. Se kertoo yhdellä vilkaisuella peltolohkon sadon määrän ja kuiva-ainepitoisuuden.

ValuedGrainCahain -kokeilu

ValuedGrainCahain experiment oli SmartAgriHubs –projektissa toteutettu lippulaivakokeilu, jossa yritettiin tunnistaa ja tuottaa erityisiä viljaeriä, joissa viljaerän lisäarvo ja erityisyys osoitetaan datalla, jonka avulla viljaerää voidaan markkinoida ja joka voidaan jäljitettävästi viedä aina viljan ostajalle asti.

Kokeilussa viljelijät laativat tavoitteen omalle tuotannollensa, eli selvittivät minkälaisia erikoistuotteita he voivat tuottaa, sekä laativat mittarit, joilla erien erityisyys voidaan osoittaa. Viljelijät seurasivat kasvustojensa kehitystä kasvukauden aikana käyttäen apunaan mittareita, kuten viljan laatua mittaavaa Grainsense mittalaitetta, sekä kaukokartoitusta, kuten Sentinel-satelliiteista

saatavia NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) kartoja. Viljelijät pyrkivät tunnistamaan arvokkaat tuotteet, joko lohkon tasolla tai tarkemmin lohkon sisällä. Kun arvokkaat tuotantoerät oli tunnistettu, oli ne pidettävä erillään muista viljaeristä.

Viljan puinnin ja kuljetusten hallintaa varten käytettiin puinninhallintajärjestelmää. Järjestelmä koostui puimurin ja viljankuljetusvälineiden matkassa kulkevista tablettitietokoneista ja taustajärjestelmästä. Puinninhallintajärjestelmä pystyi opastamaan puimurin kuljettajaa puimaan arvokkaan alueen erillään muista ja pitämään kirjaa, mistä puimuri on puinut ja mihin kuljetusvälineeseen mikäkin puimurin säiliöllinen on purettu. Näin pysyttiin selvillä miltä alueesta puitua viljaa on missäkin kuljetusvälineessä.

Viljaeriä oli seurattava myös viljan käsittelyvaiheessa. Viljaerät oli kuljetusvälineiden lisäksi pysyttävä tunnistamaan myös kuivatuksessa ja varastoinnissa. Tähän kokeilussa hyödynnettiin kuivatuksen ja varastosiilojen hallinta järjestelmää, johon saatiin tieto mitä siirtoeriä pellolta lastattiin kuivuriin ja mihin siloihin ne varastoitiin.

Koska viljaeraan liittyy tietoa ja tietoa syntyy monessa paikassa, viljaeran identiteetti on pystyttävä selvittämään, että erään liittyvä tieto saadaan haettua järjestelmistä. Tätä varten luotiin erillinen viljaerien jäljitettävyyden ja identiteettipalvelu. Jokaiselle viljaerälle luotiin identiteetti, johon kuului tieto mistä aikaisemmista identiteeteistä erä koostuu, missä järjestelmässä identiteetti on luotu ja kenelle asiakkaalle.

Tätä tietoa voitiin käyttää koostettaessa erään kuuluvaa tuotetietoa. Viljaeran myyntiä ja markkinointia varten koottiin lisäarvotieto. Tämä oli mahdollista koska erän identiteettiä voitiin käyttää kaikkien siihen liittyvien tietojen hakemiseen eri järjestelmistä. Näin voitiin erälle laskea esimerkiksi hiilijalanjälki.

ULTRA – yksittäisten tukkien yksilöllinen tunnistaminen

Luonnonvarakeskuksen strategisessa hankkeessa ULTRA (Unique Log Identification Through Artificial Intelligence) tutkittiin koneoppimiseen perustuvia menetelmiä yksittäisen tukin yksilölliseksi tunnistamiseksi puunhankintaketjussa. Tavoitteena oli osoittaa, että syviin konvoluutioverkkoihin perustuvaa konenäköä voitaisiin käyttää toteuttamaan yksittäisten tukkien jäljitettävyyden metsästä sahalle saakka.

Hankkeen skenaariossa hakkuukoneen luodessa tukkia metsässä, kunkin tukin pääty valokuvattaisiin samaan tapaan kuin ihminen valokuvataan rekisteröidessä henkilö kasvotunnistusjärjestelmään. Tukin rekisteröinnin yhteydessä voitaisiin tallettaa alkuperäisen pystypuun sijainti metsäkoneen sijaintitiedon tarkkuuden puitteissa, puun kaatamisen aikaleima, sekä mahdollisesti muuta tietoa, esimerkiksi arvio tukkipuun laadusta. Tukin saapuessa sahalle, se voitaisiin valokuvata uudelleen ja kuvan avulla hakea tietokannasta em. tiedot kyseiselle puukappaleelle.

Tämänkaltaisen jäljitysjärjestelmä edesauttaisi laittomien hakkuiden suitsimista, vähentäisi sahaamista odottavien puupinojen pilaantumista, sekä mahdollistaisi mallien kehittämisen runkojen katkonnan optimoimiseksi yhdistämällä tukin päätykuvan metsässä ja tukin tarkat sahalla määritetyt ominaisuudet. Seurauksena voisi olla puunhankinnan materiaalitehokkuuden lisääminen ja tukkipuun haluttavuuden kasvattaminen, jotka osaltaan parantaisivat metsien käytön ilmastovaikutuksia.

Tutkimus osoitti, että ehdotettu syviin neuroverkkoihin perustuva lähestymistapa vaikuttaa luopaavalta (Holmström ym.. 2022). Tunnistustarkkuus pienenee rekisteröityjen tukkien lukumäärän kasvaessa, mutta tämän ongelman hallitsemiseksi on äskettäin ehdotettu useita menetelmiä.

4.3. Datan ja erän yhdistäminen

Jotta tuotteita pystytään jäljittämään, on ne pystyttävä yksilöimään. Yksilöityihin tuotteisiin voidaan myös lisätä informaatiota. Tuotteeseen yhdistettyä dataa voidaan hyödyntää mm. osoittamaan tuotteen ominaisuuksia, kuten laatua, käsittelyhistoriaa tai alkuperää. Näitä voidaan tarvita asiakkaan vaatimusten tai viranomaisvaatimusten osoittamiseen. Tiedolla voidaan myös mahdollistaa uusia liiketoimintamalleja, kuten digitaalista kauppaa, toimitusverkostojen ja -virtojen hallintaa ja uusia tietoon perustuvia tuotteita.

Yleensä datan ja erän yhdistäminen tehdään yksilöimällä erälle tai tuotteelle tunniste ja viemällä tunniste tietojärjestelmään, jossa tuote voidaan yhdistää useisiin informaation lähteisiin. On olemassa myös tekniikoita, joissa tuotteeseen liittyvä informaatio voi kulkea tuotteen mukana, esimerkiksi tallennettuna tunnisteeseen.

Jotta tunniste saadaan kiinni tuotteeseen, on tuotteen oltava sellainen, että siihen voi tunnisteeseen kiinnittää. Esimerkiksi Digipaali -hankkeessa tunnisteita voitiin kiinnittää suoraan paaleihin (Penttilä ym.. 2019). Valued Grain Chain-kokeilussa taas seurattiin bulkkituotetta, jolloin tunnisteeseen liittäminen irtotavaraan ei ollut mahdollista. Valued Grain Chain -kokeilussa tiedon ja erän yhdistäminen toteutettiin seuraamalla säiliöitä ja varastoja, joihin tuote lastattiin. Pitämällä kirjaa kaikkien varastojen ja säiliöiden lastauksista ja puruista oli mahdollista pysyä selvillä mitä materiaalia missäkin varastossa kulloinkin oli ja mistä se koostui. ULTRA-hankkeessa puolestaan tutkittiin mahdollisuutta käyttää tuotteen valokuvaa, eli tuotteen yksilöllistä ominaisuutta, suoraan tuotteen tunnisteena.

Samaa tuotteiden ja datan yhdistämisen logiikkaa voidaan soveltaa myös muihin biokiertotalouden tuotteisiin. Seuraavia tekniikoita voidaan käyttää yksittäiskappalemateriaalien, -palettien tai -säiliöiden tunnistamiseen.

Viivakoodi

Viivakoodi on QR-koodin ohella informaation esitysmuoto, jossa tieto koodataan optiseen ko-neellisesti luettavaan muotoon. Viivakoodi on keksintönä jo vanha, patentoitu 1952. Viivakoodoja käytetään yleisesti tuotepakkauksissa ja yritysten välisessä logistiikassa. EAN on euroop-palainen viivakoodistandardi, joka on yleisin Suomessa käytetty viivakoodistandardi.

Perinteinen viivakoodi on lineaarinen, joka koostuu peräkkäin olevista mustista raidoista ja valkoisista raitojen väleistä. Lineaarisen viivakoodin rinnalle on kehitetty useita kaksiulotteisia koo-deja, joissa pienelle alueelle saadaan mahtumaan enemmän tietoa.

Viivakoodimuotoja on useita ja esimerkkinä CODE 39, GS1 128 tai DataMatrix.

QR-koodi

QR-koodi eli ruutukoodi on kaksiulotteinen kuviokoodi, johon on koodattu informaatiota. Se on kehitetty 1994. QR-koodia voi lukea matkapuhelimella joko käyttäjärjestelmään rakennetulla

lukuominaisuudella tai erillisellä sovelluksella. Koodin lukemisen jälkeen puhelin toimii sen sisältämän tiedon lukemisen mukaan, esimerkiksi avaten tietyn www-sivun.

RFID-teknologia

Radiotaajuuksilla toimiva RFID-tunniste on vaihtoehto viivakoodin käytölle. Optisen lukemisen sijaan tunnisteiden tieto luetaan radiotaajuisesti. Tunnisteiden etuina ovat lukemisen nopeus, massaluonta ja yksittäisen tuotteen tunnistaminen sarjanumerolla. Kun RFID-tunniste luetaan, mobiililaitteen sovellus hakee luetun tuotteen tiedot palvelimelta (laajemmin tietojärjestelmästä) sarjanumeron perusteella.

UUID (Universally Unique Identifier) tai GUID (Globally Unique Identifier)

Tunnisteiden luominen ja yksilöllisyys on tärkeää, jotta jäljitettävyysojärjestelmä pystyy toimimaan. Usein tuotteiden tunnisteiden luontiin on kaksi lähestymistapaa: keskitetty ja hajautettu. Keskitetyssä tavassa on luotu yhteiset säännöt, joilla tunnisteet luodaan tai keskitetty järjestelmä, josta tunnisteet annetaan.

Esimerkkinä keskitetystä järjestelmästä voidaan käyttää, vaikka tuotteista kaupassa luettavaa EAN-viivakoodia. Viivakoodi rakentuu maatunnisteesta, valmistajan tunnisteesta ja tuotteen tunnisteesta. Jotta maatunnisteiden kanssa ei olisi ristiriitaa, on jossain sovittava yhtenäinen nimeäminen maille. Jotta maan sisällä eri valmistajien kesken ei tulisi ristiriitaa, on kussakin maassa tehtävä järjestely, miten valmistajille annetaan omat tunnisteet. Tämän jälkeen valmistajat pystyisivät itse nimeämään tuotteensa. Tietenkin, jotta kauppiat tietäisivät tuotteen, pitäisi valmistajien tunnisteet vielä julkaista.

Biotalous ja biokiertoaloudessa syntyy usein eriä hajallaan ja lukuisissa paikoissa. Erät voivat olla varsin pieniä ja niiden arvo vähäinen. Tällöin keskitetyt ratkaisut eivät välttämättä ole mahdollisia tai kannattavia tunnisteiden luomiseen. Hajautetussa järjestelmässä on pystyttävä luomaan paljon tunnisteita riippumatta toisistaan, siten että tunnisteiden sekoittumisesta ei ole vaaraa. Tällöin on usein käytetty UUID (Universally Unique Identifier) tai GUID (Globally Unique Identifier) -tunnisteita. Nämä ovat tietotekniikassa käytettyjä tunnisteita, jotka luodaan satunnaisalgoritmeilla. Tunnisteet ovat 32 merkkiä, tai 128 bittiä pitkiä ja kahden samanlaisen tunnisteiden luominen on tähtitieteellisen epätodennäköistä. Hajautetussakin järjestelmissä on vielä hoidettava tunnisteiden julkaiseminen, jos niitä on tarpeen välittää julkisesti.

4.4. Jäljitettävyyden- ja laatu-tiedon digitaalinen välittäminen

Kun tuotteista käydään kauppaa, tarvitaan yritysten välillä tiedonvaihtoa itse tuotteesta. Yritysten välistä tiedonvaihtoa on ryhdytty sähköistämään samoihin aikoihin, kun toimistoihin ilmestyivät ensimmäiset tietokoneet. Ensimmäinen merkittävä sähköisen tiedonsiirron (EDI Electronic Data Interchange) standardointi onkin jo vuonna 1979 kehitetty ANSI X12, jonka tarkoituksena oli korvata yritysten välillä tehtävää faxien lähettelyä.

Bio- ja kiertoalouden tuote-erien välisessä kaupassa on tarve välittää monenlaista tietoa. Usein ostajalla on tarve tietää mm. erien laatuun ja ominaisuuksiin liittyvää tietoa, kuten erän koostumus-, varastointi- ja kuljetustietoja. Tietovaatimukset vaihtelevat eri sektorilla kovastikin, mutta tiettyjen tuotteiden kohdalla tietosisällöt ovat hyvinkin vakiintuneita, esimerkiksi viljan tai raakapuun osalta. Kiertoaloudessa tulee esiin usein myös pieniä ja vakiintumattomia eriä.

Suuret ja vakiintuneet toimitusketjut, eli niin sanotut vertikaalit, ovat vuosien saatossa vakiinnuttaneet toimintatapansa ja rakentaneet järjestelmiä tiedon välitykseen. Järjestelmät on toteutettu yritysten tietojärjestelmien välille, yleensä markkinoiden suurten toimijoiden johdolla. Suurille ja globaaleille markkinoille on onnistuttu toteuttamaan varsin pitkälle menevää ja globaalia standardointia kaupan helpottamiseksi. Tästä esimerkkinä mm. GS1 Supply Chain Management standardisarja.

GS1 on puolueeton, voittoa tavoittelematon maailmanlaajuinen organisaatio, joka kehittää ja ylläpitää standardeja, joiden avulla auttaa asiakkaitaan toimitusketjun tehostamisessa ja hallinnassa. Suomessa Keskuskauppakamarin tytäryhtiö on GS1 Finland. GS1-tunniste on joka päivä mukana yli 6 miljardin kauppatahtuman kirjaamisessa ja välittämisessä ja GS1 onkin maailman laajimmin käytetty toimitusketjun standardisointisratkaisu. GS1 tunnetaan parhaiten EAN/UPC -viivakoodista. Se on helpottanut päivittäistavarakaupan rahastustapahtumia yli 40 vuoden ajan. EPC global on osa GS1 yhteisöä ja se tuottaa standardeja RFID-tekniikan käyttöä varten huolehtien yhteensopivuudesta viivakoodein esitettäviin tietoihin. RFID:n avulla saadaan logistiikkaan läpinäkyvyyttä ja tehokkuutta kaikille toimijoille.

Data-avaruus

Biotalous sivuvirtoja syntyy monissa paikoissa ja varsin heterogeenisiltä tuottajilta. Samoin hankkijat voivat olla hyvin monenlaisia. Sivuvirtamateriaalin hankinta saattaa olla hyvin verkostomaista.

Ratkaisut, jotka on kehitetty suurten toimijoiden vakiintuneisiin toimitusketjuihin, eivät välttämättä toimi. Datan luovuttaminen ja käyttäminen voi myös olla hyvin herkkää ja keskeisillä toimijoilla voi olla hallitseva asema datan käytössä ja saannissa.

EU:ssa onkin herännyt keskustelu datatalouden reiluudesta ja datan tuottajan oikeuksista. Tätä heijastelee mm. EU:n komission data-asetusehdotus (Data Act). Vaikka ehdotus on saanut kritiikkiä, korostaa se kuitenkin datan tuottajan mahdollisuuksia hallita datan käyttöönsä. Asetus voisi myös parantaa pienten toimijoiden vaikutusmahdollisuuksia businesssekosysteemeissä.

Asetusluonnos tunnistaa eri sektoreille muodostuvat data-avaruudet (data-space). Nämä ovat eri sektoreille rakentuvia dataekosysteemejä, joissa on omat toimintasääntönsä ja käytänteensä, eli federaatio. Data-avaruuksien keskeisinä komponentteina ovat federoinnin komponentit, mm. identiteettien ja luottamuksen hallintaan sekä työkaluja verkostoon liittymiseen ja dataan pääsyn sekä sopimusten hallintaan. Data-avaruuksia määrittelee kaksi merkittävää yhteisöä, Gaia-X ja IDSA (International Data-Spaces association). Molemmista yhteisöissä tutkimuksella on keskeinen rooli.

Data-avaruuden soveltamisella olisi suuri potentiaalinen rooli bio- ja kiertotalouden dataratkaisuiden rakentamisessa, sillä se sallii hyvin joustavan verkostomaisen kehittämisen. Myös mikäli paikalliset ekosysteemit sallivat joustavan federoinnin, voisi pienille toimijoille soveliaiden ratkaisuiden kehittäminen olla joustavaa.

Lohkoketju tarjontaketjun hallinnassa

Lohkoketjun voi ajatella hajautettuna julkisena tietokantana. Lohkoketjun nimi tulee siitä, että siihen tallennetaan tieto lohkoina, eli isompina kokonaisuuksina. Yleensä lohkoketjut suunnitellaan luomaan uusi lohko tietyin kiintein väliajoin. Tällöin lohkoissa tallennetaan siis kerralla kaikki väliaikana tapahtuneet merkinnät. Lohko sisältää tiivisteen edellisestä lohkoista ja näin kaikki lohkoketjuun tallennettu tieto on saatavissa viimeisimmästä lohkoista.

Lohkoketjun tekniikassa toisilleen vieraat toimijat voivat yhdessä tuottaa ja ylläpitää tietokantoja hajautetusti. Lohkoketju toteutetaan listana tai lokina transaktioista, joka jaetaan osallistujien kesken. Siten sen voi todentaa monesta lähteestä ja koostaa sen perusteella tietokannan. Tekniikan ansiosta ketjun jäsenet voivat luottaa toisiinsa, vaikka eivät tuntisi toisiaan. Ruuan ja maatalouden tarjontaketjuissa käytetään lohkoketjuratkaisuja. Teknisesti lohkoketju on hajautettu ja jaettu tietokanta, missä informaatio voidaan turvallisesti tallentaa. Yritykset ovat jo liittäneet lohkoketjuja tarjontaketjuun parantaakseen eri tapahtumien läpinäkyvyyttä. (Sunny ym.. 2020).

Yhtenä sovelluskohteena lohkoketjutekniikalle on pidetty jäljitettävyyttä. Lohkoketjuteknologia on biotalouden ja biokiertotalouden kannalta mielenkiintoinen, koska tekniikalla on mahdollista toteuttaa hyvin moninaisen ja verkostomaisten toimitusketjujen tiedonvaihtoa avoimesti ja datan oikeellisuus varmistaen. Tekniikan hyvinä puolina pidetään hajautettua ja avointa järjestelmää, johon moninaiset toimijat pystyvät liittymään pienellä teknologisella panostuksella, datan muuttumattomuuden varmistamista, joustavaa räätälöintiä datan toimituksessa ja mahdollisuutta rakentaa verkostoja vapaasti.

Yhdysvaltalainen Walmart-kauppaketju selvitti Yhdysvalloissa myytävien viipaloitujen mangojen jäljitettävyyttä. Yhtiön oli mahdollista selvittää tuotteen alkuperä eri järjestelmistä ja pape-reitta seuraten seitsemässä päivässä. Yhtiön tekemässä kokeilussa Hyperledger Fabric lohkoketjujärjestelmällä, jäljitys pystyttiin tekemään alle kolmessa sekunnissa. Ketjun haasteena oli toimitusketjun laajuus. Mangoja kasvatti valtava joukko viljelijöitä ja niitä prosessoi ja pakkasi vastaavasti suuri joukko pienehköjä elintarvikeyrityksiä. Lohkoketjuteknologian hyödyntäminen mahdollisti monien toimijoiden kokoamisen yhteen, ilman että tarvittiin moninaista järjestelmä integraatiota kaikkien toimijoiden kanssa (Hyperledger Foundation 2022). Lohkoketjua on sovellettu myös esimerkiksi soijapapujen jäljittämiseen Ethereumin smart contracteilla (Sallah et.al. 2019), sekä oluen raaka-aineiden seurantaan Ruotsissa (IBM 2019).

Lohkoketjun toteuttamiseen on useita vaihtoehtoja. Lohkoketjun voi toteuttaa yksityisesti, jolloin sen käyttö- ja kirjoitusoikeudet ovat rajatut tai sen voi toteuttaa julkisesti, jolloin osallistujien oikeudet ja roolit määritellään esimerkiksi verkostoon osallistumisen tai panostamisen kautta. Monet lohkoketjun ominaisuudet voidaan toteuttaa myös muutoin, esimerkiksi käyttämällä niin sanottuja perinteisiä tekniikoita. Se mikä tekee lohkoketjusta mielenkiintoisen, on se, miten lohkoketju voi tarjota uusia toimintamalleja ja rakentaa ympärilleen uudenlaista ekosysteemiä, verrattuna perinteisiin tapoihin. Esimerkiksi se, että lohkoketju voi toimia hajautetusti ilman riippuvuutta kenestäkään yksittäisestä toimijasta tai kuinka järjestelmän rahoitus voidaan hajauttaa ja järjestää ulkoisten sijoittajien ja ulkoisen markkinan kautta tarjoaa kokonaan uusia mahdollisuuksia liiketoimintamalleille ja toiminnan rakentamiselle.

Merkittävä muutos perinteisiin vertikaaleihin verrattuna lohkoketjuissa on se, miten sen ympärille voidaan rakentaa uusia verkostoja ja toimintaa. Kiertotaloudessa ja sivuvirtojen hyödyntämisessä toimijat ja erät ovat usein pieniä, jolloin toimintaa tukevan teknisen ekosysteemin olisi oltava sovelias pienten ja hyvin verkostomaisesti toimivien toimijoiden tarpeisiin. Joustavuutta tarvitaan erityisesti, kun toimintaa aloitetaan ja toimijat vielä etsivät toisiansa. Myöhemmin toiminnassa voidaan siirtyä erikoistuneempiin ratkaisuihin, kun yhteistyö vakiintuu. Lohkoketjuihin perustuvat ratkaisut ovat myös yhteensovitettavissa data-space mallien ja ratkaisujen kanssa.

Lohkoketjujen yhteydessä puhutaan usein kryptovaluutoista tai kryptokolikoista. Tunnetuin lohkoketjusovellus onkin virtuaalivaluutta Bitcoin. Bitcoinissa koko lohkoketjun idea on pitää kirjaa syntyvistä kolikoista ja niiden siirroista, jotka varmennetaan kryptografisesti. Kolikoilla tai oikeammin rahakkeilla voi lohkoketjuratkaisuiden yhteydessä olla useita rooleja, niillä voidaan

rahoittaa verkoston toimintaa, kuten esimerkiksi Ethereum -lohkoketjussa, niillä voidaan osiottaa osallisuutta, ja siten päätösvaltaa, verkostossa, kuten Cardano-lohkoketjussa tai vakuuttaa erilaisia asioita, kuten LinkChain-ketjussa. Rahakkeet siis mahdollistavat uusien ja joustavien toimintamallien rakentamista verrattuna perinteisiin tekniikoihin.

Lohkoketjun tekee mielenkiintoiseksi se, että se mahdollistaa uusien toimintamallien rakentamisen verkostomaisesti. Suomen toimintaympäristössä moni toimitusketju on hyvin keskittynyt ja toimijoiden välillä on epätasa-arvoa ja epäluottamusta. Iso kysymys Suomen toimintaympäristössä on myös keskitettyjen järjestelmien toteutus, ylläpito ja kustannusten jako. Lohkoketjujen mahdollistamat uudet toimintamallit voisivat tarjota uusia ratkaisuja näihin ongelmiin. Tähän toki tarvitaan tutkimusta teknologian soveltamisesta, mutta myös toimintamallien muuttamiseen ja rakentamiseen.

Ydinviestit

- Biokiertotalouden jäljitettävyyssratkaisujen tulee soveltua biokiertotalouden hajautuneeseen ja verkostomaisen toimintaympäristöön
- Jäljitettävyyssratkaisuissa oleellista on erien tai tuotteiden yksilöiminen ja tunnistaminen
- Kun erät voidaan tunnistaa, voidaan erät yhdistää digitaaliseen tietoon, joka antaa uusia mahdollisuuksia rakentaa jäljitettävyyden palveluita ja lisäarvoa

Viitteet

GS1 Finland. <https://gs1.fi/fi>

Holmström, E., Raatevaara, A., Pohjankukka, J., Korpunen, H., & Uusitalo, J. (2022). Tree log identification using deep convolutional neural networks. Valmistelussa.

Hyperledger Foudation 2022, Case Study: How Walmart brought unprecedented transparency to the food supply chain with Hyperledger Fabric, <https://www.hyperledger.org/learn/publications/walmart-case-study>

IBM 2021, Blockchain collaboration in the food industry, <https://www.ibm.com/blogs/nordic-msp/blockchain-in-the-food-industry/>

Penttilä, K., Suokannas, A., & Pölönen, I. (2019). Verification of RFID System Usability in Silage Bale Life Cycle Management. *Journal of Agricultural Science and Technology A(9)*: 120–130.

Pölönen, I.; Suokannas, A.; Juntunen, A. 2021. Cloud-Based Approach for Tracking and Monitoring of Hay Bales in Smart Agriculture. *Technology innovation management review* 11(2): 17–23.

Salah, K., Nizamuddin, N., Jayaraman, R. & Omar, M. 2019. Blockchain-Based Soybean Traceability in Agricultural Supply Chain, *IEEE Access* 7: 73295-73305. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2918000.

Sunny, J., Undralla, N. & Pillai, V.M. 2020. Supply chain transparency through blockchain-based traceability: An overview with demonstration. *Computers & Industrial Engineering*, 150, 106895.

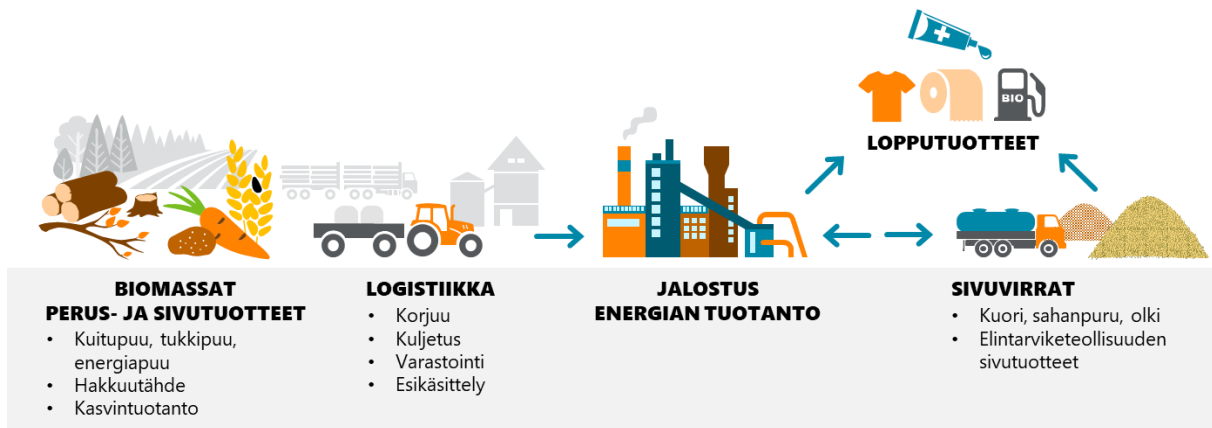
5. Biomassojen ja niiden jalostuksen sivutuotteiden varastointi sekä laadun hallinta

Jari Lindblad, Johanna Routa, Hanna Brännström, Eila Järvenpää ja Pekka Saranpää

5.1. Johdanto

Raaka-aineen laatu (ISO-9000-standardi) tarkoittaa niitä ominaisuuksia, jotka vaikuttavat lopputuotteelle asetettuihin vaatimuksiin. Erilaiset laatuvaatimukset merkitsevät monien seikkojen huomioonottamista ja mittareiden kirjoa. Biomassojen logistiikka koostuu korjuusta, varastoinnista, esikäsittelystä ja kuljetuksesta. Niistä aiheutuvat kustannukset rajoittavat biomassan käyttöä raaka-aineena ja energiana. Logistiikassa on huomioitava toimitettavan biomassan laadun ylläpitäminen ja parantaminen riippuen loppukäytöstä. Biokiertoisuus merkitsee olemassa olevien ja uusien raaka-ainelähteiden entistä tehokkaampaa hyödyntämistä ja kaskadikäytön huomioonottamista. Tavoitteena on edistää resurssitehokkuutta. Tämä asettaa logistiikalle uusia haasteita, jotka liittyvät pienten biomassakeräimien keräämiseen, esikäsittelyyn, paikkatiedon hyödyntämiseen ja kuljetusetäisyyksien minimoimiseen, päästöjen vähentämiseen sekä kausivaihtelun huomioon ottamiseen.

Tässä luvussa tarkastellaan maa- ja metsätalouden biomassojen ja niiden jalostamisessa syntyvien pää- ja sivutuotteiden laatuun vaikuttavia tekijöitä. Sivutuotteilla tarkoitetaan tässä yhteydessä nykyisissä tuotantoprosesseissa (sekä alkutuotanto että jalostus) syntyviä raaka-aineita, joita voidaan käyttää uusien tuotteiden valmistamiseen (Kuva 4). Tarkastelu ulottuu myös raaka-aineisiin, joita ei vielä hyödynnetä missään tuotantoprosessissa.



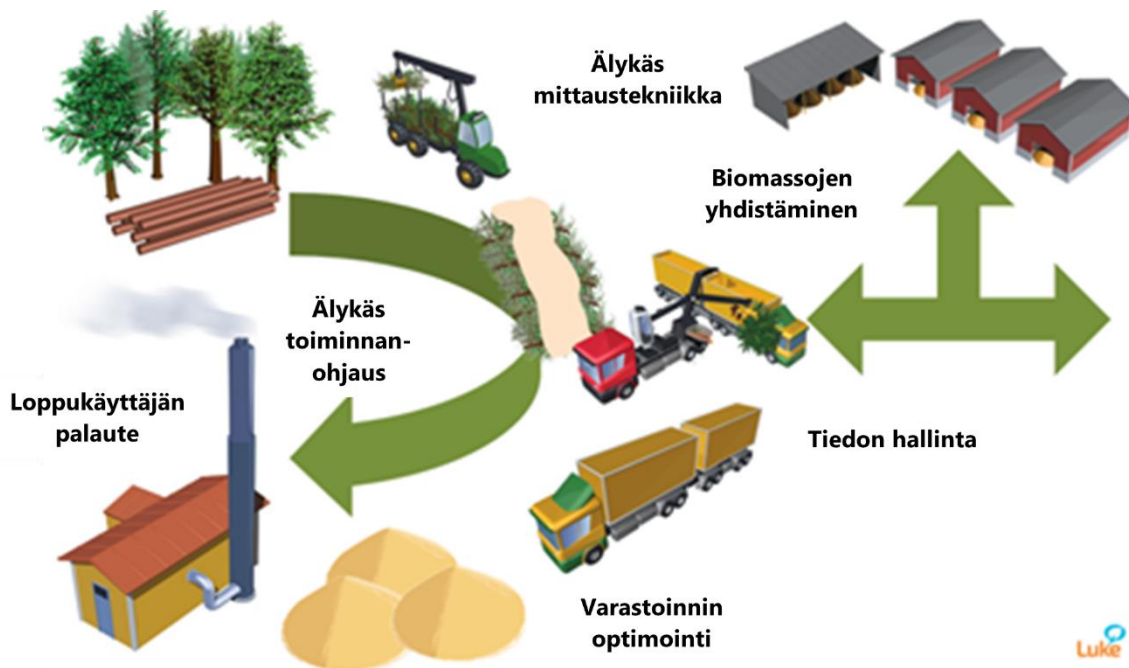
Kuva 4. Logistiikka (korjuu, kuljetus, varastointi ja esikäsittely) määrää erilaisten biomassojen ja sivutuotteiden laadun sekä hyödynnettävyyden.

5.2. Laadun käsite ja sen arviointi

Laatua on totuttu tarkastelemaan varsinkin tuotanto- ja tuotokeskeisistä näkökulmista, mutta myös arvo-, asiakas- ja ympäristökeskeisistä näkökulmista. Esimerkiksi puumassa- ja puutuoteteollisuuden käyttämien perustuotteiden, siis raakapuun, laatuvaatimukset ovat usein pitkälti tuotantoperusteisia siten, että puutavara joko täyttää tai ei täytä sen valmistamiselle asetettuja vaatimuksia. Toisaalta ollaan myös valmiita hyväksymään tietty virheaste, eli "raakki".

Vaatimukset pyrkivät olemaan objektiivisia, mutta niiden aito mitattavuus voi olla haastavaa. Puutavarassa käytetään myös tuote- ja arvoperusteisia laatuvaatimuksia silloin, kun perustuotteet ovat arvokkaita tai niistä prosessoitavissa tuotteissa tavoitellaan parempaa arvonlisää. Tällöin laadun määrittämiseen käytetään myös objektiivisesti mitattavia ominaisuuksia kuten sydänpuun osuus, puuaineen tiheys, oksien sijainti ja muut vastaavat. Perustuotteiden laatua ei käytännössä ohjata niiden hankinta- ja toimitusprosessissa, vaan kysymys on pikemmin perustuotteiden laatuominaisuuksien mittauksesta, lajittelusta ja prosessiin ohjauksesta tuotantopaikalla. Yleisesti ottaen tiedon hyödyntämistä ja toiminnanohjausta tehostavilla ratkaisuilla voidaan vaikuttaa laatuun (Kuva 5).

Elintarvikkeiksi tai niiden valmistamiseksi kasvatettavilla kasveilla, eli perustuotteilla on tuotantokriteerit, joilla taataan sadon elintarvikekelpoisuus. Näitä ovat mm. lajikesiementen ja taimien hyväksyntä. Myös käytetyllä kasteluvedellä on omat kriteerinsä sekä lannoitteilla ja torjunta-aineilla omat hyväksyntämenettelynsä. Näiden kriteerien noudattamista valvoo Ruokavirasto. Kasteluveden ja kemikaalien laatua tarkkaillaan mahdollisten haitallisten ominaisuuksien suhteen. Kemikaalien ja homekasvuston aiheuttamille kemiallisille jäämille on omat mittaussuunnitelmiensä, esimerkiksi myllyt valvovat varastoitavan, prosessoitavaksi hankittavan viljan laatua tarkistamalla tilakuivaamoista kuljetettavan kuorman laatua. Lisäksi laatua valvotaan jo kasvukauden aikana ainakin tiettyyn tarkoitukseen kasvatettavien viljalajien sopimusviljelyksillä. Raaka-aineista jää aina osa sivujakeeksikin luettavaa kasvubiomassaa kasvupaikalle, peltokasvien tuotannossa esim. naatteja, korsia ja varsia, jotka päätyvät maankäynnössä kasvualustaan. Tässä luvussa niiden merkitystä ei käsitellä, vaan keskitytään alkutuotannosta elintarvikeprosessiin tai suoraan kauppaan päätyvään osaan, ns. lisäarvokäyttöön. Viljojen olkien käyttöä ja logistiikkaa käsitellään luvussa 6. Puutarhatuotannon sivujakeina muodostuu ja erityisesti kasvihuoneista olisi kausittain kerättävissä merkittäviä määriä biomassaa, jolle on Luonnonvarakeskuksessa kehitetty käyttökohteita mm. kuituna ja se voisi toimia myös uusiutuvana ravinteiden lähteenä lannoitteissa.



Kuva 5. Biomassalogistiikka vaatii monenlaista osaamista ja yhteispeliä. Loppukäyttäjän vaatimukset ulottuvat koko ketjuun.

5.3. Laadun mittarit ja laatu tiedon käyttö

Laatuominaisuuksien perusteella voidaan tehdä päätelmiä raaka-aineiden kulutuksesta tuotantoprosessissa, niiden käyttäytymisestä tuotantoprosessissa ja vaikutuksesta lopputuotteiden ominaisuuksiin. Eri laatuominaisuuksien painoarvo voi muuttua sen mukaan, mitä valmistusprosessia tuotannossa käytetään, minkä tuotteiden valmistamiseen perustuotteita käytetään tai miten asiakas arvottaa laatuominaisuudet.

Laatuominaisuuksien mittarit alkutuotannossa voivat olla luonteeltaan makro- tai mikrotason suureita. Makrotason suureet ilmaisevat joko suoraan tiettyä laatuominaisuutta (esimerkiksi puutavarapölkkyjen oksakiehkuroiden välimatka) tai selittävät muita laatuominaisuuksia, esimerkiksi puuaineen tiheys, joka edelleen korreloi puun rakenteellisten ominaisuuksien kanssa. Vastaavasti mikrotason suureet liittyvät kemialliseen koostumukseen ja solurakenteeseen, jotka ovat tyypillisiä myös elintarvikkeiden raaka-aineiden kriteeristöissä. Alkutuotannon pää- ja sivutuotteiden laatuominaisuuksilla ei ole yleistä arvoasteikkoa tai laadun määrittäytapaa. Jotta pää- ja sivutuotteiden laadun tarkastelu voidaan ulottaa myös uusiin tuotteisiin ja tuotantoprosesseihin, pitää tuntea biomassojen ominaisuudet, niiden luontainen taso ja vaihtelu.

Biomassojen ominaisuuksista ja niistä valmistettujen tuotteiden laatuun vaikuttavista tekijöistä on olemassa runsaasti tietoa. Esimerkkinä mainittakoon puuraaka-ainetutkimus, jossa on tehty empiirisiin tutkimusaineistoihin perustuvaa, ja yhä ajankohtaista, puun ominaisuuksien tutkimusta jo 1960-luvulla (esimerkiksi Hakkila 1966) ja edelleen nykypäivään saakka (esimerkiksi Hakkila ym. 2020, Routa ym.. 2020, 2021). Tietopohjaa laajentavat pitkät tutkimusaineistojen aikasarjat ja tilastointi. Esimerkiksi vuodesta 1921 toteutetun Valtakunnan metsien inventoinnin tuottaman metsävaratiedon ja muun muassa metsiköiden kehitysluokkarakenteen muutosten perusteella voidaan tehdä arvioita puutavaran ominaisuuksien muutoksista tulevaisuudessa. Myös peltokasveina kasvatettavista ruokakasveista, kuten viljoista, on samaan tapaan vuosien mittaan kertynyttä aineistoa. Luonnonvarakeskus tilastoi vuosittain vihannes- hedelmä- ja marjantuotannon määrät (<https://www.luke.fi/fi/tilastot/puutarhatilastot/puutarhatilastot-2021>) – toisaalta näissä ruokakasveissa määrän lisäksi lajikekohtainen vaihtelu on usein merkittävä kemialliseen laatuun sekä satomäärään vaikuttava tekijä, joka vaikuttaa myös vuosittaiseen sivutuotteiksi päätyvän kasvibiomassan määrään. Merkittävän osan pelto- ja puutarhakasvien hyödyntämättömästä kasvibiomassasta muodostaa kuitenkin ei-syötävät kasvinosat (esim. Kymäläinen ja Suojala-Ahlfors 2020, e-julkaisu). Myymättä jääneiden syötävien kasvinosien määrä on siihen verrattuna hyvin pieni, vaikka sen taloudellinen arvo on merkittävä.

Biomassojen ominaisuuksien tuntemus ja tutkimus mahdollistavat tarkasteluiden ulottamisen myös teollisesti hyödyntämättömiin sivutuotteisiin. Tällaisia ovat esimerkiksi puutuoteteollisuuden sivutuotteena syntyvien kuoren ja purun hyödyntäminen uusissa käyttötarkoituksissa energiakäytön lisäksi. Elintarvikeprosessien sivutuotteiden ja biomassojen hyödyntämisessä käytetään nykyisessä EU-kriteeristöissäkin jätehierarkiaa (käänteinen arvohierarkia), eli parempilaatuiset jakeet pyritään ensisijaisesti ohjaamaan ruokakäyttöön tai muuhun lisäarvokäyttöön (mm. Kahala ym.. 2020). Elintarvikekäyttöön kelpaamattomista pelto- ja puutarhakasvibiomassoista suurin osa päätyy maanparanne- ja ravinnekäyttöön (Lehto ym.. 2018) tai biokaasun tuotantoon, mutta myös karjan ruokintaan. Kun nämä biomassat sijaitsevat maantieteellisesti hajallaan, sopiva jatkojalostuspaikka lisäarvokäyttöön voi olla kaukana. Tällöin muu käyttö on usein logistisesti ja taloudellisesti parempi. Ennen kuljetusta biomassan laatua voidaan parantaa esim. poistamalla ylimääräistä vettä, säilömällä kemiallisella tai mikrobiologisella prosessilla (Rinne ym.. 2019; Franco ym.. 2019). Säilöntää käytetään lähinnä rehukäyttökohteissa. Tyypillinen kuljetusmatka, joka vielä koetaan taloudellisesti siedettäväksi, esimerkiksi biokaasun tuotantopaikkaan on noin 60–70 km, mikäli prosessista saatavat kierrätysravinteet päätyvät

takaisin sopimusviljelijöiden peltolohkoille. Käytännössä kustannukset eivät jakaudu kovin tasa-arvoisesti hyödyntämisketjun eri toimijoiden kesken.

5.4. Biomassan laadun muutokset varastoinnissa

Ehkä tyypillisin tilanne, jossa perustuotteen laatua pystytään parantamaan varastoinnilla, on metsäenergian varastointi ennen polttoa. Laadun parantaminen koskee tässä lähinnä raaka-aineen sisältämää kosteutta ja edelleen tehollista energiasisältöä – muut laatuominaisuudet, kuten uuteainekoostumus saattavat huonontua varastoinnin aikana. Metsäenergian kosteusennustemalleja on kehitetty useissa tutkimusprojekteissa ja -organisaatioissa, sekä Suomessa että ulkomailla, 2000-luvun aikana (esim. Routa ym.. 2015, 2016, Lindblad ym.. 2018). Mallinnuksessa on keskitytty tiettyihin puutavaralajeihin (ranka, latvusmassa, kokopuu) ja hankintaketjun vaiheisiin (palsta- tai tienvarsivarastointi). Visiona on ollut metsäenergiavarastojen kosteuden ennustaminen tarkasteluajankohdan ja varastointiajan sekä mahdollisesti varastointipaikan säähavaintotietojen perusteella. Kosteusennustetta käytettäisiin metsäenergiavarastojen käyttöönoton ohjauksessa.

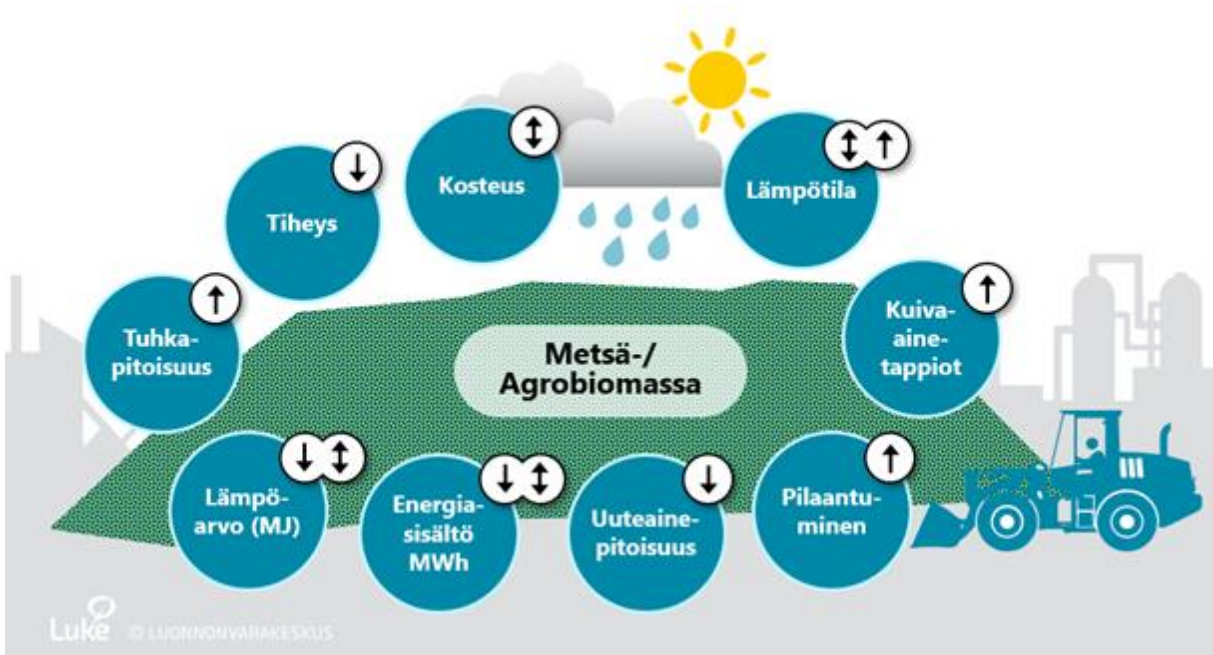
Kosteusennustemallien pohjalta on laadittu metsäenergian kaupalliseen mittaukseen liittyviä painomittausmenetelmiä. Huomattavasti vähemmän malleja on pystytty hyödyntämään metsäenergiavarastojen käytön ja logistiikan ohjauksessa. Syyt hitaaseen edistymiseen ennustemallien käytössä metsäenergian laadun hallinnassa liittyvät yhtäältä mallien käytön edellyttämiin järjestelmävaatimuksiin ja muihin teknisluonteisiin vaatimuksiin, mutta toisaalta puuteisiin mallien käytettävyydessä, soveltuvuudessa ja luotettavuudessa.

Biomassojen varastoinnissa syntyy väistämättä kuiva-ainetappioita, joista aiheutuu merkittäviä taloudellisia tappioita toimitusketjussa. Kuiva-ainetappio on orgaanisen aineen häviämistä hydrolyysin, lahoamisen, kompostoitumisen tai muiden hitaiden palamisreaktioiden seurauksena (Kuva 6). Kuiva-ainetappioita, niiden taloudellista merkitystä ja ehkäisemistä metsäbiomassoilla on tutkittu useissa projekteissa (Routa ym.. 2015, 2018, Prinz ym.. 2022, Anerud ym.. 2020, 2021, 2022). Tyypillisesti kuiva-ainetappiot ovat metsähakkeella 0,5–4 prosenttia ja kuorella 3–5 prosenttia kuukaudessa.

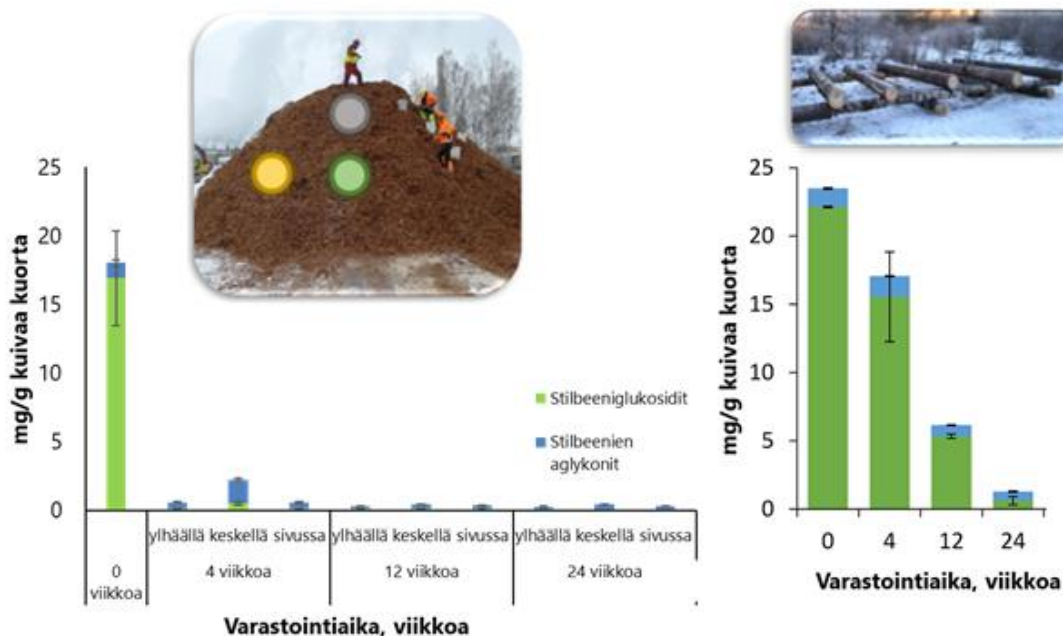
Toimitusketju metsästä tehtaalle vaikuttaa niin puun, kuoren kuin muidenkin biomassojen uuteaineiden määriin ja uuteainefraktion koostumukseen. Uuteaineiden hyödyntäminen biojalostuksen raaka-aineena asettaakin uudenlaisia vaatimuksia raaka-aineen toimitusketjulle materiaalin tuoreuden suhteen (Routa ym.. 2020 a,b). Kuoren uuteainepitoisuudym.kavat laskea heti puun kaadon jälkeen. Osa yhdisteistä häviää kokonaan, jos materiaalia ei käsitellä oikein. Varastointitavalla on merkittävä vaikutus häviöihin. Aikaisempien tutkimusten mukaan suurimmat uuteainehäviöt kohdistuvat hydrofiilisiin, eli vesiliukoisiin, yhdisteisiin (Halmemies ym.. 2021, Kuva 7). Erityisesti fenolisten uuteaineiden, kuten stilbeenien ja tanniinien, pitoisuudet laskevat nopeasti varastoinnin aikana (Jyske ym.. 2020). Myös sokereiden määrä alenee esim. mikrobiologisten prosessien takia. Rasvaliukoisten/lipofiilisten yhdisteiden kokonaispitoisuus ei laske välttämättä merkittävästi varastoinnin aikana, mutta tämänkin fraktion kemiallinen koostumus muuttuu esimerkiksi triglyseridien/triasyyli glyserolien hydrolysoituessa, jolloin niiden määrä alenee ja vastaavasti vapaiden rasvahappojen määrä nousee.

Kasvintuotannon sivujakeiden säilyvyys on yleensä lyhyt, kun solukkorakenne rikkoutuu elintarvikeprosesseissa. Siksi niiden varastointi- ja säilöntämenetelmiä on kehitetty ja kehitettävä edelleen, jotta materiaaleista saadaan paras hyöty kestäväällä tavalla (Kotilainen ym. (toim.). 2021).

Kuitupuulle on laadittu kalibroittavat ennustemallit, joita voidaan käyttää kuitupuun tuoretiheyden määrittämiseen varastointiajan ja -paikan säähavaintotietojen perusteella (Lindblad ym.. 2019, Repola ym.. 2021). Ennustemallien soveltamiseksi painoperusteisessa mittauksessa ollaan laatimassa Pulpwood Online -järjestelmää (PWO). Kokonaisuudesta on tulossa ensimmäinen merkittävä toimintamalli, jossa varastointiajan säähavaintotietoja käytetään puutavaran laatua kuvaavan suureen (tuoretiheys) ennustamiseen. Tämä toimintamallin perusajatus, mukaan lukien säähavaintotietojen hyödyntäminen ja ennustemallien jatkuva kalibrointi, olisi todennäköisesti siirrettävissä muiden biomassojen ja laatuominaisuuksien muutosten ennustamiseen varastoinnin aikana.



Kuva 6. Erilaiset fysikaaliset, kemialliset ja biologiset reaktiot vaikuttavat biomassojen koostumukseen varastoinnin aikana. Nuoli kuvaa muutoksen suuntaa; kasvaa/ vähenee varastoinnin aikana.



Kuva 7. Esimerkki kuusen kuoren stilbeenipitoisuuden muutoksista varastoinnin aikana. Varastointitapa a) kuorikasassa, b) tukkipuiden varastointi kuorimatta, vaikuttaa merkittävästi tapahtuviin stilbeenihäviöihin. (Halmemies ym.. 2022, Jyske ym.. 2021).

Ydinviestit

- Erialaisten biomassojen ja niiden sivutuotteiden loppukäyttö määrää logistiikan kannalta tärkeän optimoinnin esikäsittelyn, kuljetuksen ja varastoinnin osalta
- Toimitusketju metsästä tehtaalle vaikuttaa niin puun, kuoren kuin muidenkin biomassojen uuteaineiden määriin ja uuteainefraktion koostumukseen
- Siirtyminen fossiilisista raaka-aineista uusiutuviin biomassoihin asettaa haasteita niiden ominaisuuksien tuntemukselle ja logistiikan tutkimukselle

Viitteet

- Ahtikoski, A., Routa, J., Repola, J. & Laitila, J. 2019. The financial viability of artificial drying of forest chips, a case study from Northern Finland. *Journal of Cleaner Production* 212:1454-1461. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.110>
- Anerud, E., Bergström, D., Routa, J., Eliasson, L. 2022. Sieving and Covering of Wood Chips Improves Storability. *Energies* 2022 (15): 2953. <https://doi.org/10.3390/en15082953>
- Anerud, E., Bergström, D., Routa, J., Eliasson, L. 2021. Fuel quality and dry matter losses of stored wood chips - Influence of cover material. *Biomass and Bioenergy* 150.
- Anerud, E., Routa, J., Bergström, D. & Eliasson, L. 2020. Fuel quality of stored spruce bark - Influence of semi-permeable covering material. *Fuel* 279: 118467. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118467>

- Franco, M., Stefanski, T., Jalava, T., Lehto, M., Kahala, M., Järvenpää, E. & Rinne, M. 2019. Aerobic stability of fresh and ensiled potato by-product treated with preservatives and yield fractions from a biorefinery process. Nordic Feed Science Conference. 11-12.6.2019. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Animal Nutrition and Management. Report 302: 137–142. <https://www.slu.se/globalassets/ew/org/inst/huv/konferenser/nfsc/nfsc2019/nfsc-proceedings-2019-06-05-torsten-eriksson.pdf20>.
- Hakkila, P. 1966. Investigations on the basic density of finnish pine, spruce and birch wood. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 61.
- 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. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 94 s.
- Halmemies, E.S., Alén, R., Hellström, J., Läspä, O., Nurmi, J., Hujala, M. & Brännström, H.E., 2022. Behaviour of Extractives in Norway Spruce (*Picea abies*) Bark during Pile Storage. *Molecules*, 27(4): 1186. <https://doi.org/10.3390/molecules27041186>
- Jyske, T., Brännström, H., Halmemies, E., Laakso, T., Kilpeläinen, P., Hyvönen, J., Kärkkäinen, K. & Saranpää, P. 2022. Stilbenoids of Norway spruce bark: does the variability caused by raw-material processing offset the biological variability? *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02624-9>
- Kahala, M., Järvenpää, E. & Lehto, M. 2020. Kasvissivutuotteiden hyödyntämisen monet mahdollisuudet Kehittyvä elintarvike 27.8.2020 <https://kehittyvaelintarvike.fi/artikkelit/teemajutut/vastuullisuus-kiertotalous/kasvissivutuotteiden-hyodyntamisen-monet-mahdollisuudet/>
- Kotilainen, T., Kärkkäinen, K., Mäkinen, S., Niemi, J., Pastell, M. & Vilkki, J. (toim.). 2021. Innovaatiivinen ruokajärjestelmä: Tutkimusohjelman loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 25/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 60 s. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/547340/>
- Kymäläinen, M. & Suojala-Ahlfors, T. (toim.). 2020. Puutarhatuotannon kasviperäiset sivuvirrat hyödyksi. E-julkaisu. https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk_puutarhatuotannon_kasvisperaiset_sivuvirrat
- Laitila, J., Ahtikoski, A., Repola, J. & Routa, J. 2017. Pre-feasibility study of supply systems based on artificial drying of delimbed stem forest chips. *Silva Fennica* 51(4): article id 5659.
- Lehto, M., Rinne, M., Järvenpää, E., Kahala, M., Salo, T., Siljander-Rasi, H. & Suojala-Ahlfors, T. 2018. Kasvissivutuotteiden hyödyntäminen rehuna ja maanparannusaineena: Hyvä tapa toimia –ohje <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-552-3>
- Lindblad, J. & Repola, J. 2019. Mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheys paino-otantamittauksessa ja tuoretiheyden mallinnus varastointiajan perusteella. *Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 2019* artikkeli id 10101. <https://doi.org/10.14214/ma.10101>
- Lindblad, J., Routa, J., Ruotsalainen, J., Kolström, M., Isokangas, A. & Sikanen, L. 2018. Weather based moisture content modelling of harvesting residues in the stand. *Silva Fennica* vol. 52 no. 2 article id 7830. <https://doi.org/10.14214/sf.7830>

- Prinz, R., Routa, J., Anerud, E., Bergström, D. & Sikanen, L. 2022. Performance of an Innovative Bio-Based Wood Chip Storage Pile Cover—Can It Replace Plastic Tarps? *Energies* 2022, 15, 1680. <https://doi.org/10.3390/en15051680>
- Repola, J., Heikkinen, J. & Lindblad, J. 2021. Pulpwood green density prediction models and sampling-based calibration. *Silva Fennica* 55(4): article id 10539. <https://doi.org/10.14-214/sf.10539>
- Rinne, M., Franco, M., Jalava, T., Järvenpää, E., Kahala, M., Blasco, L., Siljander-Rasi, H. & Kuoppala, K. 2019. Carrot by-product fermentation quality and aerobic spoilage could be modified with silage additives. *Agricultural and Food Science* 28: 59–69. <https://journal.fi/afs/article/view/79829>
- Routa, J., Brännström, H., Hellström, J. & Laitila, J. 2021. Influence of storage on the physical and chemical properties of Scots pine bark. *Bioenergy Research*. 14: 575–587. <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10206-8>
- Routa, J., Brännström, H. & Laitila, J. 2020. Effects of storage on dry matter, energy content and amount of extractives in Norway spruce bark. *Biomass and Bioenergy* 143. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105821>
- Routa, J., Kolström, M. & Sikanen, L. 2018. Dry matter losses and their economic significance in forest energy procurement. *International Journal of Forest Engineering* 29: 53–62. <https://doi.org/10.1080/14942119.2018.1421332>
- Routa J., Kolström, M., Ruotsalainen, J. & Sikanen, L. 2016. Validation of prediction models for estimating the moisture content of logging residues during storage. *Biomass and Bioenergy* 94: 85–93.
- Routa, J., Kolström, M., Ruotsalainen, J. & Sikanen, L. 2015. Precision Measurement of Forest Harvesting Residue Moisture Change and Dry Matter Losses by Constant Weight Monitoring. *International Journal of Forest Engineering*, 26: 71-83. <https://doi.org/10.1080/14942119.2015.1012900>
- Routa, J., Kolström, M., Ruotsalainen, J. & Sikanen, L. 2015. Routa, J., Kolström, M., Ruotsalainen, J. & Sikanen, L. 2015. Validation of prediction models for estimating the moisture content of small diameter stem wood. *Croatian Journal of Forest Engineering* 36: 111–119.

6. Metsätalouden logistiset ketjut ja niiden tutkiminen

Kari Väätäinen ja Ville Kankaanhuhta

6.1. Johdanto

Suomessa metsäteollisuuden puuraaka-aineen toimituslogistiikan kustannus- ja energiatehokkuus ovat parantuneet kaiken aikaa (Haavisto ym. 2021, Palander ym. 2020) ja kansainvälisesti katsottuna esimerkiksi puutavara-autokuljetusten kustannuskilpailukyky on hyvä (Fjeld ym. 2021). Pitkä kokemus ja ymmärrys toimintaympäristöstä, toimitusketjuista, kalustosta, teollisuuden tarpeista sekä logistisista vaihtoehdoista ja niiden suorituskyvyistä sekä merkittävä panostus tutkimukseen, testaukseen, demonstrointiin ja tuotekehitykseen ovat tekijöitä tehostuneen toimituslogistiikan takana. Toimituslogistiikan tehokkuutta ovat parantaneet muun muassa kuljetuskaluston kokonaisuusmassojen ja kuormien koon kasvu, kehittyneet logistiikanhallintajärjestelmät sekä kattavat ja nopeat tietoliikenneyhteydet (Palander ym. 2020, Väätäinen ym. 2021). Logistiikassa toimivat yritykset ja työntekijät ovat avainasemassa käytännön logistiikan toteutuksessa ja sen onnistumisessa. Kappaleessa tuodaan esille metsäteollisuuden toimituslogistiikan toimintaympäristöä ja sen erityispiirteitä sekä käydään läpi logistiikan tutkimuskysymyksiä. Lopuksi kootaan yhteen nykytilaa, tulevaisuutta ja tarpeita logistiikan tutkimukselle ja kehittämiselle. Toimitusketjujen operaatioita ja kalustoa ei tässä kappaleessa erikseen käydä läpi.

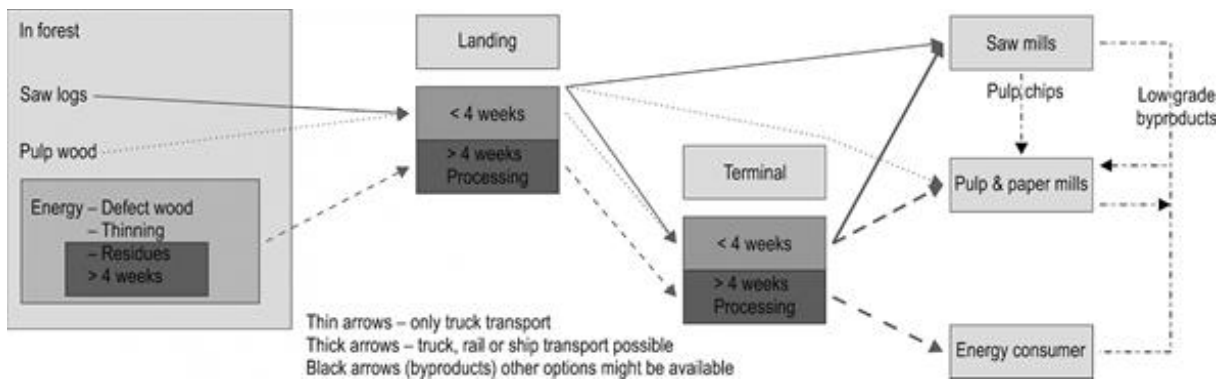
6.2. Metsätalouden päävirrat ja logistiikan erityispiirteet

Suomessa 60 % metsämaasta on yksityisessä omistuksessa (Ihalainen ja Vaahtera 2018). Yksityisen omistuksen suuri osuus ja siten pienet metsätilat vaikuttavat merkittävästi yhtenäisten hakkuutyömaiden kokoon ja siten puunhankinnan logistiikkaan. Kun tähän lisätään metsikön kehitysrakenteen ja kulkukelpoisuuden vaihtelut sekä muut korjuukohteen kokoa ja alueen yhtenäisyyttä rajoittavat tekijät metsätiloilla, samanaikaisesti käsiteltävät puunkorjuutyömaat jäävät suhteellisen pieniksi. Hakattavan leimikon käsittelytavasta, pinta-alasta ja puuston tiheydestä riippuen työmaakohtainen hakkuukertymä on vaihdellut välillä 50–1500 m³ sen ollessa keskimäärin 400–600 m³ (Jylhä ym. 2019). Kultakin korjuutyömaalta hakataan useita puutavaralajeja, jotka ohjautuvat eri käyttötarpeisiin ja käyttöpaikkoihin, ja jotka pidetään puun kaadosta ja katkonnasta eteenpäin kuljetuksen ja varastoinnin eri vaiheissa erillään toisista jakeista. Puutavaralajimäärä voi vaihdella yleensä 2–12 välillä riippuen kohteen puulajimäärästä, poistuman runkokoosta ja laadusta sekä kauppasopimuksesta. Tämä edelleen vaikuttaa korjuukohteelta saatavien puutavaralajien määrään ollen pienimmillään muutamia kuutiometrejä. Puunhankinta hajautuu maantieteellisesti laajalle alueelle ja pieniä puutavaraeriä joudutaan keräämään tienvarsilta, mikä tuo haasteita logistisen ketjun hallintaan (Uusitalo 2005, Väätäinen ym. 2021).

Metsäteollisuuslaitokset, kuten esim. sahat ja sellutehtaat, tarvitsevat puuraaka-ainetta tasaisesti ympäri vuoden tuotteiden valmistukseen, kun taas puunkorjuu on perinteisestikin ollut hyvin kausittaista. Korjuun kausittaisuuteen vaikuttaa merkittävimmin vuodenaika, säätila ja siten korjuukohteiden korjuukelpoisuus eri vuodenaikoina ja sääolosuhteissa. Talvella maan ollessa roudassa ja/tai riittävässä lumenpeitossa puunkorjuu soveltuu heikostikin kantaville korjuukohteille. Korjuukohteet, jotka ovat talviteiden tai heikosti kantavien teiden varsilla, edellyttävät

riittävää routakerrosta ja kantavuutta näille teille. Tyypillisesti talviset korjuukohteet painottuvat näille kantavuudeltaan heikoille kohteille, kuten turvemaille ja hienojakoisille maille sekä kuusivaltaisille harvennuskohteille. Toisaalta kuivat ja sateettomat jaksot kesällä mahdollistavat puunkorjuun ja kuljetukset myös useilla perinteisen talvikelin korjuukohteilla, kuten hienojakoisilla maapohjilla ja turvemaille.

Korjuumäärällisesti suurimman ja pienimmän kuukauden ero voi olla jopa 300 % pienempään nähden huippukuukausien ollessa tyypilliset talvikuukaudet (tammi-, helmi- ja maaliskuu). Korjatun puumäärän ja teollisuuden puuntarpeen välinen ero vuoden eri aikoina on ratkaistu puutavaran varastoinnilla toimitusketjun eri kohtiin (Kuva 8). Puunhankinnassa on tavoiteltu lyhyitä läpimenoaikoja erityisesti siksi, että puutavaran varastoinnit sitovat pääomia (Venäläinen ym. 2017) ja varastointi vaikuttaa heikentävästi puutavaran laatuun (Mäkelä ym. 2000). Lisääntyvä puun varastointi lisää logistiikkaohjausta ja logistisia kustannuksia, sillä kuljetustehtävät sekä kuormaus- ja purkuoperaatiot toimitetulle puulle kertautuvat, varastointi syö pääomia ja suuremmat terminaalityyppiset varastointipaikat muodostavat perustamis- ja ylläpitokustannuksia.



Kuva 8. Havainnekuva aines- ja energiapuun toimitusketjusta kannosta tehtaalle tai voimalaitokselle ja sivutuotteiden ohjautumisesta käyttöpaikkojen välillä. Tukki- ja kuitupuuvirroille on ominaista suhteellisen lyhyet varastointiajat metsässä, purkupaikoilla ja terminaaleissa teollisuuden edellyttäessä puulta tuoreutta. Varastointiajat ovat kuitupuulla talviaikana ja keväällä keskimääräistä pidempiä. Vastaavasti energiapuun toimitusketjussa varastointiajat kaikissa logistiikan solmukohtissa (varastoissa) ovat ainespuuta huomattavasti pidempiä (Vätäinen ym. 2021).

Energiapuun hankinta ja logistiikka korjuukohteelta polttolaitokselle on erittäin kausittaista toimitusten kohdistuessa talviselle lämmityskaudelle. Toimituslogistiikka perustuu suureen ja pitkäaikaiseen energiapuun varastointiin. Energiapuun hankinta myös jakautuu eri puutavaralajeihin kuten hakkuutähteisiin (oksat, latvukset ja runkopuuleikot) päätehakkuilta sekä kokopuuhun ja karsittuun rankaan nuorten metsien harvennuksilta. Tyypillisesti energiapuu varastoidaan hakettamattomana tienvarressa vähintään yhden kesän yli ja varastoinnissa hyödynnetään kevään ja kesän tarjoamaa kuivatusvaikutusta (Routa ym. 2016).

Ilmastonmuutos lisää sadannan määrää ja vähentää kantavaa routajaksoa ja siten lisää niitä aikajaksoja, jolloin maaperän ja metsäteiden kantavuus on heikkoa. Suomen tieverkoston tila on heikentynyt kaiken aikaa ja erityisesti yksityisteiden kunto on huolestuttava, mikä osaltaan lisää puunhankinnan kausivaihtelua. Puunhankinnan logistiikassa ja sen suunnittelussa on olennaisen tärkeää saada riittävän täsmällistä tietoa metsien ja teiden kantavuudesta, kulkukelpoisuudesta ja niiden muutoksista lähitulevaisuudessa sekä hyödyntää tietoja puunhankinnan ohjauksessa ja toimituslogistiikassa. Tärkeää on suunnitella toimituslogistiikka käyttöpaikkojen

tarpeiden mukaan siten, että puutavaran laatua, määrää ja hankinnan kustannuksia voidaan hallita. Puunhankinnan logistiikanohjauksen suunnittelua ja toteutusta tukevat digitaaliset päästösjärjestelmät ovat olennainen osa tehokasta toimituslogistiikkaa.

6.3. Metsäteollisuuden sivuvirrat ja sivuvirtojen logistiikka

Metsäteollisuuden tuotannossa päätuotteiden valmistuksen yhteydessä muodostuu sivuvirtoja ja raaka-aineita muille tuotteille ja hyödykkeille. Merkittävimmät sivuvirtoina saatavat jakeet ovat sellutehtaiden kuori ja mustalipeä sekä sahojen kuori, hake, sahanpuru ja höylälastu. Näitä sivujakeita on käytetty pääosin sellun raaka-aineeksi ja lämmöntuotantoon sekä myös pelleiksi ja kuivikkeeksi. Sivuvirtojen logistiikka tuotantolaitosten välillä esimerkiksi hake- tai kuorivarastosta poltto- tai sellukattilaan on suoraviivainen. Metsäteollisuuden sivuvirtojen suoraa energiakäyttöä voi rajoittaa tulevaisuudessa voimistuva pyrkimys vähentää teollisuuden hiilidioksidipäästöjä. Uusia käyttömahdollisuuksia sivuvirroille (kuori, hake, puru) on tutkittu ja kehitystyötä on runsaasti meneillään.

T&K:n alla on parhaillaan esim. aktivoitu biohiili, jonka on ajateltu edistävän hiilensidontaa pitkäkestoisin tuotteisiin ja syrjäyttävän teollista fossiilista hiiltä esimerkiksi injektio- ja pelkistinhiilenä metallinjalostuksessa sekä jätevesien puhdistuksessa esim. kaivos- ja metalliteollisuudessa (Siipola ym. 2019). Sivuvirtalogistiikka on kyseisessä tapauksessa kuoren, hakkeen ja purun toimitusta biojalostamolle, joka muodostuu pääosin varastoinnista ja autokuljetuksista puunjalostusteollisuuden laitoksilta biotuotetehtaalle.

Metsäteollisuuden sivuvirtojen kuljetuslogistiikkaan on etsitty energia- ja kustannustehokkaita ratkaisuja. Autokuljetuksessa purun ja hakkeen pieni tilavuuspaino edellyttää kuljetuskalustolta suurta kehystilavuutta, jotta kokonaismassat saadaan täysin hyödynnettyä ja siten kustannustehokkuutta parannettua (Laitila ym. 2016). Yli 76-tonnisia HCT-autoyhdistelmiä sekä 76-tonnisia suuren kehystilavuuden kuormatilaratkaisuilla onkin käytetty hake- ja kuorijakeiden kuljetuksissa (Venäläinen ja Poikela 2020a). HCT-kokeilujen ja toimijahaastattelujen mukaan HCT-yhdistelmien on koettu soveltuvan kaikkein parhaiten tuotantolaitosten välisiin sivutuotekuljetuksiin (Venäläinen ja Poikela 2020b).

Metsäteollisuuden sähkön ja lämmöntuoton sivutuotteena sivujakeiden (kuori, mustalipeä, sa-hahake) poltossa syntyy runsaasti tuhkaa, jolle löytyy useita vaihtoehtoisia käyttökohteita kaatopaikalle läjittämisen sijaan. Lannoitteeksi kelpaava tuhka on useissa tutkimuksissa kansantaloudellisesti kannattavaa kierrättää metsiin ja siten lisätä puuntuottoa ja hiilensidontaa (Moilanen ym. 2015, Rautio ja Hökkä 2016). Toisaalta lannoitteeksi kelpaamaton, mutta MARA-asetukset täyttävä tuhka on käyttökelpoista maa- ja tierakennuksessa (Kaakkurivaara ja Korpunen 2017) ja ainesosina esimerkiksi betonin, geopolymeerien ja biokomposiittien valmistuksessa (de Oliveira ym. 2022). Lannoitetuhkan metsänpalauttamisen logistiikkaa ovat selvittäneet muun muassa Väätäinen ym. (2011), Nishio ja Ersson (2016) ja Blåberg (2019). Palautuslogistiikan kustannuksissa voidaan säästää käyttämällä ravinteikasta puutuhkaa (lannoitemäärä/ha), jalostamalla irtotuhka rakeeksi (parantaa mm. tuhkan käsittelyä, tiiviyyttä kuljetettaessa ja varastoitaessa ja levityksen laatua), kuljettamalla suursäkeissä levityspaikalle ja levittämällä kerralla laajoja alueita samalla minimoiden levitysetäisyyksiä hyvällä levitysvarastojen suunnittelulla (Väätäinen ym. 2011).

Ainespuunkorjuun sivuvirraksi voidaan käsittää hakkuun yhteydessä kokopuusta eroteltava hakkuutähde (oksat, latvat ja ainespuun laadut täyttämätön runko-osa) ja sen käyttäminen energiaksi. Näiden sivuvirtojen toimituslogistiikka vastaa siten toimintaympäristön osalta raakapuun vastaavaa, mutta voimalaitostarve ja kokoluokka, jakeen ominaisuudet ja käytettävä

kalusto luo uuden logistisen kokonaisuuden. Lisäksi yhteiskunnan infrastruktuurin maarakentamisen yhteydessä muodostuvien sivuvirtojen – kuten puun kantojen – käyttökohdetta joudutaan uudelleenpohtimaan. Energiaksi käytön tai läjityksen sijaan tulee esille hiilensidontakei-not ja siihen liittyvät logistiikat. Metsäkantojen hiilensidontalogistiikkaa – kantojen nosto, kuljetus ja hautaaminen – ja sen kustannuksia ovat selvittäneet mm. Laitila ym. (2022). Uudisteiden rakentamisessa tiealueelta poistettuja kantoja on myös haudattu tierakenteisiin pohjavesitason alapuolelle.

6.4. Toimitusketjujen tutkimus ja tarpeet

Metsä- ja energiateollisuuden käyttämien raaka-aineiden toimituslogistiikkoja on tutkittu paljon Suomessa, tutkimuksen painottuessa viime vuosikymmenen (2010–2020) alkupuolella enemmän metsäenergiaan ja nyttemmin painopiste on siirtynyt ainespuulogiikkaan (Väättäinen ym. 2021). T&K hankkeisiin tyypillisesti vaikuttaa teollisuuden tarpeet ja painotukset sekä rahoitushakujen sisällöt tarkastelluilla ajanjaksoilla. Esimerkiksi lakimuutos autojen mitoista ja massoista sekä 5-vuoden koeaikamahdollisuus lakia suurempien erikoiskuljetusten perustamiseen on lisännyt tutkimustarpeita erityisesti teollisuuden ainespuukuljetuksissa puutavara-au-toilla.

Metsäteollisuuden pää- ja sivuvirtojen lisäksi metsätalouden toimintakentästä löytyy muita tärkeitä materiaalivirtoja kuten taimilogistiikka taimitarhoista istutuskohteille. Kenttä elää murroksessa monin osin ja teknologia-, sovellus- ja tietojärjestelmäkehitys on avannut uusia mahdollisuuksia taimilogistiikan laadun ja tehokkuuden parantamiselle. Taimilogistiikassa uusia tutkimustarpeita on ilmennyt istutusmenetelmien (manuaali- ja koneistutus) valinnassa ja toiminnan ohjauksessa, puulajimixien käyttöönotossa, täsmämetsänistuttamisessa ja eri urakointimallien soveltuvuudessa logistisiin vaihtoehtoihin.

Toimituslogistiikan tutkimuksissa on joko kohdistettu tarkastelu toimitusketjun yksittäiseen osaan tai ketjua on tutkittu kokonaisena. Osatutkimuksissa on tarkasteltu yksittäisen käsittelymenetelmän, koneen tai koneketjun (tms. toimitusketjun osan) suorituskykyä, kuten tuottavuutta, kustannuksia, energiatehokkuutta ja päästöjä. Uudet tehokkaat työmenetelmät voivat muuttaa koko toimitusketjun logistiikkaa, kun esimerkiksi toimitettavaa tavaralajia saadaan käsiteltyä suuremmissa yksiköissä, nopeammin ja tehokkaammin. Kone- ja kuljetusteknologia kehittyy myös kaiken aikaa muuttaen toimituslogistiikkaa tai lisäten vaihtoehtoisia ja kilpailukykyisiä menetelmiä perinteisille toimitusketjuille. Viimeisin autojen sallittuja mittoja ja massoja muuttanut laki on myös hyvä esimerkki siitä, kuinka muutos on vaikuttanut uuden kuljetuskaluston käyttöönottoon ja siten metsäteollisuuden pää- ja sivutuotevirtalogistiikkoihin.

Toimitusketjulogiikkaa on tutkittu paikkatietoanalysein ja optimoinnin ottaen huomioon raaka-aineen sijainti ja saatavuus, kuljetusyhteydet, käyttöpaikkojen sijainti sekä käyttötarve. Valtakunnalliset ja maakunnalliset optimointitarkastelut tarjoavat strategisella tasolla mahdollisuuden selvittää kokonaistehokkaita puuvirtoja, kuljetustapoja ja niiden yhdistelmiä sekä väli-varastojen/terminaalien sijainteja (esim. Forsberg ym. 2005, Iikkanen ym. 2010).

Metsällisissä toimituslogistiikoissa koneiden ja osajärjestelmien väliset vuorovaikutussuhteet, kuten tuottavuus-, aikataulu- ja työvuoroerot aiheuttavat työn organisointiin haasteita sekä kokonaislogistiikkaan häiriöitä keskeytysten ja odotusten muodossa. Tämän lisäksi operaatioihin suoraan vaikuttavat olosuhde-, järjestelmä- ja ympäristövaihtelut, kuten konerikkojen, säätilan, varastojen koon, laadun ja tiestön kulkukelpoisuuden vaihtelut tuovat logistiikkaprosesseihin vaihtelua ja satunnaisuutta. Jos toimitusketjun osien ja kokonaisuuden suorituskykyä halutaan tutkia tarkemmin, tulee edellä mainittuja tekijöitä ottaa mukaan systeemitarkasteluun,

jolloin tarvitaan dynaamisia tutkimusmenetelmiä, kuten simulointia. Dynaaminen simulointimallinnus, kuten diskreetti tapahtumapohjainen tai agenttipohjainen simulointi, on ollut yhä käytetympi menetelmä metsällisten toimitusketjujen tutkimuksissa (Väätäinen ym. 2021). Toimituslogistiikkaa analyysoivissa simulointimalleissa toimitusketjun osat - koneet, varastot, toiminnot, tuotteet ja kysyntä - on muodostettu sekä logiikka materiaalin kululle ja operaatioille on määritetty. Nyt ja tulevaisuudessa tarkempi systeemimallinnus on yhä paremmin mahdollista, sillä malleihin tarvittavaa tietoa ja Big dataa on enemmän saatavilla systeemin määrittelyssä ja syöteaineistona.

Metsäsektorilla on edessään useita raakapuun ja biomassan toimituslogistiikkaan liittyviä haasteita, jotka ohjaavat samalla aines- ja energiapuulogiikan tutkimus- ja kehitystyötä ja korostavat sen merkitystä. Ilmastonmuutoksen takia perinteisen talven kesto vähenee heikentäen kulkukelpoisuutta metsissä ja sorateilla. Lisäksi abioottisten ja bioottisten metsätuhojen nähdään lisääntyvän. Myös automaatio- ja robotisaatio lisääntyy, ajoneuvoteknologia kehittyy, sekä korjuu-, kuljetus- ja materiaalinkäsittelykaluston käyttöenergiamuodot siirtyvät vähäpäästöisimpiin ratkaisuihin. Puun välivarastointi ja terminaalien käyttö osana toimituslogistiikkaa lisääntyy, millä varmistetaan puun tasainen saatavuus käyttöpaikoille. Ympäristöasioiden monitahoiset vaikutusmekanismit tulevat ohjaamaan metsien käsittelyä, työmenetelmiä, hankinta-alueita, hakkuukertymiä ja puuvirtoja ja siten logistisia ratkaisuja. Muutokset toimintaympäristössä aiheuttavat muutoksia myös toimituslogistiikan rakenteeseen, suorituskykyyn ja ihmisen rooliin osallisena sitä.

Ydinviestit

- Metsäbiomassojen toimituslogistiikka metsästä käyttöpaikalle on kompleksinen ja vaihteleva. Kausittaista puunkorjuuta tasataan erilaisilla logistiikkajärjestelyillä ja puuvarastoilla vastaten teollisuuden tasaiseen puuntarpeeseen.
- Vahva panostus tutkimukseen ja teknologiakehitykseen ovat parantaneet raakapuun kuljetusten kustannus- ja energiatehokkuutta. Toimituslogistiikan kehityksessä tukena ovat olleet uusien kalustoratkaisuiden testaus ja pilotointi, kehittyneet logistiikanohjausjärjestelmät sekä laajojen tietomassojen, paikkatieto-analyysipohjaisten optimointimenetelmien ja dynaamisten simulointimenetelmien käyttö tutkimuksissa.
- Uusia mahdollisuuksia metsäteollisuuden toimituslogistiikkaan luovat uudet teknologiset ratkaisut, automaatio ja robotisaatio sekä käyttöenergiamuotojen siirtyminen vähäpäästöisempiin ratkaisuihin.

Viitteet

- Blåberg, S. 2019. Rakeistetun tuhkalannoitteen logistiikka ja metsätalous. Opinnäytetyö. Energia- ja ympäristötekniikka, Lahden Ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/226811/Blaberg_Saana.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- de Oliveira, L.B., de Azevedo, A.R.G., Marvila, M.T., Pereira, E.C., Fediuk, R. & Vieira, C.M.F. 2022. Durability of geopolymers with industrial waste. *Case Studies in Construction Materials* 16. e00839. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00839>.
- Fjeld, D., Väätäinen, K., von Hofsten, H., Noreland, D., Callesen, I. & Lazdins, A. 2021. A common Nordic-Baltic costing framework for road, rail and sea transport of roundwood. *NIBIO rapport 7(8)*. 31 p.
- Forsberg, M., Frisk, M. & Rönqvist, M. 2005. FlowOpt – A Decision Support Tool for Strategic and Tactical Transportation Planning in Forestry, *International Journal of Forest Engineering* 16(2): 101–114.
- likkanen, P., Keskinen, S., Korpilahti, A., Räsänen, T. & Sirkiä, A., 2010. Raakapuuvirtojen valtakunnallinen optimointimalli. *Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 29/2010*. 38 s.
- Kaakkurivaara T. & Korpunen H. 2017. Increased fly ash utilization – value addition through forest road reconstruction. *Canadian Journal of Civil Engineering* 44(3): 223–231. <https://doi.org/10.1139/cjce-2016-0193>
- Laitila, J, Sikanen, L. & Väätäinen, K. 2022. Pre-feasibility study about the carbon sequestration potential of the land clearing stumps stored below the ground. Accepted manuscript for *Croatian Journal of Forest Engineering*.
- Laitila, J., Asikainen, A. & Ranta, T. 2016. Cost analysis of transporting forest chips and forest industry by-products with large truck-trailers in Finland, *Biomass and Bioenergy* 90: 252–261. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.04.011>.
- Moilanen, M., Hytönen, J., Hökkä, H. & Ahtikoski, A. 2015. Fertilization increased growth of Scots pine and financial performance of forest management in a drained peatland in Finland. *Silva Fennica* 49(3). article id 1301.
- Mäkelä, M., Korhonen, K., Lipponen, K. & Öhman, H. 2000. Varastoinnin vaikutus kuitupuuhun ja sen merkitys sellun valmistuksessa. *Metsätehon raportti 91 A*. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_091A.pdf.
- Nishio, G. & Ersson, T. 2016. Spreading wood ash on Forest land in Canada: An Introduction. *Techniocal report no. 31*. 35 p.
- Rautio, P. & Hökkä, H. 2016. Teollisuuden ja yhteiskunnan sivuvirrat metsälannoitteena - Mahdollisuudet ja haasteet. Teoksessa Rautio, P., Uusitalo, M. & Sarala., P. (toim.). *Kiertotalouden mahdollisuudet Lapissa. Acta Lapponica Fenniae* 27. 27 s.
- Routa, J., Asikainen, A., Björheden, R., Laitila, J. & Röser, D. 2016. Forest Energy Procurement: State of The Art in Finland and Sweden. In Lund, P.D., Byrne, J., Berndes, G. & Vasalos, I.A. (eds.). *Advances in Bioenergy: The Sustainability Challenge*. <https://doi.org/10.1002/9781118957844.ch17>

- Siipola, V., Källi, A., Wendling, L., Karlsson, M., Björnström, M. & Koukkari, P. 2019. Biohiilen valmistus ja käyttö vedenpuhdistukseen - metsäteollisuuden sivuvirtojen jatkojalostus ja hyödyntäminen ei-energiakäyttöön. VTT Tutkimusraportti 05608-18. 37 s.
- Uusitalo, J., 2005: A Framework for CTL Method-Based Wood Procurement Logistics. International Journal of Forest Engineering 16(2): 37–46. <https://doi.org/10.1080/1494-2119.2005.10702512>
- Venäläinen, P. & Poikela, A. 2020a. Puutavara- ja hakeautojen massojen noston vaikutukset. Metsätehon raportti 258. 78 s. <https://metsateho.fi/wp-content/uploads/Raportti-258-Puutavara-ja-hakeajoneuvojen-massojen.pdf>
- Venäläinen, P. ja Poikela, A. 2020b. Massojen noston vaikutus puutavara- ja hakekuljetuksiin – tutkimusyhteenveto. Metsätehon tulosalvoja. 31 s. <https://metsateho.fi/wp-content/uploads/Massojen-noston-vaikutus-Esitys-PV-AP-2020-11-19.pdf>
- Venäläinen, P., Alanne, H., Ovaskainen, H., Poikela, A., Strandström, M., 2017. Kausivaihtelun kustannukset ja vähentämiskeinot puun toimitusketjussa. Metsätehon tulosalvosarja 8/2017. 76 s.
- Väätäinen, K., Anttila, P., Eliasson, L., Ehnström, J., Laitila, J., Prinz, R. & Routa, J. 2021. Roundwood and biomass logistics in Finland and Sweden. Croatian Journal of Forest Engineering 42(1): 39–61. doi: 10.5552/crojfe.2021.803
- Väätäinen, K., Sirparanta, E., Räisänen, M., & Tahvanainen, T. 2011. The costs and profitability of using granulated wood ash as a forest fertilizer in drained peatland forests. Biomass and Bioenergy 35(8): 3335–3341.

7. Maatalouden pää- ja sivuvirtojen logistiikka ja varastointi

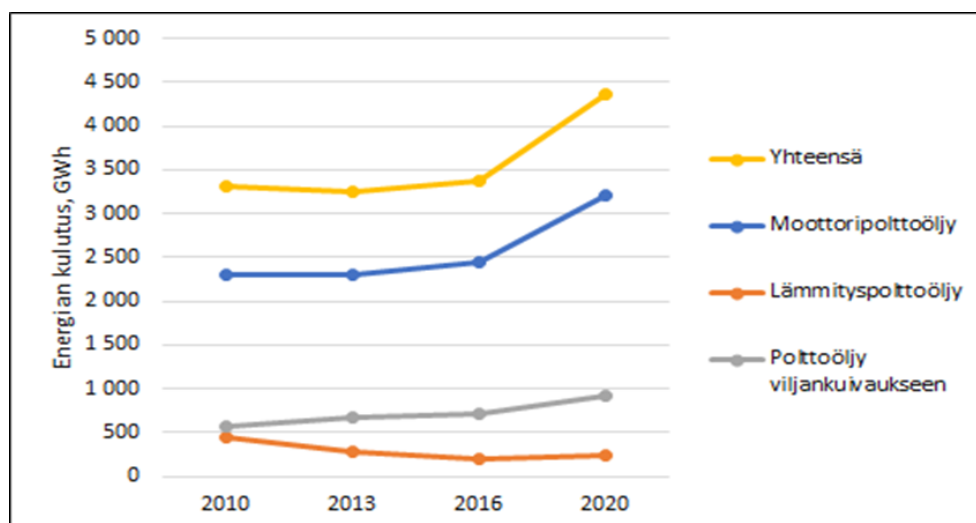
Timo Lötjönen ja Oiva Niemeläinen

7.1. Johdanto

Maa- ja puutarhatalouden tarkoituksena on tuottaa monipuolisesti laadukkaita elintarvikkeita markkinoille kilpailukykyiseen hintaan. Voidaan ajatella, että elintarviketuotanto on maatalouden päävirtaa. Viime aikoina elintarviketuotannon rinnalle on tullut täydentäviä tuotantomuotoja, kuten ympäristöhyötyjen, elämyspalvelujen, uusiutuvan energian ja non-food raaka-aineiden tuotanto. Toistaiseksi niiden osuus on pieni koko maatalous- ja puutarhasektorin tuotannosta, mutta se näyttäisi kasvavan.

Osaltaan vaihtoehtoisten tuotantomuotojen etsiminen johtuu joidenkin elintarvikesegmenttien ylituotannosta, huonosta kannattavuudesta tai ulkomaisesta kilpailusta, mutta osaltaan myös kasvavasta kysynnästä näille elintarviketuotantoa täydentäville tuotantomuodoille. Elintarviketuotannon lisäksi syntyy toisaalla hyödynnettävissä olevaa sivuvirtaa (esimerkiksi viljojen oljet). Toisinaan on vaikeaa erottaa, mikä on elintarviketuotannolle vaihtoehtoista tuotantoa (non food) ja mikä elintarviketuotannon sivuvirtaa, mutta erottelu ei usein ole tarpeenkaan.

Näyttäisi sille, että maa- ja puutarhatalouden uusiutumattoman energian käyttö on kasvanut vuodesta 2010 vuoteen 2020 jopa 20 % (Luonnonvarakeskus 2022). Polttoöljyn käyttö on noussut noin 30 prosenttia vuodesta 2016 vuoteen 2020. Tästä valtaosa on koneissa käytettävän moottoripolttoöljyn osuutta (Kuva 9). Kehitys on huolestuttavaa, koska samana aikana Suomen elintarviketuotanto ei ole juuri kasvanut. Tilakoon kasvamisen ja tehokkaampien koneiden myötä pitäisi tulla suurtuotannon etuja, jolloin polttoöljyn kulutus tuotekiloa kohti laskee. Tilakoon kasvun myötä peltolohkojen etäisyydet talouskeskuksesta ovat kasvaneet ja polttoainetta kuluu entistä enemmän maantieajoon (Jaakkonen 2021).



Kuva 9. Polttoöljyn käyttö maa- ja puutarhataloudessa. Lähde: <https://stat.luke.fi/>

Tilusrakenne on siis Suomessa pirstoutunut samalla, kun tilakoko on kasvanut. Uutta peltoa ei useinkaan saada hankittua talouskeskuksen läheisyydestä, vaan joudutaan vuokraamaan/ostamaan etäällä sijaitsevia peltolohkoja. Monesti tilanne on se, että naapuritilat ajavat toistensa ohi ristiin eri puolilla kylää oleville peltolohkoille. Tällaisessa tilanteessa pitäisi ehdottomasti saada tilusjärjestely käyntiin. Onnistuneista tilusjärjestelyistä on lukuisia esimerkkejä, mutta ne vievät pitkän aikaa, eivätkä ole läheskään aina osallisten mielestä järkeviä toteuttaa. Voidaan jopa väittää, että pirstoutunut tilusrakenne ja kehittymätön logistiikka ovat yksi maatalouktemme kannattavuuskriisin aiheuttajista. Kun jo maatalouden päätuotteiden, eli elintarviketuotannon raaka-aineiden hintapaine on kova, korkeat logistiset kustannukset ovat merkittävä este sivuvirtojen hyödyntämiselle.

Seuraavissa kappaleissa kerrotaan maa- ja puutarhatalouden pää- ja sivuvirtojen logistiikoista. Tämä siksi, koska sivuvirrat voivat usein käyttää samoja samoja logistisia ketjuja kuin päävirratkin. Lisäksi tehdään lyhyt katsaus sadon ja biomassan varastointimenetelmiin sekä tarkastellaan joidenkin peltobiomassaketjujen kustannuksia. Lopuksi esitetään tutkimus- ja kehittämistarpeita.

7.2. Päävirtalogistiikat

Koska maatalouden pää- ja sivuvirtojen logistiikoissa käytetään usein täsmälleen samoja menetelmiä ja ketjuja, on hyvä tarkastella ensin maatalouden päävirtalogistiikkoja. Päävirtojen logistiikaksi voidaan katsoa mm. maidon, lihan, viljan, sokerijuurikkaiden, perunan, vihanneskasvien ja viljeltävien marjojen toimittaminen jalostavaan teollisuuteen tai suoraan markkinoille. Kuljetukset hoidetaan useimmiten kuorma- ja rekka-autoilla, mutta joissain tapauksissa myös traktoriperävaunuilla.

Myös maatilan sisäiset kuljetukset liittyvät usein päävirtalogistiikkaan. Näitä ovat mm. nurmirehujen kuljettaminen pelloilta varastoihin ja viljan kuljettaminen pelloilta kuivaamolle tai tuoreena varastoitavaksi. Käsiteltävät määrät ovat suuria varsinkin nurmirehulla: esimerkiksi 200 lypsylehmän karja voi kuluttaa noin 3 000 tonnia säilörehua vuodessa (Maatalouskalenteri 2020). Esimerkinomaisesti voidaan laskea, että keskimääräisellä 2 km lohkoetäisyydellä ja kaikki kasvukauden työt mukaan lukien (mm. lietelannan ajo) edestakaisia ajomatkoja tulee noin 16 kpl/ha, josta kertyy koko 130 ha:n rehualalle tieajokilometrejä 4160 km/v.

Säilörehun korjuuketjut on esitetty tarkemmin "Nurmi biokaasun raaka-aineeksi"-kappaleessa.

Traktori vai kuorma-auto kuljetuksiin?

Maatilan sisäiset kuljetukset hoidetaan useimmiten traktoriperävaunuilla. Kuorma-autoilla kuljetuksia voitaisiin nopeuttaa ja tehostaa, mutta tämä on isoillakin tiloilla melko harvinaista. Syitä tähän seuraavassa:

- Kuorma-autoilla ajo pelloilla onnistuu vain erittäin kuivana aikana, koska kuorma-autojen omamassa on suuri ja renkaat suhteellisen kapeat, jotka vaativat korkeat ilmanpaineet => riski peltomaan tiivistymiselle
- Kuorma-autojen kiinteät kulut (mm. vakuutukset, katsastukset) ovat korkeat traktorikalustoon verrattuna. Kuljetustarpeet ovat hyvin sesonkiloontoisia.
- Kuorma-autojen ajaminen vaatii vähintään C-kortin. Traktoreissa riittää T-kortti, jonka saa jo 15-vuotiaana.
- Traktoreita tarvitaan muutenkin tilan töissä. Samoilla koneilla voidaan hoitaa kuljetuksia.

- Alhaisesti verotetun polttoöljyn käyttömahdollisuus traktoreissa.
- Kuljetusmatkat ovat suhteellisen lyhyitä, tyypillisesti alle 10 km suuntaansa.
- Traktoreiden kasvaneet huippunopeudet (voi olla esimerkiksi 60 km/h).
- Traktoreiden hyvä maastokelpoisuus esimerkiksi heikkokuntoisilla peltoteillä.

Kuorma-autoilla siirrettyä tonnia ja ajettua kilometriä kohden aikaa ja polttoainetta kuluu selvästi vähemmän kuin traktori-perävaunuyhdistelmillä. Toisin sanoen kuorma-autot ovat polttoainetaloudellisempia. Tämä johtuu mm. siitä, että nopeuden kasvaessa dieselmoottori toimii lähempänä optimikuormitusalueellaan ja siitä, että kuorma-autojen renkaiden vierintävastus on pienempää kuin traktorin renkailla. Monesti raskaaseen peltokäyttöön mitoitettujen traktorin moottoriteho ja massa ovat ylimitoitettuja suhteellisen kevyiden kuormien vetoon maantiellä vaikkapa 40 km/h nopeudella (Ahokas 2013). Lisäksi kuorma-autojen renkaiden kuluminen on hitaampaa kuin maantieajossa olevan traktori-perävaunuyhdistelmän, mikä säästää kustannuksia.

Vaihtolavajärjestelmien avulla voitaisiin helpottaa kuorma-autojen yleistymistä maatalojen maantiekuljetuksiin. Tällöin esimerkiksi säilörehun teossa silppurin vierellä rehuvaunua vedetään traktorilla ja vaihtolavajärjestelmän avulla rehukontti siirretään pellon laidassa kuorma-auton kyytiin. Erityisen hyödyllistä tämä on, mikäli satoa kuljetetaan tilakeskusta kauemmas, esimerkiksi biojalostamolle. Vaihtolavajärjestelmän käyttö edellyttää, että peltoliittymistä tehdään niin leveitä ja kantavia, jotta operointi kuorma-autolla on mahdollista.

Sadon ja biomassan varastointi

Peltojen sato ja mahdolliset sivuvirrat täytyy varastoida niin, etteivät ne pilaannu ts. laatu ei heikkene merkittävästi siitä, mitä se on korjuuhetkellä. Varastointi tehdään maatilalla tai käytävän teollisuuden tiloissa. Varastointi perustuu materiaalin kuivaukseen tai ilmatiiviiseen säilöntään, jolloin materiaalin hengittäminen/palaminen pysähtyy. Ilmatiivisti varastoidaan esimerkiksi säilörehua, kosteaa heinää ja olkea sekä litistettyä tuoretta viljaa. Ilmatiiviissä varastoinnissa tulee huolehtia, etteivät linnut tai jyrsijät pääse rikkomaan suojamuoveja. Mikäli näin käy, varasto ei ole enää ilmatiivis ja pilaantuminen alkaa. Ilmatiivis varasto ei vaadi välttämättä kattamista (esim. muoviin käärityt säilöhupaalit). Ilmatiivistä säilöntää voidaan tehostaa maitohappokäymisen avulla, joka laskee materiaalin pH:ta. pH:n laskuun voidaan käyttää suoraan happoja (esim. muurahaishappo) tai maitohappobakteerivalmisteita. Juurekset ja perunat säilötään viileissä ja kosteudeltaan säädelyissä varastoissa. Näissä lämpötila ja ilmankosteus säilyvät yleensä koneellisesti.

Kuivausta käytetään yleensä viljan, öljykasvien, heinän ja oljen säilöntään. Riittävän alhainen kosteus on materiaalista riippuen 12–17 %. Kun varastointikosteus on saavutettu, pitää myös huolehtia, etteivät sateet pääse kastelemaan satoa. Käytännössä tämä edellyttää katettuja varastoja. Toki pressujen alla ulkona voi yrittää varastoida esimerkiksi kuivia olkipaaleja, mutta haasteena on pressujen paikallaan pysyminen. Hehtaaria kohti saatavan sadon määrässä on eroja niiden varastotilakapasiteetin tarpeessa. Nurmisiemen ja öljykasvit tarvitsevat vähemmän varastotilaa kuin vilja ja karkearehut.

7.3. Sivuvirtalogistiikat

Maatilojen sisäiset kuljetukset

Maatiloilla syntyy ja voidaan kasvattaa lukuisia erilaisia sivuvirtoja ja non-food materiaaleja. Teollisuuteen näitä toimitetaan toistaiseksi aika vähän, vaikka kehitystyötä asian eteen on tehty ainakin 30 vuotta (esim. Paavilainen ym. 1996, Salo 2000). Kannattavuutta ei vain ole saatu riittävän hyväksi. Maatilojen sisällä ja maatilojen välillä sivuvirrat kiertävät sen sijaan tehokkaasti. Yleisimpiä näistä ovat karjanlanta ja oljet. Karjanlanta kierrätetään lähes täydellisesti peltojen lannoitteeksi, joko sellaisenaan tai tilalla sijaitsevan biokaasulaitoksen kautta. Olkia käytetään kuivikkeiksi tai rehuksi, mutta peltoon nekin palaavat. Osa oljista jätetään suoraan peltolle parantamaan maan multavuutta eli hiilipitoisuutta.

Karjanlantaa kuljetetaan maatilakeskuksista takaisin pelloille tonneissa mitattuna jopa enemmän kuin säilörehua tai viljaa korjataan pelloilta. Karjanlanta on joko lietelannan tai kuivalannan muodossa. Näistä lietelanta on yleisempi ja sen vesipitoisuus on yleisesti yli 90 %. Tästä johtuu suuri massamäärä kuljetuksissa. Polttoainetta, renkaita ja aikaa kuluu, myös peltomaan tiivistyminen on painavien kuormien alla uhkana. Lannan kuljetukseen myös kotieläintiloilta kasvinviljelytiloille olisi tarvetta, jotta lantaravinteet saataisiin toisaalta tehokkaammin hyödynnettyä ja toisaalta alueellisia ravinnekeskittymiä purettua. Toistaiseksi lannan siirtoa alueelta toiselle tehdään kuitenkin vain vähän johtuen korkeista kuljetuskustannuksista (Luostarinen ym.. 2020, Vainio ym. 2022).

Perinteisen traktori + levitysvaunuyhdistelmän rinnalle on kehitetty vaihtoehtoisia lantalogistiikkoja (ks. Lantalogistiikka-projekti, <http://ravinnejaenergia.fi/fi/lantalogistiikka/>). Aika yleistä on, että maantiesiirto tehdään kuorma-autoilla tai maantieajoon optimoiduilla traktoriyhdistelmillä ja peltolevitykseen on oma optimoitu yhdistelmänsä. Lietelannan pumppaus pellon laidassa olevaan välivarastokonttiin on nykyaikaisilla pumpuilla nopeaa. Karjanlannan siirto talvella on myös yleistynyt, mutta lietelannalla se edellyttää ylimääräisen varastoaltan rakentamista peltoalueelle. Sopivissa oloissa lietelantaa voidaan siirtää myös putkea pitkin pumppaamalla suoraan peltolevitykseen, jopa luokkaa 2 km olevia siirtoetäisyyksiä on käytetty.

Lietelannasta voidaan poistaa vettä separoimalla, jolloin kuivajae voidaan käyttää kuivikkeena navetassa tai kuljettaa kauempana oleville pelloille. Siinä on yleensä nestejätettä enemmän fosforia. Typpipitoisempi nestejätettä voidaan levittää jopa sadettamalla lantavaraston lähellä sijaitseville pelloille. Lannan jakaantuminen fosfori- ja typpipitoiseen fraktioon mahdollistaa myös osittaisen täsmälannoituksen. Mädätysjäännöksen jalostaminen pidemmälle erilaisiksi lannoitetuotteiksi parantaisi niiden kuljetettavuutta kauemmaksi kasvinviljelytiloille korvaamaan mineraalilannoitteita. Uudentyyppisten kierrätyslannoitevalmisteiden sopivan käyttömäärän levittäminen tiloilla vaatii kuitenkin myös levityslaitteiston kehittämistä. (Luostarinen ym.. 2020)

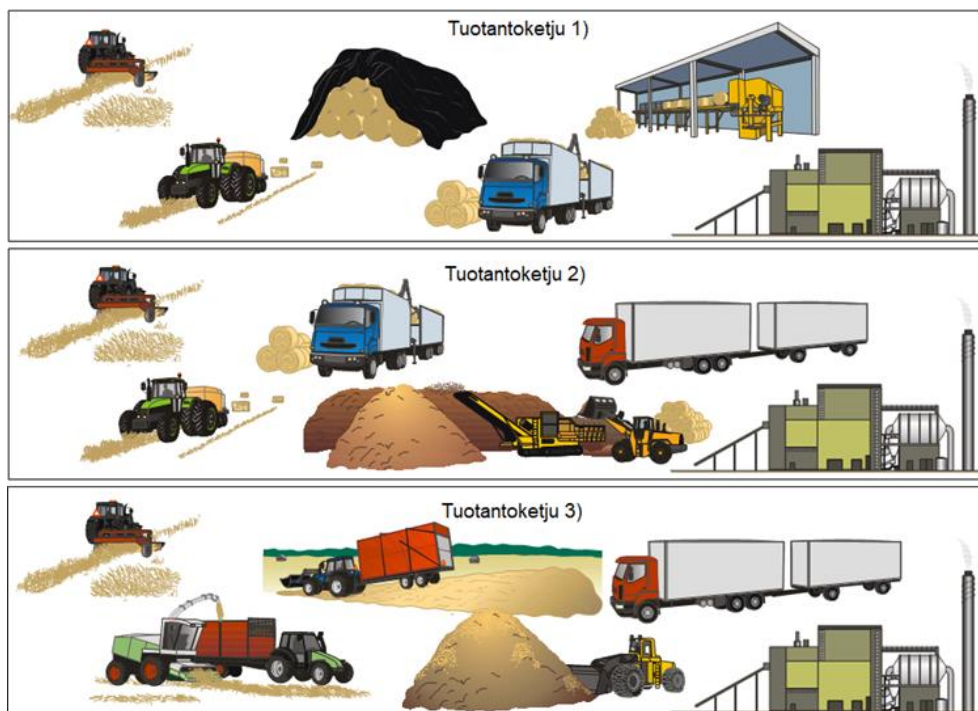
Biokaasulaitokset yleistyvät suuremmilla maatiloilla nyt nopeasti energian kallistumisen takia ja korkeiden investointitukien (maksimissaan 50 %) ansiosta. Kannattaa kuitenkin muistaa, että lannan määrä vähenee vain noin 5 % kaasutusprosessissa, edelleen kuljetettavaa ja levitettävää jää 95 % alkuperäisestä lannan määrästä (Marttinen ym. 2015). Kohtuullisen helposti jopa liikkeneapolttoaineena hyödynnettävä bioenergia ja lannan ravinteiden käyttökelpoisuuden parantaminen ovat biokaasulaitoksissa ehdottomasti positiivisia asioita.

Sivuvirtojen ja non-food tuotteiden toimitusketjut maatalojen ulkopuolelle

Ruokohelpi ja viljojen oljet

Agrobiomassojen logistiikkaa pellolta teollisuuteen on tutkittu ja kokeiltu Suomessa eniten ruokohelven osalta. Suomessa viljeltiin 2000 luvun alkupuolella ruokohelpeä jopa noin 20 000 ha:n alalla. Sittemmin (2021) ala on vähentynyt noin 3 000 hehtaariin (<http://statdb.luke.fi/>). 1990-luvulla tutkittiin helven käyttöä paperin valmistukseen. Siihen sen todettiin sopivan jopa koivukuitupuuta paremmin.

Suurimman buumin aikaan 2000 luvun alussa helpi toimitettiin CHP-laitoksille poltettavaksi yhdessä turpeen ja hakkeen kanssa (Lötjönen ja Knuutila 2009). Ongelmat polttoaineiden sekoituksessa, voimalaitosten haluttomuus investoida erillisiin agrobiomassojen käsittelylinjoihin ja päästöoikeuksien alhainen hinta tuohon aikaan kaatoivat orastavan liiketoiminnan. Nykyään helpeä käytetään pääasiassa tuotantoeläinten kuivikkeeksi. Neljäs mahdollisuus helven käytölle olisi nestemäisten liikennepolttoaineiden jalostaminen, mutta toistaiseksi sellaista tehdasta ei ole rakennettu.



Kuva 10. Ruokohelven ja oljen mahdollisia tuotantoketjuja pellolta jalostavalle laitokselle. Tk 1) Paalaus ja paalien toimittaminen kokonaisina käyttöpaikalle. Paalien silppuaminen. Tk 2) Paalaus, paalien silppuaminen väliterminalissa ja silpun sekoittaminen pääpolttoaineeseen. Toimitus käyttöpaikalle. Tk 3) Korjuu irtosilppuna, silpun sekoittaminen pääpolttoaineeseen väliterminalissa ja toimitus käyttöpaikalle. Kuvat: Jyväskylä Innovation Oy. Lähde: Lötjönen ja Knuutila 2009.

Viljojen oljet ja ruokohelpi ovat logistisesti ottaen hyvin samantyyppisiä materiaaleja. Kumpaa-kin varastoidaan ja käsitellään yleensä kuivana, alle 17 % kosteudessa. Kuivuminen tapahtuu pellolla tuulen ja auringon vaikutuksesta. Ruokohelpi pitää erikseen niittää (Kuva 10), kun taas oljet jäävät viljan leikkuupuinnin sivutuotteena pellolle karheille. Energiakäytössä ruokohelvellä paras menetelmä on kevätkorjuu, jolloin kasvusto on talven tuleennuttamaa ja se kuivuu

kevätsäissä nopeasti. Vilja taas puidaan syksyllä, jolloin karheiden kuivuminen ei ole niin varmaa. Kosteiden olkipaalien säilymistä voidaan parantaa muovikäärinnällä, mutta se nostaa kustannuksia (Lötjönen & Joutsjoki 2017).

Ruokohelven ja olkien kuljetuksen haasteena on materiaalin alhainen tiheys. Irtozilppua käytettäessä tilavuudeltaan 150 m³:n rekka-autoon saadaan vain noin 10 tonnin kuorma. Paalattaessa materiaali tiukkaan, mielellään kanttipaaleihin, voidaan päästä hieman yli 20 tonnin kuormiin (Lindh ym.. 2009). Rekkoihin voitaisiin ottaa 40 tonnin kuormia ja nykyään jopa suurempiakin. Tämä tarkoittaa, että helpeä ja olkea kuljetettaessa tonnikohtaiset kuljetuskustannukset ovat korkeammat kuin, jos voitaisiin kuljettaa maksimipainoisia kuormia.

Viljojen olkia on käytetty Tanskassa CHP-laitosten polttoaineena merkittäviä määriä jo vuosikymmenten ajan. Siten logistiikka on kehittynyt pitkälle ja sitä on kuvattu hyvin mm. raportissa Nikolaisen ym.. 1998. Tanskalaiset voimalaitokset hyväksyvät toimitusmuotona vain tietyn kokoiset kanttipaalit. Näin kuljetusautojen kapasiteetti voidaan optimoida ja kuormien purku automatisoida pitkälle.

Tanskassa olkikanttipaalit varastoidaan peltojen laidalla aumoissa, jotka on peitetty huolellisesti pressuilla (maapainotus pressujen helmoilla). Toinen yleinen varastointitapa on polttoaineen toimittajien terminaalissa, johon voidaan koota esimerkiksi tuhannen hehtaarin oljet. Nämäkin paaliaumat on peitetty kastumisen ehkäisemiseksi pressuilla. Samat toimijat huolehtivat yleensä myös oljen ostamisesta, paalaamisesta ja kuljetuksista (Nikolaisen ym.. 1998).

Laajamittainen olkien keruu voisi olla Suomessa mahdollista eteläisissä osissa maata, jossa on suhteellisen paljon peltoa ja vähän oljesta kilpailevaa karjataloutta. Ruokohelvellä olisi enemmän mahdollisuuksia Keski- ja Pohjois-Suomessa, jossa on laajoja käytöstä poistettuja turpeenostoaueita ja kosteikkoviljelymahdollisuuksia. Olkea ei liene järkeä poistaa pelloilta joka vuosi, sillä silloin maan hiilivaranto voi alkaa laskea. On arvioitu, että poisto voisi olla järkevää joka toinen tai kolmas vuosi (Powlson ym.. 2011).

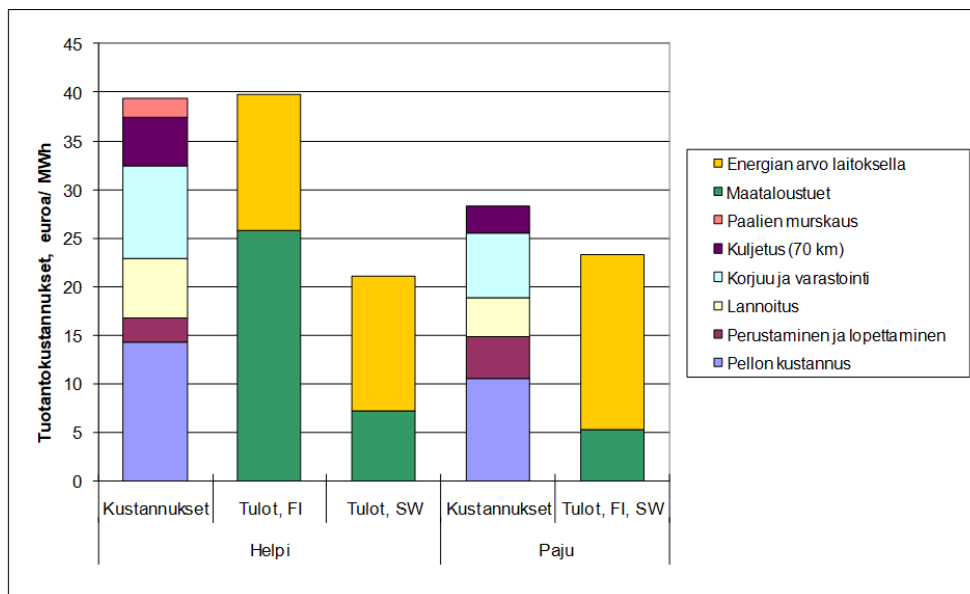
Energiapaju

Energiapajun peltoviljelyllä on Ruotsissa pitkät perinteet. Pinta-ala ei ole kuitenkaan vuosiin kasvanut merkittävästi, se lienee ollut maksimissaan noin 13 000 ha. Kannattavuus energiapajullakin on kyseenalainen ja taloudelliset riskit ovat suurempia kuin helpiviljelyssä (Kuva 11) (Lötjönen & Finell 2011). Suomessakin energiapajua on kokeiltu ja tutkittu jo pitkään, mutta viljelyalat ovat jääneet pieniksi. Energian tuotannon lisäksi pajua voidaan käyttää mm. biohiilen ja biokomposiittien valmistukseen. Myös pajusta saatavilla uuteaineilla voisi olla monenlaista käyttöä bioväreistä antimikrobisiin sovelluksiin (Viherä-Aarnio ym. 2022).

Keväthallat ovat joskus tappaneet nuoret pajukasvustot. Lisäksi voi olla, että Suomessa ei joka vuosi tule sopivaa korjuu aikaikkunaa. Korjuun aikaan peltomaan tulisi olla roudassa, mutta lunta ei saisi kovin paljoa. Ruotsissa tämä toteutuu usein ja pajun silppurikorjuu onnistuu myös 30–40 cm:n lumipeitteen alta (Lötjönen & Piispa 2010).

Ruotsissa paju korjataan usein säilörehun korjuusta modifioiduilla ajosilppureilla, jotka kaatavat ja hakettavat rivissä kasvavat pajut suoraan perävaunuun. Logistiikka perustuu vaihtolavakonttien käyttöön. Pellolla konttia vetää maataloustraktori perävaunualustalla, joka tuo täydet kontit rekka-auton ulottuville. Ajosilppurin perässä voi olla vielä pienempi, korkealta kippaava välivarastoperävaunu. Kuljetusrekkaan mahtuu yleensä kolme konttia. Kuljetusetäisyydet voimalaitokselle ovat tyypillisesti alle 100 km. Pajuhaketta kuljettavissa rekoissa on yleensä hieman

suurempi energiatiheys, kuin paalattua olkea tai ruokohelpeä kuljettavissa rekoissa. Toisaalta talvella korjatun pajuhakkeen kosteus on erittäin korkea, jopa 50 % (Lötjönen & Piispa 2010).



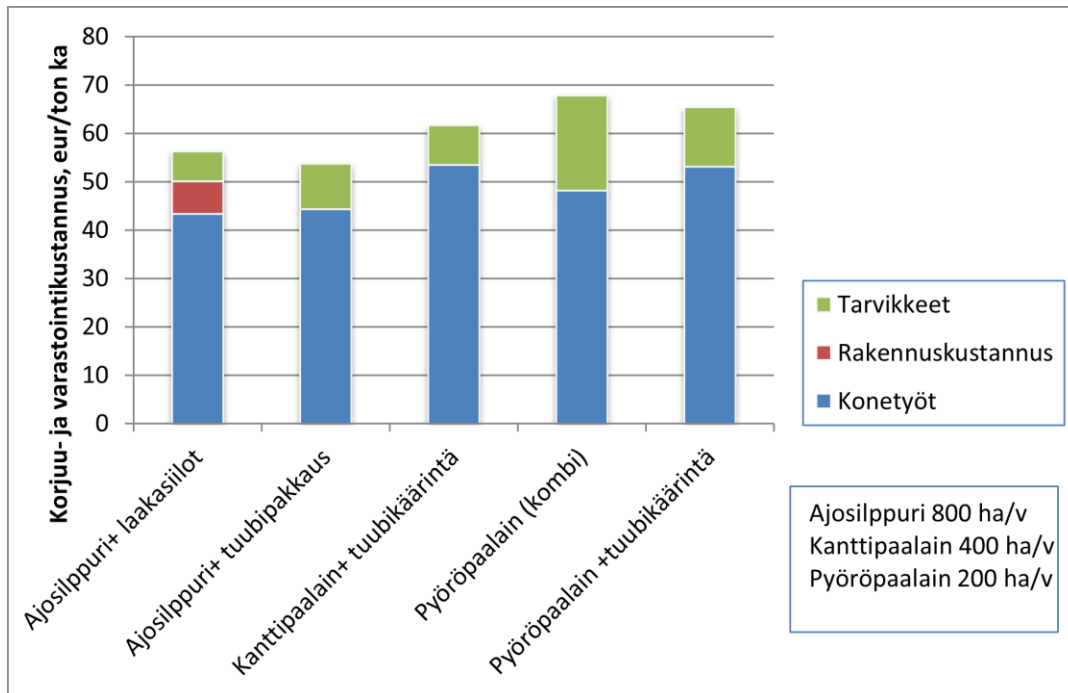
Kuva 11. Ruokohelven ja pajuntuotannon kustannukset sekä tulot Suomessa (FI) ja Ruotsissa (SW). Hinnat vuoden 2011 tasossa. Kustannukset ovat karkeasti ottaen samat kummassakin maassa, mutta tuloissa on enemmän eroja. Lähde: Lötjönen & Finell 2011.

Pajua voidaan korjata myös niputtavalla korjuukoneella. Pellolle tiputetut niput ajetaan metsävaunulla varastokasoihin, joissa ne saavat kuivua kesän yli. Peitettyjen ja kuivuneiden nippujen haketus voidaan tehdä silloin kun haketta tarvitaan. Menetelmä siis mahdollistaa kuivemman hakkeen kuin suorakorjuu ja hakkeen varastoinnin, mikä ei suorahaketusta käytettäessä ole mahdollista (Lötjönen & Piispa 2010).

Nurmi biokaasun raaka-aineeksi

Suomessa on tällä hetkellä noin 200 000 ha nurmipeltoja, joilta ei korjata satoa (Lähde: <https://stat.luke.fi/>). Nämä ovat viherkesantoja, viherlannoitusnurmia ja luonnonhoitopeltoja. Sato silputaan yleensä maahan viherlannoitteeksi. Näiltä voitaisiin kuitenkin korjata vuodessa yksi nurmisato ilman, että pellon ravinnetalous merkittävästi järkkyy. Sato voitaisiin käyttää biokaasun raaka-aineeksi ja mädäte palauttaa takaisin samoille pelloille tai viereisille pelloille, jotka tarvitsevat enemmän ravinteita. Etuna olisi myös se, että tällä tavalla viherlannoituksen ravinteita voitaisiin säilöä talven yli todennäköisesti pienemmin tappioin, kuin jättämällä vihermassa talveksi pellolle.

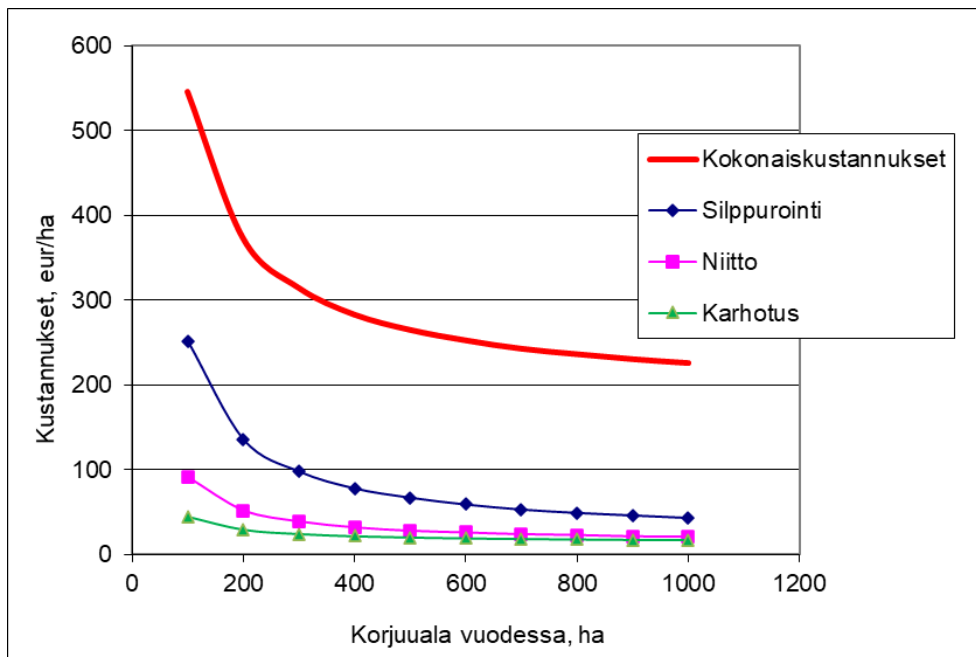
Apilapitoista nurmea voitaisiin myös viljellä biokaasulaitoksen raaka-aineeksi, jos nurmisadolle ei ole muuta käyttöä. Erityisen hyvin tämä sopisi karjattomien luomutilojen viljelykiertoon. Apilat pystyvät sitomaan ilmasta typpeä omaa kasvuun varten, joten ne eivät tarvitse typpilannoitusta. Biokaasunurmen korjuuseen ja varastointiin voidaan käyttää samoja korjuuketjuja, kuin varsinaisen säilörehun tuotantoonkin, eli irtosilppukorjuuta ja paalausta (Kuva 12).



Kuva 12. Biomassan korjuun ja varastoinnin kustannukset urakointitason menetelmillä. Kuljetetäisyydeksi on oletettu 6 km ja paalaukseen perustuvat menetelmät sisältävät myös paalien silppuamisen. Vuosittainen korjuuala on ilmoitettu laatikossa. Lähde: Lötjönen & Niemeläinen 2012.

”Hoidettu viljelemätön pelto biokaasuksi”-nimisessä projektissa mallinnettiin biokaasunurmen korjuu- ja varastointimenetelmien kustannuksia viidelle eri menetelmälle (Kuva 12). Laskelmissa käytetyt hinnat ovat 2010-luvun alkupuolen tasossa ja ketjut sisältävät kuljetuksen 6 km:n etäisyydelle, varastoinnin ja tarvittaessa paalien silppuamisen kustannukset. Ajosilppurin ja tuubipakkauksen käyttäminen oli mallin mukaan halvinta ja kalleinta säilöntä yksittäin käärityihin pyöröpaaleihin. Irtozilppukorjuussa kuormissa on vähemmän kuiva-ainetta kuin paalatussa tavarassa, ts. irtosilppukuormat ovat löyhempiä. Hehtaarin biomassan siirtämiseen pellolta biokaasulaitoksen varastoon tarvitaan enemmän ajokertoja irtosilppua käytettäessä. Silti paalauksen käyttäminen tuli irtosilppukorjuuta kannattavammaksi vasta, kun kuljetusmatka pellolta biokaasulaitokselle ylitti 20 km.

Eri korjuu- ja varastointiketjujen kustannuserot olivat yllättävän pieniä, mutta eivät merkityksellisiä. Menetelmien välisten erojen pienuus on sikäli hyvä asia, että tilanteen mukaan voidaan valita mikä tahansa Kuvan 12 mukainen korjuumenetelmä, eivätkä kustannukset kuitenkaan kasva radikaalisti. Korjuun ja varastoinnin kustannukset olivat kuitenkin niin korkeat, että nurmen käyttö sähköä ja lämpöä tuottavan biokaasulaitoksen pääasiallisena syötteenä ei ollut 2010-luvun hintatasossa kannattavaa. Projektissa mallinnettiin lisäksi sitä, kuinka vuotuisen korjuualan kasvu laskee yhden esimerkkiketjun kokonaiskustannuksia (Kuva 13).



Kuva 13. Ajosilppuriketjun koneiden ha-kustannukset vuotuisen käyttömäärän kasvaessa.

Bionurmi-projektissa käytiin perusteellisesti läpi nurmeen perustuvien keskitettyjen biokaasulaitosten mahdollisuuksia ja ongelmakohtia (Seppälä ym. 2014). Nurmen osuuden lisääntymisestä viljelykiirroissa todettiin olevan suurta hyötyä varsinkin Etelä-Suomen viljavaltaisessa viljelyssä. Koska nurmirehun hankintalogistiikka ja mädätteen levityslogistiikka söivät suuren osan kaasun myyntihinnasta, järjestelmää ei saatu tuon ajan hintatasoilla kannattavaksi edes investointitukien avulla. Tutkijat esittivätkin investointitukien vaihtoehdoksi energiayksikköperustaista tukea. Tähän päivään tultaessa hinnat ovat muuttuneet voimakkaasti niin kustannus- kuin tulopuolellakin, joten näiden laskelmien päivittämiseen olisi suuri tarve. Toisaalta päivittämistä vaikeuttaa se, ettei tiedetä mille tasolle hinnat tulevat asettumaan.

Palopuron agroekologinen symbioosi

Nurmibiomassa sopii parhaiten kuivamädätysperiaatteella toimivan biokaasulaitoksen syötteenä. Tällöin suhteellisen kuivan biomassan (ka. pitoisuus esim. 30–50 %) joukkoon ei tarvitse lisätä vettä, jotta se sopisi perinteisen märkämädätyslaitoksen syötteenä. Kuivikelannat sopivat hyvin täydentämään nurmibiomassaa kuivamädätyksessä. Jotta syötteitä saataisiin riittävästi, tarvitaan monesti useamman tilan yhteistyötä. Tällainen yhteistyökuvio onkin syntynyt Hyvinkään Palopuron kylälle (Helenius ym. 2017).

Palopuron tapauksessa biokaasulaitos varastoituneen ja tankkausasemineen on tilarenkaan suurimmalla tilalla, joka on luomukasvinviljelytila. Tilarenkaaseen kuuluvat kaksi muuta tilaa (luomukanatila ja -vihannestila) sijaitsevat samalla peltoaukiolla. Siten biokaasutukseen käytettävän nurmen, kananlannan ja mädätteen kuljetusmatkat ovat kohtuullisia, vaikka tilarenkaalla on käytössään noin 400 ha peltoa (Helenius ym. 2017).

Erytisen hyvin tämä konsepti sopii karjattomille luomutiloille, koska siellä apilanurmea joudutaan viljelemään viljelykierron ylläpitämiseksi. Mädättämällä nurmibiomassan lannoitusarvoa voidaan huomattavasti parantaa.

Suomen Lantakaasun suunnitelmat biokaasun tuottamiseksi

Suomen Lantakaasu (Valio ja St1:n yhteistyöyrittäjä) suunnittelee laajamittaista biokaasun tuotantoa ja jakelua lähinnä raskaan liikenteen tarpeisiin. Syötteinä olisivat naudat lietelanta, erilaiset nurmibiomassat ja elintarviketeollisuuden sivuvirrat. Toimintatapoja voi olla kaksi. Ensimmäisessä vaihtoehdossa biokaasua tuotetaan yhden tilan tai muutaman lähitalon yhteisessä biokaasulaitoksessa. Kaasu viedään jalostettavaksi, nesteytettäväksi ja myytäväksi suurempaan keskittymään. Toisessa vaihtoehdossa usean tilan lanta ja muut syötteen kuljetetaan keskitettyihin biokaasulaitoksiin, joiden yhteydessä on myös kaasun jalostus (Valio 2021, Valio 2022).

Monesta tekijästä riippuu, minkälainen toimintatapa on missäkin kohteessa järkevin. Näitä ovat mm. tilakoko, tilojen väliset etäisyydet, alueen tiestö, tilojen taloudelliset mahdollisuudet investointeihin, investointituet ja fossiilisten polttoaineiden hinnat pitkällä aikavälillä. Jälkimmäinen vaihtoehto on maatalojen kannalta riskittömin, koska se ei sisällä kovinkaan paljoa tilakohtaisia investointeja. Toisaalta kuljetuksia (=logistiikkaa) tulee paljon, koska lanta on ensin kuljetettava keskitettyyn biokaasulaitokseen ja mädäte takaisin tiloille. Monesti tämä voidaan tehdä samalla tankkiautolla paluukuormia hyödyntäen. Lisäksi on tutkittu mahdollisuutta jalostaa mädätteestä väkevöityjä lannoitteita, joita kannattaisi kuljettaa pidemmälle. Lietelanta sisältää kuitenkin noin 90–95 % vettä, jonka määrä ei mädätyksessä juuri vähene.

Selvää on, että vuoden 2022 muutos venäläisen maakaasun saatavuudessa nostaa biokaasun kysyntää ja todennäköisesti biokaasulla on nouseva hintakehitys. Tämä nostaa monen biokaasuhankeen kannattavuusrajan yläpuolelle, mikäli fossiilisen energian hinnat jäävät totuttua hinatasoa korkeammalle.

7.4. Maatalouslogistiikan tutkimuksessa on kehitettävää

Maatalouslogistiikkaa on tutkittu ja kehitetty Suomessa vain satunnaisesti osana kokonaisvaltaisempia projekteja. Käsityksemme mukaan tilanne on samankaltainen Helsingin yliopiston agroteknologian laitoksella, Työtehoseurassa (TTS) ja Luonnonvarakeskuksessa. Maatalouslogistiikan tutkimus on Suomessa selvästi vähäisempää kuin metsälogistiikan tai tavaralogistiikan tutkimus. Yksi syy tähän saattaa olla maatalouslogistiikan monipuolisuus ja se, että yhtä maatalouden työvaihetta tehdään monesti vain muutamia viikkoja vuodessa, jolloin kyseisen työvaiheen logistiikan optimointiin ei kannata merkittävästi satsata.

Maatalouslogistiikan mallinnusta on tehty tyypillisesti Excelillä, jolloin tulokseksi saadaan yleensä staattinen malli. Jonkin verran mallinnukseen on käytetty myös Matlab- ja Stella-ohjelmistoja. Stellalla on tuotettu mm. Viljan korjuun ja varastoinnin malli (Suomi ym. 2003), sekä Nurmirehun korjuun ja varastoinnin malli (Suokannas & Niskanen 2010). Stellalla saadaan aikaan dynaaminen malli, jolloin esimerkiksi erilaisten säätekijöiden vaikutusta voidaan simuloida. Stella ei valitettavasti ole kovin kätevä maatalouslogistiikan mallintamiseen, ennemminkin se sopii teollisten prosessien mallintamiseen.

TTS on kehittänyt maatalouden töiden suunnitteluun TTS-Manager-ohjelman, sekä kustannusten ja koneketjujen hallintaan TTS-Kone-ohjelman. TTS-Managerilla pystytään nykyään laskemaan kuljetus- ja siirtotöihin kulunutta aikaa peltolohkokarttojen avulla.

Suomessa on vahva osaaminen paikkatietojärjestelmiin ja karttaoptimointeihin, joita voidaan käyttää maa- ja metsätalouslogistiikan tukena. Tarve uusien logistiikkaohjelmistojen käyttöön-ottoon ja hyödyntämiseen maataloustutkimuksessa on ilmeinen.

Ydinviestit

- Maa- ja puutarhatalouden käyttämät logistiikkaketjut ovat jopa monimuotoisempia kuin metsätalouden logistiikkaketjut, koska vuodenajan mukaan tehdään hyvin erityyppisiä töitä. Siten logistiikan optimointi on työlästä, eikä sitä ole juurikaan tehty.
- Maa- ja puutarhatalouden käyttämän liikennepolttoaineen määrä on kasvanut viime vuosina. Tämä johtunee tilakokojen kasvusta ja siihen liittyvistä kasvaneista kuljetusmääristä ja teillä ajetuista kilometreistä. Tilusjärjestelyille olisi siten monin paikoin suuri tarve.
- Pelto-tie-logistiikat asettavat kuljetuskalustolle erilaisia vaatimuksia. Ratkaisuna tähän ovat mm. vaihtolavajärjestelmien kehittäminen ja kaluston rengaspaineiden ajonaikainen säätö. Monesti nämä ovat kannattavia vain urakointikäytössä.
- Maatalouden sivuvirtoja ovat mm. viljojen oljet, biokaasulanta ja -nurmi, ruokohelpi sekä pelloilla viljeltävä paju. Näille on logistiset ketjut olemassa ja niitä on demonstroitu, mutta kannattavuus on ollut toistaiseksi heikkoa.
- Logistiikkaosaamiselle ja -ohjelmistoille olisi suuri tarve tilakokojen kasvaessa ja sivuvirtojen kysynnän yleistyessä. Uusista työkoneista on mahdollista saada mm. työmenekkidataa logistiikkaoptimointiin. Osaamista datan hyödyntämiseen tulisi kehittää, koska työkoneista tuleva data ei ole suoraan käyttökelpoista.

Viitteet

- Ahokas, J. 2013. Traktorit ja työkoneet. ENPOS – Energy positive farm. 47 s. https://enpos.weebly.com/uploads/3/6/7/2/3672459/traktorit_ja_tykoneet.pdf
- Helenius, J., Koppelmäki, K. & Virkkunen, E. (toim.). 2017. Agroekologinen symbioosi ravinne- ja energiaomavaraisessa ruoantuotannossa. Ympäristöministeriön raportteja 18/2017. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80004/YMra_18_2017-.pdf?sequence=1
- Jaakkonen, A.-K. 2021. Maa- ja puutarhatilat lämpiävät uusiutuvalla energialla, työkoneet kulkevat tuontienergialla. 18.5.2021. <https://www.luke.fi/fi/uutiset/maa-ja-puutarhatilat-lampiaivat-uusiutuvalla-energialla-tyokoneet-kulkevat-tuontienergialla>
- Lindh, T., Paappanen, T., Rinne, S., Sivonen, K. & Wihersaari, M. 2009. Reed canary grass transportation costs – Reducing costs and increasing feasible transportation distances. *Bio-mass and bioenergy* 33: 209–212
- Luonnonvarakeskus 2022. Maatalouslaskenta. Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus. Julkaistu 24.5.2022. [Maatalouslaskenta 2020: Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus 2020 | Luonnonvarakeskus \(luke.fi\)](https://www.luke.fi/maatalouslaskenta-2020-maa-ja-puutarhatalouden-energiankulutus-2020)
- 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. Natural Resources Institute Finland, Helsinki. 76 p.
- Lötjönen, T. & Finell, M. 2011. Miksi ruokohelven ja pajun viljely ei lisääntynyt? *Koneviesti* (59) 17/2011. s. 36–38.

- Lötjönen, T. & Joutsjoki, V. 2017. Harvest and storage of moist cereal straw - experiments 2013–2014 and 2015–2016. CLIC Innovation Research report no D 1.2.1-2. 30 p.
- Lötjönen, T. & Knuuttila, K. (toim.). 2009. Pelloilta energiaa - opas ruokohelven käyttäjille. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jyväskylä Innovation. 44 s.
- Lötjönen, T. & Niemeläinen, O. 2012. Harvesting and storage alternatives for biomass feedstocks from green fallow and nature management fields in Finland. Proceedings of The XVI International Silage Conference, Hämeenlinna, Finland. 2-4.7.2012. pp. 466-467.
- Lötjönen, T. & Piispa, M. 2010. Ruotsissa tehdään pajusta sähköä ja lämpöä. BioEnergia 3/2010. s. 16–18.
- Marttinen, S., Tampio, E., Sinkko, T., Timonen, K., Luostarinen, S., Grönroos, J. & Manninen, K. 2015. Biokaasulaitokset - syötteistä lopputuotteisiin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 14/2015. Luonnonvarakeskus. 67 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-013-9>
- Nikolaisen, L., Nielsen, C., Larsen, M. G, Nielsen, V., Zielke, U., Kristensen, J. K. & Holm-Christensen, B. 1998. Straw for energy production. Technology – Environment –Economy. Second Edition. The Centre for Biomass Technology. 53 p.
- Paavilainen, L., Tulppala, J., Varhimo, A., Ranua, M. & Pere, J. 1996. Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa. Tutkimuksen loppuraportti, IV osa. Ruokohelpisulfaattimassa hienopaperin raaka-aineena. (Abstract: Reed canary grass sulphate pulp as raw material for fine paper). Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 6. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus, 1997. 57 s. + 12 liitettä.
- Powlson, D., Glendining, M., Coleman, K. & Whitmore, A. 2011. Implications for soil properties of removing cereal straw: Results from long-term studies. Agronomy Journal, 103: 279–287.
- Salo, R.(toim.). 2000. Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi. Tutkimuksen loppuraportti, osa I. Ruokohelven jalostus ja viljely. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 84. 86 s.
- Seppälä, A., Kässi, P., Lehtonen, H., Aro-Heinilä, E., Niemeläinen, O., Lehtonen, E., Höhn, J., Salo, T., Keskitalo, M., Nysand, M., Winquist, E., Luostarinen, S. & Paavola, T. 2014. Nurmesta biokaasua liikennepolttoaineeksi. Bionurmi-hankkeen loppuraportti. MTT Raportti 151. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Jokioinen. 97 s.
- Suomi, P., Lötjönen, T., Mikkola, H., Kirkkari, A-M. & Palva, R. 2003. Viljan korjuu ja varastointi laajenevalla viljatilalla. Maa- ja elintarviketalous 31. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT). 100 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-729-798-X>
- Suokannas, A., & Niskanen, M. 2010) System modelling in studying cultivation, harvesting and storage of grass forage. In Schnyder, G H., Isselstein, J., Taube, F., Auerswald, K., Schellberg, J., Wachendorf, M., Herrmann, A., Gierus, M., Wrage, N. & Hopkinsrassland, A. (eds.). In a changing world: book of abstract: 23th General Meeting of the European Grassland Federation Kiel, Germany, 29.8.–2.9.2010. European Grassland Federation.
- Vainio, E. (toim.). 2022. Maatalouden typpihaaste – vaihtoehtoja ja ratkaisuja. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022.

- Valio, 2021. Valio ja St1 tuottamaan biokaasua lannasta. <https://www.valio.fi/yritys/media/uutiset/valio-ja-st1-tuottamaan-biokaasua-lannasta-uusi-pelinavaus-liikenteen-paastojen-pienentamiseksi/> (viitattu 20.6.2022)
- Valio, 2022. Valion ja St1:n yhteisyritys Suomen Lantakaasu Oy valmiina lisäämään kotimaista biokaasuntuotantoa. <https://www.valio.fi/yritys/media/uutiset/valion-ja-st1n-yhteisyritys-suomen-lantakaasu-oy-valmiina-lisaamaan-kotimaista-biokaasuntuotantoa/> (viitattu 20.6.2022)
- Viherä-Aarnio, A., Jyske, T. & Beuker, E. (toim.). 2022. Pajut biokierrotaloudessa: Materiaaleja, arvoaineita, ympäristöhyötyjä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 129 s.

8. Kalatalouden pää- ja sivuvirrat

Kaija Saarni, Riitta Rahkonen ja Jari Setälä

8.1. Johdanto

Kala on terveellistä ruokaa, jonka käyttöä suomalaisten tulisi ravitsemussuositusten mukaan lisätä. Myönteisten terveystieteiden lisäksi kalan käyttö pienentää ruokavalion ilmastovaikutuksia ja luo kotimaahan työtä ja toimeentuloa. Kalastus poistaa ravinteita vesistöistä ja kalan kasvatusta on tehokas tapa tuottaa eläinproteiinia ravinnoksi. Suomessa on hyvät edellytykset kalan tuotantoon, koska maassa on paljon vesistöjä ja pitkä rannikko. Kotimaisen kalan osuus kokonaiskulutuksesta on kuitenkin vain 28 % ja kalan kauppataase noin 350 miljoonaa euroa alijäämäinen. Vesistöissä on edelleen hyödyntämättömiä kalavaroja ja hyödynnettyjen kalavarojen arvoa voidaan nostaa elintarvikekäyttöä lisäämällä. Myös kalateollisuuden kasvavien sivuvirtojen arvoa voidaan nostaa monipuolisemmalla hyödyntämisellä. Katkeamaton kylmäketju on oleellista kalojen ja kalatuotteiden kuljetuksessa.

Euroopan meri- ja kalatalousrahaston Suomen toimintaohjelma on tukenut kalatalouden edistämistä monin keinoin jo edellisellä rahastokaudella 2014–2020. Tuolloin perustettiin kalatalouden innovaatio-ohjelmat, jonka yhtenä osana oli kotimaisten kalavarojen käytön monipuolistamista edistävä [Blue Products -ohjelma](#). Luonnonvarakeskuksen (Luke), Valtion Teknillisen tutkimuslaitoksen (VTT) ja Turun Yliopiston (TYO) yhteistyönä tutkittiin kalan uusia hyödyntämismahdollisuuksia. Österbottens fiskarförbund r.f. ja Aktion Österbotten koordinoivat tämän innovaatio-ohjelman toteuttamista.

Seuraavissa alaluvuissa käydään läpi kalatalouden keskeiset pää- ja sivuvirrat, niiden käyttö ja potentiaali. Pääasiallisena lähteenä Tiekartta kalan lisäarvoon -raportti.

8.2. Kalansaaliit, niiden käyttö ja syntyvät sivuvirrat

Silakka ja kilohaili ovat suurimmat kalaresurssimme, mutta hyödyntämätöntä sivuvirtaa siitä syntyy nykyisellä käytöllä hyvin vähän. Silakasta yli 80 prosenttia käytetään turkiseläinten ja kalarehujen raaka-aineena. Vain kolme prosenttia silakkasaaliista käytetään elintarvikkeena Suomessa. Kotimaan turkiseläinraaka-aine on perinteisesti ollut silakan pääostaja, mutta kysyntä on viime vuosina vähentynyt. Suomen kalajauhotehdas käyttää noin kolmanneksen Suomen silakasta ja kilohailista. Vuoden 2018 lopulla uusi kalajauhotehdas aloitti toimintansa Virossa ja suomalaiset troolialukset purkavat nykyisin myös sinne saalistaan.

Tällä hetkellä vähäinen osa kokonaissaaliista lajitellaan, koska pääosa markkinoista on rehuteollisuudessa. Iso osa silakasta on liian pientä fileeteollisuuden raaka-aineeksi. Vain noin 10 - 25 prosenttia lajitellusta silakasta on fileekokoista. Pienen tai lajittelemattoman silakan uudet käyttömahdollisuudet ihmisravinnoksi ja lisäarvotuotteiksi avaisivat mahdollisuuksia silakan arvonn kasvattamiseen. Pääosa silakasta puretaan Uudenkaupungin, Taivassalon, Mustasaaren, Reposaaren, Kemiönsaaren ja Kaskisten kalasatamiin (Kuva 14). Silakkaa fileoitiin Suomessa vajaa kolme miljoonaa kiloa vuonna 2018. Silakan kokonaispainosta saadaan vajaa 40 prosenttia filettä. Fileoitavasta silakasta jää noin 2 miljoonaa kiloa päitä, suolia, eviä, vatsaliepeitä, suku- tuotteita ja ruotoja. Sivuvirrat ovat fileoinnin yhteydessä mahdollista erottaa eri osioiksi. Silakan fileointi on keskittynyt muutamaa harvaan paikkaan, joten fileointiteollisuuden sivuvirrat on

logistisesti helppo ottaa hyötykäyttöön. Tällä hetkellä silakka fileoidaan viidessä paikassa (Turku, Kaskinen, Reposaaari, Uusikaupunki, ja Taivassalo).

Arvonlisäyksen kannalta tärkeä sivuvirta on myös **silakan mäti**, jota voidaan ottaa talteen silakkarysäsaaliista kutemaan tulleista silakoista. Pääosa silakan rysäkalastuksesta tapahtuu pohjoisella Saaristomerellä ja Selkämerellä. Saaristomeren saaliista pääosa vastaanotetaan kahdessa yrityksessä. Toisessa yrityksessä mätiä on otettu vuosikausia talteen, parhaimmillaan kymmeniä tonneja. Nykyistä talteenottoa on mahdollisuus edelleen tehostaa. Rysäsilakan käsittelyn yhteydessä voidaan ottaa talteen kymmeniä tonneja suomuja.

Taulukko 1. Suomen kaupallisen kalastuksen saaliit (1000 kg) meri- ja sisävesialueilla vuonna 2019 ja 2020

		2019	2020
Merikalastus	Silakka	112 722	92 481
	Kilohaili	16 080	12 502
	Kuore	2 415	3 398
	Muu merikalastus	3 915	3 966
Sisävesikalastus	Muikku	2 618	2 094
	Särki ja lahna	1 195	1 029
	Kuore	468	313
	Kuha, siika, ahven ja muut lajit	2 113	1 876

Suomessa on silakan ja kilohailin lisäksi myös muita kalalajeja, joiden arvoa voitaisiin lisätä tai pyyntiä kasvattaa. **Muikku** on sisävesien perinteinen ruokakalalaji. Muikkusaaliista osa on niin pienikokoista, että sitä on vaikea hyödyntää ihmisravinnoksi. Pienten muikkujen hyödyntäminen mahdollistaisi pyynnin lisäämisen ja saaliin arvon nostamisen. Muikkua pyydetään myös Perämereltä, jossa sitä nimitetään maivaksi. Perämeren pyynnillä tähdätään usein mätikalan pyyntiin, jonka yhteydessä syntyvälle muikunlihalle olisi hyvä löytää rehukäyttöä arvokkaammat markkinat.

Merikuoreen saalis on viime vuosina kasvanut voimakkaasti uusien vientimarkkinoiden ansiosta. Kuore lajitellaan ja pakastetaan Suomessa tai virolaiset ostajat hakevat kalan rannasta. Sisävesillä on ollut kuoreen vientikokeiluja, mutta vienti ei ole vakiintunut samalla tavalla kuin rannikolla. Rannikolla kuoretta pyydetään eniten pohjoiselta Saaristomereltä, mutta myös Selkämereltä ja Merenkurkusta. Kuore on valkolihainen erinomainen ruokakala. Suomeen ei ole kuitenkaan kehittynyt kuoreen syöntitottumusta, vaikka se on ollut joissakin paikoissa perinnetuokkalajikin.

Särkikalojen, kuten särjen ja lahnan pyyntiä ja käyttöä ihmisravinnoksi on pyritty edistämään vuosikymmenten aikana, mutta vasta viime vuosina niiden arvostus on lähtenyt nousuun. Vuonna 2018 saaliista runsas 800 tonnia jalostettiin ihmisravinnoksi. Vuoden 2020 alussa avattiin uusi särjen purkituslinjasto, jolla voidaan jalostaa tehokkaasti isompia määriä särkeä. Sen sijaan lahnan kaupallisessa tuotannossa on vielä ollut ongelmia. Särkikalojen laatu vaihtelee vuodenaikojen mukaan ja saalis on kausiluonteista. Teollisessa tuotannossa raaka-aineen saatavuus nousee ongelmaksi, vaikka usein tuodaankin esiin särkikalojen suuri potentiaali vesistöissämme. Saatavuutta rajoittaa muun muassa kaupallisten kalastajien hupeneva määrä.

Vesien hoitokalastuksen saaliit eivät yleensä kelpaa elintarviketuotannon raaka-aineeksi, koska niitä ei ole pyydetty elintarvikelaatua silmällä pitäen. Parhaiten on onnistuttu Säkylän Pyhäjärvellä, jossa hoitokalastus on ainakin särjen osalta muuttunut kaupalliseksi pyynniksi.

Särkikalojen jalostuksessa on keskittymiä Säkylän lisäksi muun muassa Kuusamossa, Palta-mossa, Nurmeksessa, Päijänteellä ja Uudessakaarlepyyssä. Keskittymät mahdollistavat isoja sivuvirtamääriä yhdestä paikasta. Perkauksen ja massauksen yhteydessä syntyvät perkeet, päät, ruodot, nahat ja suomut ovat mahdollisia raaka-ainetta jatkojalostukseen.

8.3. Kalatalouden sivuvirroista lisää arvoa

Suomen lohiteollisuudessa syntyy yli 10 miljoonaa kiloa sivuvirtaa, jota voidaan hyödyntää lisäarvotuotteiden valmistuksessa. Lohiteollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen on laskelmien mukaan kannattavaa noin 1,5 miljoonan kilon raaka-ainemäärällä. Lohiteollisuuden sivuvirtojen määrä riittää hyvin kannattavaan tuotantoon, ja raaka-ainemäärät ovat näillä näkymin edelleen kasvussa. Isoimmat yritykset ovat kasvattaneet lohikalojen jalostuskapasiteettiaan ja tähtäävät jatkossa jalosteiden vientiin (Kuva 14). Isojen yritysten lohenjalostuksen omat sivuvirrat riittävät kannattavaan jalostukseen. Pienempien yritysten sivuvirtojen jalostuksesta saadaan kannattavaa, jos sivuvirrat keräillään ja keskitetään samaan laitokseen.

Lohikalojen sivuvirrat ovat rasvaisia ja niistä saatava kalaöljy ja proteiinit luovat perustan kannattavalla tuotannolle. Raaka-aineissa on erilaisia jakeita, joita voidaan hyödyntää arvoa lisäävästi. Esimerkiksi nahoista saatava kalagelatiini ja kollageenihydrolysaatti ovat huomattavasti arvokkaampaa kuin rehukäyttöön menevä kalajauho. Kalagelatiinille on löydetty monia lupauksia elintarvikesovelluksia (Hiidenhovi ym.. 2018). Kollageenihydrolysaatin, mineraalien ja proteiinien käyttömahdollisuudet ovat laajat elintarvikkeissa, ravintolisissä ja kosmetiikassa (Välilmaa ym.. 2019). Proteiinihydrolysaateilla on todettu myös terveyttä edistäviä vaikutuksia (Mäkinen ym.. 2022).

Raaka-aineen riittävä saatavuus ja maailmanmarkkinoille sopivat perustuotteet mahdollistavat kannattavan tuotannon aloittamisen. Kalaöljy, hydrolysaatit ja kivennäisaineet ovat välituotteita, joista voidaan käyttää elintarvikkeiden, ravinnelisien, kosmetiikkatuotteiden ja lääkkeenomaisten tuotteiden valmistuksessa. Lopputuotteiden vähittäismyyntihinnat voivat olla hyvin korkeita, mutta välituotteiden markkinahinnoista ja markkinasegmenttien koosta ja tarpeista olisi hyvä saada lisätietoa. Tuotannon arvoa ja kannattavuutta voidaan parantaa, jos Suomen markkinoille luodaan kotimaisia raaka-aineita hyödyntäviä lisäarvotuotteita valmistavia ja myyviä arvoketjuja. Tutkimusta ja investointitukia olisi hyvä suunnata siten, että ne mahdollistavat pidemmällä aikavälillä kaikkien jakeiden arvon lisäämisen ja tuotteistamisen. Lisäarvotuotteiden markkinoita pitäisi selvittää, jotta laskelmia voidaan tarkentaa.

8.4. Euroopan meri-, kalatalous- ja vesiviljelyrahaston sivuvirta- ja logistiikkatoimenpiteitä

Panostuksia kalatalouden sivuvirtojen ja logistiikan tehostamiseen tullaan vahvistamaan. Valtioneuvosto periaatepäätöksensä 8.7.2021 hyväksytyssä Kotimaisen kalan edistämishjelmassa on laaja toimenpidepaketti koskien myös sivuvirtojen hyödyntämistä ja logistiikan kehittämistä:

- Vauhditetaan vajaasti hyödynnettyjen kalojen sekä teollisuuden sivuvirtojen jalostusasteen nostamista. Euroopan meri-, kalatalous- ja vesiviljelyrahastosta 2021-

2027 (EMKVR) myönnetään normaalia korkeampaa investointi- ja tuotekehitystukea vajaasti hyödynnettyjen lajien sekä kalateollisuuden sivuvirtojen jalostukseen elintarviketuotteiksi ja korkean lisäarvon tuotteiksi

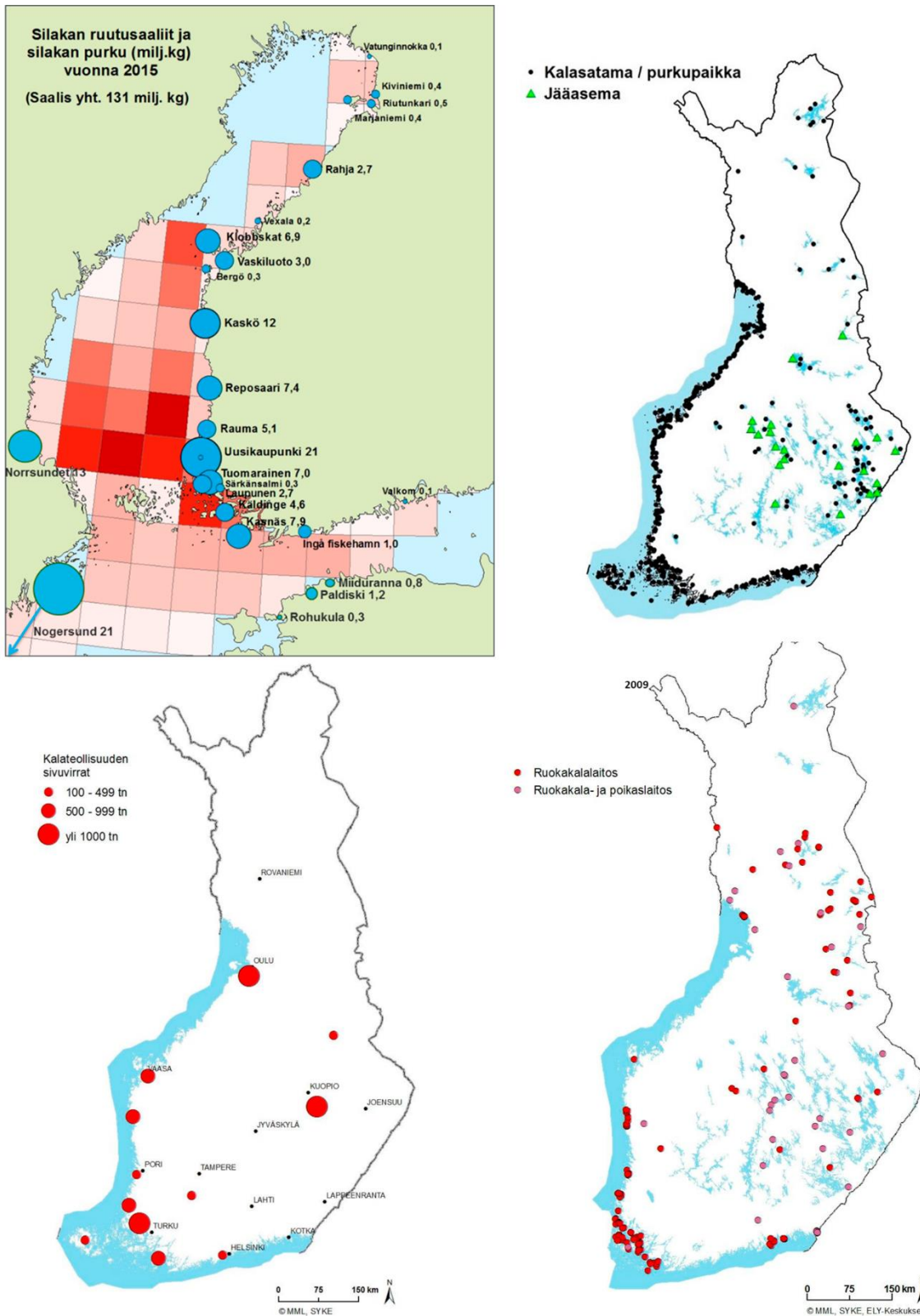
- Käynnistetään Älykäs kalatalous -hankekokonaisuus toimialan tehokkuuden parantamiseksi digitalisaation ja tiedon hyödyntämisen avulla. EMKVR:n rahoitettavan toimen avulla vauhditetaan yrityslähtöistä kehitystyötä uusien toimintamallien, etäoperoinnin, konenäön, automatisaation ja alustatalouden ratkaisujen käyttöönottamiseksi.
- Kehitetään kalan pyynti-, logistiikka- ja käsittelyprosesseja. EMKVR:n rahoitettavassa tutkimuksen ja kalastajien kumppanuusohjelmassa kehitetään alan yritysten ja tutkimuksen yhteistyönä kustannustehokkaita yritysten kannattavuutta ja työolosuhteita parantavia ratkaisuja kalan pyynnin, logistiikan ja saaliin käsittelyn kehittämiseksi.

8.5. Logistiikkaselvityksiä ja tutkimustarpeita

Logistiikkaa on pyritty kehittämään useissa projekteissa. Esimerkiksi Järvikalan kuljetuslogistiikka Itä-Suomen alueella -selvityksen mukaan kalasaaliiden logistiikkajärjestelmä ei ole pääsääntöisesti hyvin organisoitu ja kustannustehokas, koska kalastajat toimivat itsenäisesti, volyymit ovat pieniä ja ne ovat sesonkiluonteisia. Logistiikan keskeisiä haasteita Etelä-Savossa, Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalassa ovat mm: vaihteleva ja pieni saaliskoko, kalastajien vähäisyys ja hajanaisuus, lyhytaikainen pyynti- ja pakastuskausi sekä kalatuotteiden ja tuottajahintojen alhainen taso.

Selvityksen keskeisimmät toimenpidesuosituksukset:

- Hankintaketjun tehokkaampi organisointi, jotta kysynnän ja tarjonnan ennustettavuutta voidaan parantamaan
- Särkikalojen sivusaaliiden sumputuksen kehittäminen, jotta toimituserät kasvat ja logistiikka tehostuu
- Kokeilu kylmäkonttiin perustuvasta logistiikkajärjestelmästä
- Sähköisien järjestelmien kehittäminen, jolla tuetaan kalastajan ja jalostajan välistä kaupankäyntiä ja kuljetusten tehostamista



Kuva 14. Kalastuksen, vesiviljelyn ja kalan jalostuksen sijoittuminen Suomessa. Lähteenä pp-esiselmä "Raaka-aineen saatavuus ja laatu." Jari Setälä ja Guy Svanbäck, 10.11.2021 Kuusamo.

Ydinviestit

- Silakasta ja kilohailista syntyy hyödyntämätöntä sivuvirtaa nykyisin hyvin vähän
- Hajanaiset ja voimakkaasti vaihtelevat sisävesien ja rannikkoalueiden saaliit hankaloittavat kalavirtojen tehokasta hallintaa
- Lohiteollisuuden runsaita sivuvirtoja voitaisiin käyttää lisäarvotuotteiden valmistukseen
- Suunnitelmallisia panostuksia vajaasti hyödynnettyjen kalojen ja sivuvirtojen jalostusasteen nostamiseksi jatketaan edelleen

Viitteet

Hiidenhovi, J., Mäkinen, S., Mattila, P., Niva, T., Setälä, J., & Välimaa, A.L. 2018. Isolation of value-added fractions from roach scales. In Abstract book: 48th Conference of the West European Fish Technologists' Association. West European Fish Technologists Association.

Välimaa, A.L., Mäkinen, S., Mattila, P., Marnila, P., Pihlanto, A., Mäki, M., & Hiidenhovi, J. 2019. Fish and fish side streams are valuable sources of high-value components. *Food Quality and Safety*, 3(4): 209-226.

Mäkinen, S., Hiidenhovi, J., Huang, X., Lima, A.d.S., Azevedo, L., Setälä, J., Välimaa, A.-L., Mattila, P & Granato, D. 2022. Production of Bioactive Peptides from Baltic Herring (*Clupea harengus* membras): Dipeptidyl Peptidase-4 Inhibitory, Antioxidant and Antiproliferative Properties. *Molecules* 27(18): 5816. <https://doi.org/10.3390/molecules27185816>

9. Sivuvirtojen logistiikan ohjaaminen politiikalla

Janne Helin ja Pasi Rikkonen

9.1. Johdanto

Sivutuotevirtojen hyödyntämistä tuetaan nykyisin laajalla skaalalla erilaisia suoraan tai välillisesti vaikuttavia politiikkatoimia. Näitä politiikkatoimia voidaan perustella esimerkiksi neitseellisten materiaalien käytön korvaamisella, tuotannon ympäristövaikutuksen vähentämisellä tai kotimaisuusasteen kasvattamisella. On kuitenkin hyvä muistaa, ettei sivuvirtojen käyttö itsessään välttämättä synnytä sellaisia tuotteita tai niiden tuotantopanoksia, joista kuluttaja kokisi lisäarvoa tai jotka muuten yhteiskunnallisessa mielessä olisivat arvokkaampia, vaan virtojen käytön tukemiseksi politiikan keinoin on kyettävä osoittamaan mitä yhteiskunnallista ongelmaa niiden lisääntynyt käyttö on ratkaisemassa.

Taloustieteen näkökulmasta sivutuotevirtojen ohjautuminen markkinoiden määrittämään kohteeseen ohjaa niitä yhteiskunnallisestikin ajatellen hyvinvointia lisäävään suuntaan, mikäli niiden markkinoihin ei liity merkittäviä häiriöitä kuten ulkoisvaikutuksia. Määritelmällisestikin sivutuotevirtoja syntyy jonkin taloudellisesti merkittävämmän tuotteen kysynnän myötä ja täten sivutuotevirtojen taloudellinen arvo on lähtökohtaisesti vähäisempi tekijä tuotantopäätöksiä tehtäessä. Niin kauan kuin sivutuotteella on kuitenkin kysyntää, on markkinoilla kannustimia etsiä sellaisia ratkaisuja myös logistiikan saralla, jolla tuottaja pystyisi sivutuotteen myymään. Tätä taloudellista kannustinta vahvistaa monesti myös se, että mikäli sivutuotetta ei saada kaupaksi, sen käsittelystä ja logistiikasta seuraa kustannuksia, joita tuottaja voi yrittää minimoida. Logistiikkakustannukset olivat keskimäärin 13,5 % suomalaisten (teollisuus & kauppa) yritysten liikevaihdosta, ja 10,7 % bruttokansantuotteesta vuonna 2019 (Solakivi ym 2021).

Tämä luku johdattaa lukijaansa arvioimaan miksi ja miten biotalouden sivuvirtoja ohjataan politiikalla. Luvussa pohditaan mitä ovat sivuvirtojen sääntelyn erikoispiirteet ja miksi logistiikka liittyy keskeisesti juuri sivuvirtojen poliittiseen ohjaukseen. Lisäksi esitetään näkökulmia siihen, miten biotalouteen liittyvää tutkimusta voisi kohdentaa

Miksi sivutuotevirtojen markkinoita säännellään politiikalla?

Sivutuotteiden poliittisen ohjauksen erikoispiirteenä on, että niiden syntyminen on kytköksissä määritelmällisesti aina jonkun toisen vähintäänkin yhtä tärkeän (yhden tai useamman) tuotteen markkinoihin ja ohjaukseen. Tämä tekee lähtökohtaisesti sivutuotteiden poliittisen ohjauksen ja sen vaikuttavuuden tutkimuksen monimutkaiseksi (jo lähtien markkinoiden tasapainotilan perusteista, esimerkiksi Dyckoff & Souren 2022).

Ulkoisvaikutusten säätely on yksi keskeisimmistä argumenteista poliittisen intervention puolesta. Varsinkin negatiivisten ympäristövaikutusten vähentäminen on näkyvä ilmiö sekä tutkimuksessa että käytännön politiikassa. Taloustieteellisessä kehikossa yhteiskunnan hyvinvointia ei kuitenkaan maksimoida yhden osa-alueen kuten logistiikan kannalta, vaan kustannustehokas ratkaisu hyödyntää koko käytettävissä olevan keinopaletin siten että kustannukset ovat pienimmät mahdolliset ja vain siihen pisteeseen asti, että ympäristöhaitan vähentämisestä saavutettava hyöty on sen arvoinen.

Sivuvirtojen käsittelystä jätteenä saattaa syntyä myös suurempia haitallisia ympäristövaikutuksia kuin hyödyntämisestä muutoin. Täten silloinkin, kun yksittäisen yrityksen kannalta ei ole

taloudellisesti kannattavaa (ilman politiikkatoimia) myydä sivutuotettaan (logistiikan kustannukset ja saatava myyntihinta tuottavat vähemmän voittoa kuin käsittely jätteenä), voi yhteiskunnan kokonaisedun kannalta olla kannattavampaa ohjata yrityksiä yrityksen kannalta kannattamattomaan vaihtoehtoon. Tällaista ohjausta toteutetaan ympäri maailmaa erilaisten jätemaksujen muodossa, joilla siis paitsi katetaan käsittelyn kustannuksia, niin myös parannetaan muunlaisten hyödyntämiskäytösten kannattavuutta suhteessa käsittelyyn jätteenä.

Sivutuotevirtojen tutkimuksella voidaan luoda puitteita markkinoiden syntyä alentamalla niihin liittyvän tiedon tuottamisen kustannuksia. Vaikka sivutuotteita tuottavien yritysten taloudellisissa intresseissä on löytää niitä käyttökohteita, joista tuotteelle saa parhaan hinnan, voi tähän liittyä erilaisia kustannuksia, jotka varsinkin sivutuotteiden vähäisemmän arvon vuoksi saattavat olla liian suuria suhteessa myynnistä tai jätteen käsittelymaksujen välttämiseksi saatavaan taloudelliseen hyötyyn. Esimerkiksi sivutuotteen kysyntä saattaa riippua sellaisista ominaisuuksista, jotka on verifioitava tutkimuksellisin menetelmin tai siitä millaisella tiheydellä sivutuotetta syntyy useiden eri toimijoiden yhteisvaikutuksesta. Tämän tiedon tuottaminen julkisen vallan avulla ja kustannuksella saattaa sovittaa yhteen kysynnän ja tarjonnan.

Miksi logistiikka on merkittävä aihe juuri sivutuotemarkkinoilla?

Tehokkaasti toimiessaan markkinamekanismi synnyttää tuotantoa sellaisiin paikkoihin, joissa osakkeenomistajalle siirtyvä liikevoitto on suurimmillaan. Tämä tarkoittaa sitä, ettei sivutuotannon sijainti suhteessa sen markkinoihin ole todennäköisesti paras mahdollinen, sillä tuotannon optimoinnin kannalta päätuotteella on todennäköisesti ollut suurempi painoarvo. Sivutuotevolyymin on puolestaan oltava riittävän suuri, että erilaiset kiinteät kuluerät sen myymiseksi voidaan kattaa. Täten lähtökohtaisesti, kun sivutuotetta syntyy riittävän suuria määriä myyntiä varten, on sen kuljettaminen kallista, sillä sijaintikaan ei ole sivutuotteen myynnin kannalta paras mahdollinen. Kun tuotteen arvo on suhteellisen pieni, sen kuljettaminen pienissä erissä ei ole kannattavaa. Sivutuotetta on siis varastoitava, jotta kuljettaminen kannattaisi ja täten myös varastoinnista syntyy kustannuksia. Lopulta varsinkin alhaisemman arvon omaavien sivutuotteiden kuljettaminen vastaamaan kysyntää saattaa muodostua taloudellisesti kannattamattomaksi, eli hinta, jonka tuottaja sivutuotteestaan saisi markkinoilta, tuottaisi vähemmän voittoa kuin sivutuotteen käsittely jätteenä huomioiden kumpankin vaihtoehtoon liittyvän logistiikan kustannuksineen.

Kun käsiteltävien sivutuotteiden fyysinen volyymi on suuri, voi logistiikkaan liittyvien innovaatioiden kustannuksia vähentävä vaikutus olla merkittävä ja ratkaisevassa roolissa sillä sivutuotteen myynnin tuoma tuloerä on suhteessa pieni. Toisaalta sivutuotteen vaikutus voittoon saattaa olla niin pieni, ettei sen logistiikan optimoinnilla kateta siitä aiheutuvia kustannuksia yritystasolla. Täten yhteiskunnan on mahdollista ohjata sivutuotteita markkinoille logistiikan kustannuksia vähentämällä. On silti huomion arvoista, että myös yhteiskunnallisen tuen mielekkäys riippuu siitä, kuinka paljon lisäarvoa markkinoilla sivutuotteesta syntyy, joka siis rajaa myös logistiikan kehittämisestä saavutettavaa hyötyä. Yhteiskunnan kannalta laskelmassa tosin on syytä huomioida eri vaihtoehtojen ympäristövaikutukset ja muut mahdolliset yhteiskunnalliset tavoitteet.

Mikä erottaa sivutuotteen jätteestä?

Pragmaattisesti sivutuotteen voi katsoa olevan jätettä, jonka käytöllä on taloudellista arvoa siten että sille syntyy markkinat. Näin täytyvät osin myös EU:n jätedirektiivin (2018/851/EY) edellytykset jatkokäytön varmuudesta, käytöstä suoraan tai tavallisen lisäkäsittelyn avulla ja jatkokäytön laillisuudesta, joilla hallinnollisesti määritetään, milloin kyseessä on jäte ja milloin

sivutuote. Kriteeristö itsessään on tulkinnanvarainen, sillä uusien markkinoille toivottujen sivutuotteiden markkinat eivät välttämättä ole lainkaan varmat esimerkiksi juuri logistiikkaan ja sen kustannuksiin liittyvien kysynnän ja tarjonnan kohtaamisongelmien vuoksi.

9.2. Poliittiset ohjaukset

Suomessa ja EU:ssa sovellettavat politiikat sisältävät sivutuotteiden säätelyä monista eri näkökulmista, joita avataan tässä luvussa ohjaukeinovalikoimien mukaan. Keinot jaetaan usein kolmeen luokkaan. Taloudelliset kannustimet sisältävät erilaisia tukia, rahoitusta, maksuja ja verotuksen. Normi- ja määräohjaus puolestaan sisältää lailla asetettuja toimintatapoja tai rajoituksia. Informaatio-ohjauksella pyritään vaikuttamaan toimijoiden päätöksiin tuottamalla ja jakamalla tietoa. Käytännössä jaot ohjaukeinojen välillä eivät ole näin selkeitä varsinkaan biotalouden sivuvirtoihin vaikuttavien moninaisten ohjaukeinojen välillä. Esimerkiksi päästökauppa yhdistää hintamekanismin määräsaädöksiin ja informaatio-ohjauksen mahdollistamista varten yritykselle asetetaan erilaisia normeja ja tiedon tuottoa esimerkiksi tutkimuksen kautta tuetaan. Osittain kiertotalousteeman myötä suosiota saaneita julkisia hankintoja ja vapaaehtoisia julkisen sektorin sopimuksia yritysten kanssa käsitellään omissa kappaleissaan.

- Verotus & maksut
 - Päästöverot
 - Tuoteverot, alv
 - Jäteverot & maksut
 - Neitseellisen raaka-aineen verot
 - Päästökauppa
- Tuet
 - Kuljetusten taloudellinen tukeminen
 - Tuotantotuet
 - T&K tuet
 - Lopputuotetuki (tuotteelle, jossa on hyödynnetty sivutuotetta)
 - Investointituet & lainatuet
 - Verotuet
- Normi- & määräohjaus
 - Jätteen käsittelyvelvoitteet
 - Tuottajavastuut
 - Sekoitevelvoitteet
 - Ympäristönormit
- Informaatio-ohjaus
 - Kampanjat (esim. kierrätys)
 - Neuvontavelvollisuus (tuottajayhteisöille)
 - Markkinapaikat
 - Kokeilut ja demonstraatiot
- Julkiset hankinnat
 - Hankintaohjeet
 - Ympäristömerkittyjen tuotteiden käytön lisääminen

- Kierrätystavoitteet
- Vapaaehtoiset sitoumukset yms
 - Laatu & ympäristöjärjestelmät
 - "Green deal" sopimukset julkisen sektorin ja yritysten välillä

Verotus & maksut

Yleisesti ottaen verotus vähentää kulutusta. Hyödykkeiden verotus siirtää kulutuksen painopistettä palveluihin. Tuloverojen progressio ja niillä rahoitetut tulonsiirrot puolestaan ohjaavat tuloja kulutukseen. Kokonaiskysynnän lisäksi veroilla ja maksuilla voidaan vaikuttaa sivutuotteiden osuuteen kysynnästä suhteessa muuhun tuotantoon. Kun esimerkiksi asetetaan vero tuotteelle, jonka kanssa sivutuote kilpailee markkinoilla, suhteelliset hinnat tuotteiden välillä muuttuvat sivutuotteen eduksi.

Sivutuotelogiikan kannalta yksi merkittävä verotuksen muoto Suomessa on liikennepolttoainesten verotus, jossa on sekä ympäristö että valtion fiskaalinen ulottuvuus liikenneinfrastruktuurin ylläpitämisen kulujen kattamisen lisäksi. Polttoaineverot niiltä osin, kun niitä ei palauteta verotuksena (kts. seuraava kappale), lisäävät logistiikan kustannuksia, mutta toisaalta niillä lisätään biopohjaisten sivutuotteiden kysyntää tekemällä fossiilisista vaihtoehdoista kalliimpia, sillä kiinteät ja kaasumaiset biopolttoaineet ovat olleet Suomessa joko verottomia tai kevyemmin verotettuja. Esimerkiksi liikennekäyttöön hyödynnetty biokaasu on siirretty valmisteverotuksen piiriin osana muun liikennepolttoainelainsäädännön kehittämistä vuonna 2022 (HE 212/2021). Kestävästi tuotetun biokaasun veroaste on kuitenkin puolet fossiilisin maakaasun verosta, joten biopohjaisten sivuvirtojen käyttöä suoraan logistiikkaan edistetään edelleen myös verotuksen avulla.

Nestemäisissä polttoaineissa biopohjaiset ratkaisut ovat kevyemmin verotettuja kuin fossiiliset. Mäntyöljyn lämmityskäytöstä peritään raskaan polttoöljyn mukainen valmistevero, jolla ohjataan sen käyttöä korkeamman jalostusasteen tuotantoon. Liikenteen nestemäisten polttoainesten verotus on merkittävin energiaverotuksen muoto, joka kaiken kaikkiaan tuottaa Suomen valtiolle noin 4,5 miljardin euron verotulot (VM, Tilinpäätös 2020). Tästä summasta sähköverot puolestaan tuottivat ennen viimeisimpiä uudistuksia arvoilta 1,2 miljardia euroa. Vuonna 2021 voimaan tullut teollisuuden sähköveron laskeminen EU:n minimitasolle on jatkoa mittaville energiaintensiivisen teollisuuden veronpalautuksille, jotka tämän uudistuksen myötä siis vaihtuvat matalampaan veroasteeseen. Paitsi suoraan sivuvirtojen käyttövoimana kuljetuksessa, sähkö on sekä biopohjaisten sivuvirtojen tuotannon että prosessoinnin kannalta merkittävä panos/tuotos.

Biopohjaisten sivutuotteiden energiakäyttöä kannustetaan suuremman kokoluokan energia- ja teollisuuslaitoksissa (> 20 MW voimalaitokset, mineraaliöljyn jalostus, raudan & teräksen tuotanto, massan, paperin ja kartongin valmistus) EU:n laajuisen päästölupamarkkinan avulla (2003/87/EY). Hiilidioksidiekvivalentttonnia kohden vaadittaville päästöoikeuksille muodostuva markkinahinta ohjaa taloudellisesti vähäpäästöisempää tuotantoa kohden. Biomassojen polttamiseen ei vaadita päästöoikeuksia, joten biomassapohjaisten sivuvirtojen energiakäytöstä muodostuu päästökaupan myötä kannattavampaa. Sivutuotelogiikan kannalta merkittävä juonne on lisäksi se, että rinnakkaispoltoissa käytettävät sivutuotteista kierrätyspolttoaineksi jalostetut materiaalivirrat kuuluvat päästökaupan piiriin, eli niiden polttoon vaaditaan päästöoikeuksia, kun taas yhdyskuntajätteen polttoon suunnitellut laitokset eivät ole päästökaupan piirissä.

Jätteenpolto onkin Suomessa lisääntynyt ja noin 56 % prosenttia yhdyskuntajätteestä poltettiin vuoden 2021 tietojen mukaan (Bröckl ym. 2021). Uusien laitosinvestointien ja energiamarkkinatilanteen myötä polton merkitys tulee lähitulevaisuudessa kasvamaan entisestään. EU tosin on suunnittelemassa päästökaupan ulottamista myös yhdyskuntajätteen polttoon ja muissa pohjoismaissa jätteenpoltoa jo verotetaan tai se kuuluu päästökaupan piiriin. Myös Mollis ym. (2014) mukaan riittävällä veron tasolla voitaisiin ohjata erityisesti teollisuuden kierrätykseen kelpaavia jätevirtoja pois jätteen poltosta. Vuonna 2021 julkaistussa tutkimuksessa, matalalla hiildioksiditonin hinnalla (23 EUR/t CO₂) ei ollut merkittävää ohjausvaikutusta jätteen polttoon Suomessa, ja samalla arvioitiin, että veron vaikutus voidaan siirtää porttimaksuun (Bröckl ym. 2021). Samoin Pöyry Management Consultingin vuoden 2012 selvityksessä päästökaupan/verotuksen ulottamista jätteenpoltoon Suomessa, käytettiin nykyiseen markkinatilanteeseen verrattuna varsin matalaa päästöoikeuden hintaa, jolloin arvioitu ohjausvaikutuskin jää pieneksi (Pöyry 2012). EU:n kasvihuonekaasupäästökaupan tulot olivat Suomen valtiolle vuonna 2021 noin 409 miljoonaa euroa (Energiavirasto, 2021).

Jätevero on sivutuotteiden hyödyntämisen kannalta merkittävä ohjauskeino, sillä sivutuotteista muodostuu jätettä silloin, kun niiden hinnasta muodostuva tuotto ei ylitä logistiikasta aiheutuvaa kustannusta. Jäteveron tuotto on Suomessa vain noin 3 miljoonaa euroa, mutta yhdessä määräohjauksen kanssa (esim. kaatopaikkakielto) sen ohjausvaikutuksen on arvioitu olevan merkittävä (Seppälä ym 2016). Jätteenpolton tilastojen nojalla vaikuttaisi siltä, että sivutuotteita on jäteveron ja muun lainsäädännön avulla ohjattu lähinnä polttoon. Jäteveropohjan laajentamista ja kohdentamista on selvitetty vuonna 2022 ilmestyneessä ympäristöministeriön raportista, jossa verokertymäksi muodostuu 13–247 miljoonaa euroa vuodessa käytetystä laskutavasta, veroasteesta ja kohdennuksesta riippuen (Savikko, Hokkanen & Rinne 2022). Kun jäteveroa maksetaan kaatopaikalle sijoitettavasta jätteestä, jätemaksuja peritään jätteiden logistiikan ja muiden kunnille jätteenkäsittelystä aiheutuvien kustannusten kattamiseksi kiinteistöjen tai jätteiden muilta haltijoilta. Tämä on siis osin kustannusperusteinen taloudellinen kannustin kerättävien määrien vähentämiseen, mutta toisaalta asettamalla korkeampi maksu sekajätteelle kuin eritellyillä jakeilla kannustetaan jäteastioiden päätyvien sivuvirtojen hyödyntämiseen.

Yksi verotuksen muoto on kaivannaisteollisuuteen kohdistetut verot. Näiden käyttöönotosta Suomessa päätettiin hallituksen budjettiriihessä vuonna 2021 ja vuodelle 2023 alkavaksi ehdotetun veron tarkempi suunnittelu on meneillään. Neitseelliselle raaka-aineelle asetetut verot voivat teoriassa parantaa kierrätettävien sivuvirtojen hyödyntämisen kannattavuutta.

Tuet

Tuella tarkoitetaan rahamääräistä etua, jonka julkinen valta asettaa edistettävälle toiminnalle. Sivutuotevirtojen hyödyntämisen ja logistiikan kannalta merkittävää tukea voidaan osoittaa paitsi suoraan tuotantoon niin myös kuluttajille tai logistiikkaan esimerkiksi varastointiin tai kuljetukseen. Tuotannossa tukea voidaan maksaa tuotantoon liittyville investoinneille, tuotetuihin määrin perustuen, erilaisille tuotantopanoksille tai tietyille tuotantoteknologioille.

Laajemmin ymmärrettynä valtion rooli tieverkoston ylläpitämisessä on tukea myös sivutuotteiden kuljetukseen. Yleisen liikennejärjestelmän ylläpidon lisäksi hyödykkeiden liikuttamiseen on Suomessa myös kohdennettumpia ohjauskeinoja, jotka tosin eivät kohdistu vain sivuvirtoihin vaan myös muihin tuotteisiin. Suhteessa yleiseen liikenteen verotustasoon, raskaampi liikenne on kevyemmin verotettua, joten sitä siis tuetaan valtion toimesta. Toinen vastaavalla tavalla muotoutuva yleisen tason tuki, jolla on vaikutuksia biopohjaisten sivuvirtojen hyödyntämiseen, on työkoneiden kevyen polttoaineen normaalia matalampi verokanta. Tähän sekä

lentoliikenteen ja kaupallisen vesiliikenteen verotuksiin on tulossa muutospaineita EU:n Fit for 55 toimenpidepaketin myötä (EU 2021).

Liikenteen tuen määräksi Suomessa on arvioitu yli 2 miljardia euroa (Tervonen & Metsäranta 2012). Viimeisimpiä suoria kuljettamisen tukia esiteltiin Ukrainan sodan nojalla vuonna 2022. Kuljetusyrityksille osoitettiin tukea 73 miljoonan euron edestä. Kuljetuksen tukeminen näin ei kuitenkaan ole mitenkään poikkeuksellista, sillä erilaisia kuljetuksen tukimuotoja on Suomessa ollut pitkään, kuten esimerkiksi 10 miljoonan euron tuki vuosina 2012–2013 erikseen määritellyn kehitysalueen liikenteelle tai vuosien 2020–2022 tuki alueellisesti ja toimialakohtaisesti rajatuille tuotteille. Viimeksi mainitun vaikutukset biotalouden sivuvirroissa ovat rajalliset sillä suoraan tukea ei saanut maa- ja metsätalouden alalle tai yleisemmin kierrätettäviin tai jalostamattomiin tuotteisiin/aineksiin.

Tieverkoston ja perinteisten liikennepolttoaineiden tukien lisäksi biokaasun ja sähkön käyttöä liikenteen polttoaineena tuetaan. Sekä kaasu- että sähkökäyttöisille kuorma- ja pakettiautoille myönnetään hankintatukea (840/2020). Biokaasun tankkausasemien sekä sähköautojen latausasemien rakentamista tuetaan (733/2020). Liikennesuoritteiden ympäristövaikutuksen vähentäminen näiden teknologioiden kautta lisänee vähitellen erilaisten sivutuotevirtojen hyödyntämisen kestävyttä. Biokaasu itsessään on sivuvirtapohjainen tuote, jota tuetaan suoraan investointitukien avulla yhdyskunta/teollisuus jätteen käsittelysektorilla ja erityisesti maataloudessa monien muidenkin tukimuotojen avulla (1476/2007). Kestävästi tuotetulla biokaasulla on verotuki työkone ja lämmityskäytössä (1215/2021).

Maataloutta tuetaan Suomessa lukuisin eri keinoin ja näin myös sen sivutuotteet ovat vahvasti tuettuja. Viljelijän, maaseudun kehittämisen ja rakennetukien kokonaissumma vuonna 2021 oli 2,1 miljardia euroa (VM, tutkibudjettia.fi). Valtaosa maatalouden tuesta maksetaan hehtaaripeusteisena. Kun viljelyssä pidetään tuen avulla suurempaa pinta-alaa, sivutuotelogistiikan kustannukset kasvavat. Eläintuotantoa ja sitä myötä sivutuotteena syntyvää lantaa tuetaan hehtaarituen lisäksi suorilla tuotteisiin tai eläinmääriin kohdistuvilla tuilla sekä myös maatalouden investointikustannusten tuella. Esimerkiksi investoinnit kotieläintilojen yksikkökojojen kasvatamiseen lisäävät sekä syntyneen lannan määrää että kuljetusmatkoja. Lannan tai muiden kierrätyslannoitevalmisteiden logistiikkaa ei tueta suoraan, mutta niiden levittämiseen voi hakea ympäristökorvausta lohko-kohtaisena toimenpiteenä enintään 80 prosentista ympäristösitoumuksen kohteena olevasta korvauskelpoisesta pelto-alasta. Lietelannan levitystä sijoittavilla tai multaavilla laitteilla voidaan maksaa myös sellaisille tiloille, joilla lantaa ei synny omasta tuotannosta. Ravinteiden ja orgaanisten aineiden kierrättämisen tuki on puolestaan tarkoitettu olomuodoltaan kiinteille ravinnepitoisille jakeille, jotka tulevat tilan ulkopuolelta.

Maaseudun investointeja tuetaan lisäksi maatilayritysten investointituella ja maaseutuelinkeinoiminnan korkotuella. Biokaasulaitosinvestointien tuki kasvattaa sekin kuljetettavan lannan määrää. Maatalouden energiaveron palautus tukee sen tuotannon logistiikkaa yleisesti, tosin tämän ohjauskeinon sisältämä fossiilisen polttoaineen verotuki heikentää uusiutuvien suhteellista kilpailukykyä, joten tuen merkityksen arviointi biotalouden sivutuotemarkkinoilla edellyttäisi tarkempia laskelmia.

Metsätalouden tuet vaikuttavat sekä biotalouden sivu- että päätuotteiden markkinoihin Suomessa. Tosin tuen volyymi, noin 55 M€, itsessään on pieni verrattuna maatalouteen (VM, talousarvio 2021). Valtaosa metsätalouden tuesta on osoitettu jaksottaisen puuntuotannon edistämiseen. Metsien uudistamisen ja sittemmin metsityksen tuki maksetaan maalajista ja uudistamismenetelmästä (istutus tai kylvö) laskennallisena kertakorvauksena sekä hoitopalkkioina. Vuoteen 2012 asti metsätalouden sivutuotevirtojen energiakäyttöä tuettiin energiapuun korjuu ja haketustukien kautta, jonka jälkeen tuki muotoiltiin pienpuun korjuutueksi. Sekä taimikon

varhaisheidolla ja nuoren metsän hoidon tuella tarkoitetaan harventamista. Logistiikkaa tuetaan suoraan rahoittamalla 50–60 % uusien yksityisten metsäautoteiden rakentamisen tai perusparannusten kustannuksista. Metsätalouden tuet ovat uudistumassa vuonna 2024, jolloin metsätalouden sivutuotteiden kannalta merkittävän muutos lienee pienpuun korjuutuen poistuminen. Myös harvennustukia ollaan yksinkertaistamassa luopumalla tuen porrastamisesta eri pituisten taimikoiden välillä. Metsäojituksen tukemisesta ollaan luopumassa, kun taas metsäautoteiden tuki säilyy, vaikkakin hieman pienempänä. Etelä-Suomessa tietuki olisi sidottu kiinteään korvaussummaan ja pohjoisessa maksimissaan 50 % kustannuksista.

Energiankulutuksen tukeminen veroedulla tukee teollisen mittakaavan sivuvirtojen tuotantoa metsä-, kaivos- ja metalliteollisuudessa sekä kasvihuoneissa. Polttoaineiden energiaveron palautuksesta energiaintensiivisille yrityksille ollaan luopumassa vuoteen 2025 mennessä, mutta niiden sähkövero toisaalta alennettiin alimmalla EU:n sallimalle tasolle. Vastaava verotuki on otettu käyttöön myös teollisessa kierrätysmateriaalien valmistuksessa ja jalostuksessa (VM, 2022). EU:n ehdotus uudeksi energiadirektiiviksi vaikuttaisi leikkaavan näitä verotukia merkittävästi ja laajentavan veropohjaa myös kiinteisiin puupolttoaineisiin (Forsström ym 2022). Vuonna 2021 päästökaupan piirissä oleville toimijoille maksettiin yhteensä noin 106 miljoonaa euroa päästökaupan kompensaatiotukena, eli noin puolet tuen määräytymisvuoden 2020 päästökaupan tuloista valtiolle. Merkitystä biotalouden sivuvirtojen käytön kannalta kuvaa se, että suurin edunsaaja oli UPM-Kymmene Oy (Energiavirasto 2022). Vuoden 2022 osalta päästökaupakompensaatiotuki ollaan korvaamassa energiaintensiivisen teollisuuden sähköistämistuella, johon on vuodelle 2022 varattu noin 80 (ja enintään 150) miljoonaa euroa (Energiavirasto 2022, VM Talousarvioesitys 2022).

Turvetuotannon veroetu tukee puupohjaisten sivutuotteiden kanssa kilpailevaa polttoainetta, mutta saattaa joissain teknistaloudellisissa olosuhteissa olla myös puunenergian käyttöä tukevaa. Mäntyöljyn veroetu tukee tämän sivutuotteen energiakäyttöä.

Tutkimuksen tukeminen on yksi epäsuorista keinoista sivutuotteiden tueksi. Sivuvirtojen tutkimusta tuetaan sekä rahoittamalla tutkimuslaitoksia ja tutkimusta yleisesti että kohdennetusti tiettyihin sivutuotteisiin tai logistiikkaan. Sivutuoteteemaisia rahoituskierroksia on vuosien saatossa ollut useita. Valtion eri sektorin tutkimusohjelmissa on tutkimukselle asetettu esimerkiksi kierrätyslannoitteisiin, ravinteiden talteenottoon, kierrätyspakkauksiin, kriittisten materiaalien talteen saamiseen, kierrossa haitallisten aineiden poistamiseen ja lukuisiin metsäteollisuuden sivuvirtoihin liittyviä tavoitteita. EU on merkittävä T&K tukien lähde ja ohjaaja. Lisäksi parhailaan ollaan valmistelemassa tutkimus- ja kehittämistoiminnan yhdistelmävähennystä verotuksessa, jossa tavoitteena on kannustaa elinkeinotoimintaa tai maataloutta harjoittavia verovelvollisia lisäämään tutkimus- ja kehittämistoimintaa. Voimaan tullessaan kyseessä olisi yrityksille uusi yleinen verotuki vuonna 2023 (VM 2022). Tämän odotetaan lisäävän tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoimintaa, josta todennäköisesti hyötyisivät myös biotalouden toimialat.

Muita tukia, joita tässä tekstissä ei käsitellä ovat yrityksen kehittämisavustus, palkkatuki, starttiraha, viennin ja kansainvälistymisen tuki, Business Finland ja muu T&K-rahoitus yrityksille, Finprolle myönnettävä tuki, energiatuki, Finnveran luottotappiokorvaus ja korkotuki, telakoiden innovaatiotuki, tuki kauppa-aluksille, varustamoiden ympäristö- ja investointituki sekä työllisyysperusteinen investointituki.

Normi- & määräohjaus

Normi tai määräohjaukselle tarkoitetaan julkisen vallan asettamia vaatimuksia sille, miten yritysten, kansalaisten sekä tietysti myös julkisen sektorin täytyy toimia. Sivuvirtalogistiikan

kannalta merkittäviä vaatimuksia voidaan asettaa ja asetetaankin myös päätuotteille, mutta merkittävä määrä regulaatiota kohdistuu nimenomaan sivutuotteisiin, sillä yhteiskunnallisesti on koettu tärkeäksi kontrolloida vähäisemmän taloudellisen arvon omaavia virtoja, joiden päätepisteenä ilman säätelyä olisi ihmisten elinympäristö ja luonto. Perinteisin säätelyn muoto, eli jätteeksi muodostuneiden virtojen ohjaaminen kaatopaikoille ympäristön sijaan, on vähitellen korvautunut ja korvautumassa muilla pakollisilla käsittelyvaihtoehdoilla. Lisääntynyt säätelyn määrä näkyy nimenomaan kasvavassa logistiikan tarpeessa. Jätteiden kippaaminen syntypaikkansa ympäristöön ei vaadi lainkaan logistiikkaa. Sekajätteen kokoaminen syntypisteestään kerralla hoituu luontaisesti vähäisemmällä logistiikalla kuin eriytettyjen virtojen keruu. Eri virtojen eriytyvät käyttökohteet puolestaan lisäävät painetta logistiikan kustannusten kasvuun (kun sivutuotteet päätyvät markkinaehtoisesti eri kohteisiin, niin säätelyä ei erikseen tarvita). Samalla keräyslogistiikan järjestämistä on siirretty tuottajien/tuottajajärjestöjen vastuulle. Eri-laisia sivutuotelogistiikkaan vaikuttavia määräyksiä on niin paljon, että tässä kyetään antamaan vain johdatus aiheeseen.

Vuonna 2016 Suomessa voimaan astuneen orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon (331/2013) myötä erinäisiä sivutuotevirtoja ohjautuu polttoon (Bröckl ym. 2021, Korhonen, Pitkänen & Niemistö, 2018). Tämä viittaa siihen, että korkeamman jalostusarvon tuotteiden lisäarvo markkinoilla saattaa olla liian pieni suhteessa suurempiin logistiikan kustannuksiin, kun verrataan keskitettyihin polttoon perustuviin ratkaisuihin. Uudessa vuonna 2021 voimaan (646/2011, 714/2021) astuneessa jätelaissa lisätäänkin regulaation määrää kieltämällä erilliskerätyn jätteen polttaminen (ja vieminen kaatopaikalle) sekä vaatimalla entistä pienempien taloyhtiöiden jätevirtojen erilliskeräystä. Säätelyllä pyritään kasvattamaan kierrätettävän virran osuutta suhteessa polttoon, sillä Suomi ei noin 42 % kierrätysasteellaan ole saavuttamassa EU:n (2018/851/EU) asettamia tavoitetasoja (Jäsenmaiden tulisi nostaa kierrätysaste 55 prosenttiin vuoteen 2025 mennessä, 60 prosenttiin vuonna 2030 ja edelleen 65 prosenttiin vuonna 2035). Rakennus, pakkaus- ja tekstiilijätteille on lisäksi omat tavoitteensa. Huolimatta mahdollisista innovaatioista tuotekehityksessä tai logistiikassa tällaisten tavoitetasojen saavuttaminen regulaatiolla tulee lisäämään kierrätyksen kustannuksia Suomessa.

Vuoden 2022 alusta lähtien elintarvikealan toimijoiden on pidettävä kirjaa elintarvikejätteen määrästä ja käsittelystä. Elintarvikealan yritykselle on säädetty velvollisuus luovuttaa käyttämättä jääneet elintarvikkeet, mikäli tästä ei aiheudu kohtuutonta kustannusta. Jätejakeiden hyötykäyttö edellyttää lupia. Biojätteen erilliskeräys tai kompostointi on tulossa pakolliseksi kaikille taajamissa asuville Suomessa vuodesta 2024. Myös pakkausjätteen erilliskeräystä ulotetaan pienempiin taloyhtiöihin. Sivutuotelogistiikan ratkaisujen markkinat näyttäisivät siis kasvavan, mutta Ukrainan sodan ja vihreän siirtymän voi ennustaa kasvattavan lyhyellä aikavälillä logistiikan kustannuksia ja vähentävän taloudellisesti järkeviä kuljetusetäisyyksiä sekä nettonykyarvoltaan positiivisia kierrätystuotteita.

Biotalous sivutuotelogistiikan kannalta merkittävää on myös suoraan kuljettamiseen kohdistuva yhteiskunnallinen säätely. Tätä tapahtuu sekä liikenteen kaluston ja työn osalta, mutta myös varsin laajasti liikenteen käyttövoimaan kohdistuen. Hintaohjauksen lisäksi (kts aiemmat kappaleet) polttoaineille on EU tasolla asetettu tavoite biokomponenttien vähimmäismäärästä nestemäisissä polttoaineissa. Tämä niin kutsuttu jakeluelvoite lisää sivutuotevirtojen kysyntää liikennepolttoainekäyttöön vähitellen, vaadittavan osuuden noustessa nykyisestä 19,5 prosentista 30 prosenttiin vuonna 2029 (Energiamarkkinavirasto). Biokomponenttien ja yleisemminkin biopolttoaineiden kestäväälle käytölle on asetettu kriteereitä uusiutuvien energianlähteiden edistämisen direktiivissä (RED II), jossa määritetään myös uusiutuvan energian tavoitetaso (32 %) EU:lle (2018/2001/EU). Seuraavassa päivityksessä (RED III) komissio on ehdottanut 40 % tavoitetta sekä useita kiristyksiä kestävä bioenergian määrittelylle, joilla tulisi olemaan

vaikutuksia metsäbiomassan sivutuotevirtojen hyödyntämiselle. Komission Suomelle esittämä tavoite on 51 % vuodelle 2030.

Ympäristölupajärjestelmä vaikuttaa joidenkin biotalouden sivuvirtojen kuten metsäbiomassan ja lannan sijaintiin ja muihinkin logistiikan kannalta huomioitaviin tekijöihin kuten laitoskoko-
luokkiin. IPPC direktiiviin (2010/75/EU) pohjautuvan luvituksen lisäksi EU tason ympäristösääntely ohjaa vesipuite- ja kemikaalidirektiivien sekä parhaan mahdollisimman teknologian määrittelyjen kautta sivuvirtoja. Maatalouden sivuvirtojen syntyä ohjataan myös nitraattidirektiivillä (91/676/ETY), joka rajoittaa käytettävän typpilannoituksen määrää ja säätelee muutenkin lannan käyttöä sekä maataloudessa että biokaasulaitosten kannalta. Lisäksi lannoittamista säädel-
lään usealla lannoitteiden valmistamista ja käyttämisestä koskevalla lailla (lannoitevalmistelait, lannoiteasetukset, tuotestandardit, puhdistamolietteen käyttölaki). Tuotantoeläinten pitämiseen liittyy erilaisia määräyksiä ja eläinperäisten sivutuotteiden hyödyntämistä rajoitetaan EU:n eläinsivutuoteasetuksella (1069/2009/EY). Tuotantoeläinten ruokintaa säädel-
lään lisäksi myös rehulailla 1623/2020.

Informaatio-ohjaus

Informaatio-ohjauksessa vaikuttavuus muodostuu tiedon jakamisen myötä ilman että määrätään tai taloudellisesti kannustetaan toimimaan halutulla tavalla. Kuitenkin myös, erilaisten indikaattorien ja standardien muodostaminen sekä tiedon välittäminen tai tutkimus & kehitystoiminta sekä koulutus voidaan nähdä informaatio-ohjauksen muotoina.

Sivuvirtojen hyödyntämiseen liittyy paljon informaatio-ohjausta. Keskeinen kohdeyleisö on ollut kotitaloudet, joiden kierrättämishalukkuuden nostoon on tuotettu tietoa ja viestitty siitä paljon. Aihealueena tämä on kuitenkin yksi monien joukossa, sillä informaatio-ohjaukseksi las-
kettavissa olevia elementtejä sisältyy valtaosaan sivutuotteita ohjaavasta regulaatiosta. Esimerkiksi lakitekstien johdannossa käytetyt perustelut voi nähdä myös osana informaatio-ohjausta. Kun EU:n komission esimerkiksi esittää kiertotalouden toimintasuunnitelmassa, että EU:ssa on pyrittävä käyttämään uusivia resursseja uusiutumattomien sijaan tai hyödynnettävä korkeimman kaskadin mukaista hyötykäyttöä asettamatta sitovia määräyksiä tai kannustimia, on kyse informaatiovaikuttamisesta.

Viestimällä tuotteiden ympäristövaikutuksista, kotimaisuudesta tai jostain muusta ominaisuudesta voidaan vaikuttaa niiden ostopäätöksiin ja kuluttajan niistä maksamaan hintaan. Valtio osallistuu sivutuotteidenkin kannalta merkittävässä määrin myös tällaiseen informaatio-ohjaukseen ja muokkaa näin edistämiensä tuotteiden markkinoita niitä suosivaan suuntaan. Tällaisia tavoitteita palvelee hyvin laaja joukko erilaista julkisen sektorin viestintää hallitusohjelmista kotikuntasi kierrätyslehtiseen. Kysynnän kasvattamiseen tähtäväällä viestinnällä saatetaan samalla kasvattaa logistiikan tarvetta, joten yhteiskunnallisesti parhaan ratkaisun löytämiseksi pitäisi myös logistiikan ulkoisvaikutukset kyetä sisällyttämään kuluttajille tarjottavaan informaatioon.

Tuotantopäätöksiin liittyvä informaatio-ohjaus on kytkettävissä taloudellisesti rationaaliseen toimintaan tiedonhankintakustannusten kautta. Parhaan tuotantopäätöksen tekeminen saattaa edellyttää tietoa, jonka hankkiminen vaatii aikaa ja rahaa, jolloin varsinkin pienimuotoisessa yritystoiminnassa resurssit eivät riitä sen etsintään tai tiedon etsimisestä aiheutuvat kustannukset nousevat siitä saavutettavaa taloudellista hyötyä suuremmiksi. Oleellisena osana tiedonhankintakustannuksen alentamisessa voidaan pitää erilaisia uuden teknologian demonstraatio- ja pilottihankkeita, joita valtio tukee. Näillä saadaan tietämyksen lisäämisen referenssihankkeita alan toimijoiden käyttöön. Erityisesti näitä on hyödynnetty uusiutuvan ja pienimuotoisen energiantuotannon alalla (mm. biokaasulaitokset, CHP-laitokset) kiihdyttämällä edelläkävijäinvestoijien

jälkeistä uuden teknologian käyttöönottoa laajemmin yrityksissä (vrt. 9.2.2. tuet). Tarjoamalla informaatiota valtion kustannuksella tällaisessa tilanteessa voidaan siis ohjata päätöksentekoa. Informaatio-ohjauksen vaikuttavuutta tuotantopäätöksiin on Suomessa tutkittu jonkin verran metsänomistajien sekä maanviljelijöiden osalta (Soini 1999, Mäki 2009). Ylikosken ym (2004) ja Niskasen (2004) tutkimusten perusteella metsäsuunnitelmat ovat kasvattaneet hakkuita ja täten niillä on vaikutusta myös metsätalouden sivutuotteisiin.

Ollakseen vaikuttavaa informaatio-ohjauksen, ei tarvitse olla totta, mutta faktuaalisen tiedon tuottaminen on yksi tapa lisätä sen uskottavuutta. Epätodeksi mielletyn tiedon vaikuttavuus lienee vähäisempää kuin todeksi mielletyn. Yksi informaatio-ohjauksen haara onkin lisätä mediassa ja tuoteselosteissa näkyvän tiedon luotettavuutta. Lukuisat EU:n asettamat pakkausmerkintästandardit ja muu markkinoinnin säätely ovat normiohjausta, jolla pyritään mahdollistamaan informaatio-ohjaus. Esimerkiksi EU:n ympäristömerkki voi toimia kuluttajien ostopäätöksiin vaikuttavana tiedon lähteenä, joka takaa tiettyjen ympäristöä vähemmän kuormittavien tuotantomenetelmien käyttämisen tuotteen valmistukseen. EU:n suunnitelmissa on laajentaa sekä tuotelistaa, jolta ekosuunnittelua vaaditaan, että huomioida aiempaa perusteellisemmin kiertotaloudellisten näkökulmien kuten kierrätettävyyden, käyttöiän ja uudelleen käytön vaikutuksia tuotteiden energian ja luonnonvarojen kulutukseen sekä ympäristövaikutuksiin. Lisäksi uudessa ekosuunnitteluasetuksessa tullaan luomaan digitaalinen tuotepassi ja asetetaan vaatimuksia myymättömien tuotteiden hävittämiseen liittyen, joka tosin on suoraa normiohjausta. Digitaaliseen tuotepassiin voidaan koota tietoa tuotteen ja sen raaka-aineiden sekä komponenttien alkuperästä ja haitallisten aineiden sisällöstä. Lisäksi tuotepassi voisi sisältää tietoa ja ohjeistusta siitä, miten tuotteen voi korjata tai kierrättää.

Jätedirektiivissä edellytetään tiedon tuotantoon liittyen esimerkiksi erilaisista tietojärjestelmistä koostuvaa yhdyskunta- ja pakkausjätteen laadunvarmistus- ja seurantajärjestelmää. Myös elintarvikejätteen ja sen vähentämistä käsittelevää tietoa tulee tuottaa. Tietoa tuotetaan paitsi informaatio-ohjauksen, niin myös normiohjauksen seurannan ja valvonnan välineeksi.

Sivutuotteiden informaatio-ohjauksen kannalta on haasteellista, että tuotannon vaikutukset on jaettava pää- ja sivutuotteen välillä ympäristövaikutusten tai muiden tuotetietojen osalta ja laskennan monimutkaistuminen vaikeuttaa tuotteesta viestintää. Tähän on käytössä erilaisia tapoja ja menetelmiä, joilla pystytään vaikuttamaan tuotteiden laskennalliseen kuormitukseen ja sen hyödyntämiseen viestinnässä tavoin, jotka saattavat johtaa väärään vaikutelmaan tai heikentää viestinnän tehokkuutta.

Julkiset hankinnat ja vapaaehtoiset sopimukset

Suomessa julkisen sektorin tekemien hankintojen arvo on noin 47 miljardia euroa vuodessa (Merisalo ym 2021). Sivutuotteiden osuutta tästä summasta ei ole tilastoitu. Valtaosa valtion hankinnoista (arvolla mitattuna) on ICT palveluita ja teknologiaa (<https://www.tutkihankintoja.fi/>), jossa välittömät biopohjaisten sivutuotteiden mahdollisuudet eivät nykyisellään liene merkittävässä roolissa. Suoraan julkisen sektorin logistiikan pyörittämiseen rahaa käytetään merkittävästi vähemmän, mutta sen potentiaali tiettyjen biopohjaisten sivuvirtojen kysynnän kannalta on kuitenkin tärkeä. Materiaalivirtamassan kannalta kuntien rakennushankkeet ja kunnossapito vastaavat suurimmasta osasta hankintojen jalanjälkeä, matkustus- ja kuljetuspalveluiden tullessa toisena (Nissinen & Savolainen 2019).

Julkisia hankintoja ohjaa hankintalaki, joka pohjautuu EU:n hankintadirektiiviin (2014/24/EU) ja mahdollistaa myös sivutuotteisiin liittyvien kriteerien hyödyntämisen varsinkin ympäristöllisten, sosiaalisten tai laadullisten vaikutusten kautta. Suomessa on myös valtiovarainministeriön ja

Kuntaliiton valmisteleva kansallinen hankintastrategia vuodelta 2020, jossa kiertotalous-, työllisyys- ja ympäristövaikutusten nähdään ohjaavan julkisen sektorin kulutusta ja täten siis mahdollisesti juuri kohti sivutuotevirtojen hyödyntämistä. Hankintojen seuraamista varten on perustettu Kestävien ja innovatiivisten julkisten hankintojen verkostomainen osaamiskeskus (KEINO) ja ainakin Cleantech hankintojen osalta toiminta on ollut aktiivista (VTV 2021). Kuitenkaan Suomen tavoitteita bio- ja kiertotalouden tai cleantechin edelläkävijyydestä ei ole saavutettu, eikä hankintojen ohjaamiseksi ole luotu ympäristötavoitteita tai niiden saavuttamista tukevaa järjestelmää kuten esimerkiksi Ruotsissa on toimittu.

EU direktiivin (2019/1161/EU) pohjautuva *Laki ajoneuvo- ja liikennepalveluhankintojen ympäristö- ja energiatehokkuusvaatimuksista* astui Suomessa voimaan 2.8.2021. Tämän lain myötä kuntia ja valtiota veloitetaan hankkimaan vähä tai ”nolla” päästöisiä autoja kun ne tekevät uusia hankintoja. Henkilö- ja kevyiden hyötyajoneuvojen osalta tämä merkitsee alkuvaiheen jälkeen täyssähköautoja, kun taas raskaammassa liikenteessä sivuvirtojen hyödyntämisen kannalta merkittävät biopolttoaineet lasketaan vähimmäisosuuksiin, joita julkisen sektorin on hankittava. Vaatimukset ovat kaupunkialueilla tiukemmat kuin maaseudulla. Julkisen sektorin ajoneuvohankintojen arvoksi (2015–2019) on arvioitu noin 27,5 miljoona euroa vuosittain (Hallituksen esitys 70 2021). Logistiikan kannalta mielenkiintoisessa ”koneet, laitteet ja kalusto” hankintakategoriassa vuonna 2021 suurin valtion hankintayksikkö oli Luonnonvarakeskus ja kuljetusvälineiden kategoriassa viidenneksi suurin. (<https://www.tutkihankintoja.fi>). Vapaaehtoiset sopimukset julkisen sektorin ja yritysten välillä ovat eräänlainen hybridi muista ohjauskeinoluokista. Informaatio-ohjauksen piirteistä niihin liittyvät julkinen viestintä, jolla yritys voi tavoitella kilpailuetua tuotemarkkinoillaan ja toisaalta julkinen sektori voi viestiä tavoitteistaan yritysten sekä kuluttajien suuntaan. Sopimus voi tarjota tukea yrityksille vähentämällä niiden kustannuksia markkinointiin, lainsäädännön seuraamiseen ja siihen vaikuttamiseen julkisen valtion rahoittaessa tätä tiedon siirtoa. Vapaaehtoisen sopimuksen tarjoaminen saattaa myös sisältää normiohjauksen soveltamisesta, mikäli vapaaehtoinen sopiminen ei itsessään riitä saavuttamaan julkistettuja tavoitteita. Suomessa on käytössä 8 kappaletta niin sanottuja green deal -sopimuksia, joiden vaikuttavuuden seurannasta on sovitettu tapauskohtaisesti. Lisäksi energia-, materiaalitehokkuuden, ja kestävä kehityksen toimenpiteille on vapaaehtoiset sitoumukset. Materiaalitehokkuuden sitoumusten tavoitteena on nimenomaan edistää kiertotaloutta, joten sivutuotteiden ja niiden logistiikan osalta keino on kiinnostava.

9.3. Poliittisten ohjauskeinojen yhteenveto

Ohjausta on merkittävässä määrin ja sen pääasiallinen vaikutus sivutuotevirtoihin on niiden kasvattaminen. Sivuvirtojen ohjaamiseen pois kaatopaikoilta käytetään merkittävässä määrin keinoja. Vaikutus on ollut varsinkin sivuvirtojen hyödyntäminen energiantuotannossa. Sivuvirtojen polttamiseen investointi on jatkunut edelleen vuosina 2021–2022 ja kasvamassa 2,1Mt/a tasolle (Bröckl ym. 2021). Nyt tätä vaihtoehtoa ollaan rajoittamassa kieltämällä erilliskerätyn jätteen poltto ja samalla kasvattamalla erilliskerätyn jätteen osuutta.

Taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta sivuvirtojen energian käytölle luodut tuki- ja veroedut, heikentävät korkeamman kaskaditason hyödyntämisen kilpailukykyä energiaksi käyttämiseen verrattuna. Täten entistä kannattommaksi muodostuvien korkeampien kaskaditsojen hyödyntämistä tuetaan T&K tuilla, informaatio-ohjauksella ja laajalla kavalkadilla erilaisia normeja.

Muuten kuin yleisen maataloustuotannon tukien ja liikenteen verotuksen/verotukien osalta, sivutuotevirtojen ohjaus on normipainotteista. Varsinkin jätesektorilla taloudellista ohjausta on

Suomessa käytetty muita Pohjois-Eurooppalaisia maita vähemmän. Suuri osa ohjauksesta pohjautuu EU:n velvoitteiden noudattamiseen. Komission tavoitteena on nyt kuitenkin normisääntelyn uudistusten lisäksi sekä laajentaa päästökauppaa että kiristää jaettavien päästöoikeuksien kokonaismäärää ja esimerkiksi yhdenmukaistaa lämmitys ja liikennepolttoaineiden vähimmäisverokannat EU: ilmasto- ja ympäristötavoitteiden kanssa.

Eurooppalaisittain Suomi on harvaan asuttu maa, joka mahdollistaa biopohjaisten sivuvirtojen tuotannon suuressa mittakaavassa, mutta lisää yleisesti logistiikan kustannuksia ja päästöjä. Ohjauskeinolla pyritään suojaamaan varsinkin vientiteollisuuden kilpailukykyä kansainvälisillä markkinoilla ja suomalaista maataloutta EU:n ja WTO asettamissa puitteissa. Kiertotalousajattelu ja sivuvirtojen kaskadisointi tukeutuneekin näihin tavoitteisiin, vaikka monesti positiiviset ympäristövaikutukset nostetaan viestinnän keskiöön.

Sivutuotelogistiikan kannalta merkittävillä tukimuodoilla on kuitenkin myös haitallisia ympäristövaikutuksia esimerkiksi kasvihuonekaasupäästöjen lisääntyminen, vesistöjen ravinnekuormitus ja luontokato. Täten sivutuotteiden tuotannon ja logistiikan poliittista ohjausta tai sen muutoksen vaikutuksia arvioitaessa on kiinnitettävä huomiota ympäristövaikutusten mittaamiseen, jotta vaikutukset ymmärretään koko arvoketjun tasolla ja voidaan varmistaa, että ainakin positiivisilla ympäristövaikutuksilla markkinoidut sivuvirtojen käyttökohteet todella tuottavat todennettavaa ympäristöhyötyä. Yhteiskunnallisen resurssien käytön tehokkaan kohdentamisen kannalta olisi myös kyettävä vertaamaan sivuvirtojen kiertojen vaikutuksia muihin ympäristövaikutuksen hallinnan keinoihin sekä taloudellisesti että päästömäärittäin. Näistäkin varauksista huolimatta voidaan olettaa, että sivuvirtojen hyödyntämiseen liittyy yhteiskunnallisesti tärkeitä mahdollisuuksia, joiden tarkempi ymmärtäminen tutkimuksen kautta lienee suomalaisen yhteiskunnan kokonaisedun mukaista.

Ydinviestit

- Biotalous sivutuotteista on suomalaiselle yhteiskunnalle lisäarvoa, jonka syntymistä edistetään jo laajalla kavalkadilla sekä EU lähtöistä että kansallista poliittista ohjausta
- Sivutuotteiden tuotannon ja logistiikan politiikkaohjauksen uusien tukimuotojen vaikutuksia tulee arvioida haitallisten ympäristövaikutusten kuten kasvihuonekaasupäästöjen lisääntymisen, vesistöjen ravinnekuormituksen ja luontokadon näkökulmasta, mutta myös vaikutukset suomalaisen yhteiskunnan resilienssiin tulee huomioida

Viitteet

- Alhola, K., Lankiniemi, S. Popova, M. & Yliruusi, H. 2022. Kiertotaloushankintojen käsikirja. SYKE.
- Bröckl, M., Kiuru, H., Heads, S., Kämäräinen, K., Patronen, J., Luoma-aho, K., Armila, N., Sipilä, E. & Semki, N. 2021. Jätteenpolton kiertotalous- ja ilmastovaikutuksiin vaikuttaminen eri ohjauskeinoin. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:8.
- Dyckhoff, H. & Souren, R. 2022. Are important phenomena of joint production still being neglected by economic theory? A review of recent literature. *Journal of Business Economics*. <https://doi.org/10.1007/s11573-022-01109-5>

- Energiavirasto. 2022. Jakeluvuote. <https://energiavirasto.fi/jakeluvuote>
- Energiavirasto, 2022. Tiedote päästökaupan tuloista 20.12.2021. <https://energiavirasto.fi/-/paastokaupan-huutokauppatulot-409-miljoonaa-euroa>
- EU 2021. COM/2021/550 Communication Fit for 55': delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0550&from=EN>
- Euroopan Unioni 2019/1161/EU. Moottoriajoneuvodirektiivi. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019L1161&from=FI>
- Euroopan Unioni 2018/851/EU Jätedirektiivi. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L0851&from=FI>
- Euroopan Unioni 2003/87/EY Päästökauppadirektiivi. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:l28012>
- Euroopan Unioni 1069/2009/EY Sivutuoteasetus. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32009R1069&from=EN>
- Euroopan Unioni 2018/2001/EU Uusiutuvan energian direktiivi. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>
- Euroopan Unioni (2014/24/EU) Hankintadirektiivi. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0024&from=EN>
- Euroopan Unioni 2010/75/EU IPPC direktiivi. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32010L0075&from=EN>
- Euroopan Unioni 91/676/ EY Nitraattidirektiivi. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:31991L0676&from=FI>
- Jätelaki 646/2011 714/2021. Ympäristöministeriö. 1.5.2012 ja 19.7.2021.
- Jakeluvuotelaki 446/2007. Kauppa- ja teollisuusministeriö 1.1.2008.
- Laki maatalouden rakennetuista 1476/2007. Maa- ja metsätalousministeriö 1.1.2008.
- Laki biopolttoöljyn käytön edistämisestä 418/2019. Työ- ja elinkeinoministeriö 1.4.2019.
- Forsström, J., Koreneff, G., Koljonen, T. & Lehtilä, A. 2022. Taustaselvitys Suomen energiaverotuksen kehitystyölle. VTT
- HE 212/2021 Hallituksen esitys. https://www.eduskunta.fi/Fl/vaski/KasittelytiedotValtiopaivaasia/Sivut/HE_212+2021.aspx
- HE 70/2021 Hallituksen esitys. <https://www.eduskunta.fi/Fl/vaski/HallituksenEsitys/Sivut/HE-70+2021.aspx>
- Hyyrynen, M. 2013. Ympäristön kannalta haitalliset tuet. ympäristöministeriön raportteja 13 2013
- Lehto, M., Erkamo, E., Kuisma, R., Mäki, M., Haikonen, T., Jallinoja, M. & ja Kymäläinen, H.-R. 2021. Elintarviketuotannon sivujakeiden hyödyntäminen: Liha-, kala- ja kasvistuotannon

- sivujakeet. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 68/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 94 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-281-0>
- Merisalo, M.; Naumanen, M.; Huovari, J.; Eskola, S.; Toivanen, M.; Keskinen, P.; Hajikhani, A.; Oksanen, J. & Rausmaa, S. 2021. Julkiset hankinnat - kokonaisvolyymi ja datan hyödyntäminen VNK julkaisusarja 2021: 46. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163212/VNTEAS_2021_46.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Moliis K., Salmenperä, H. & Rehunen, A. 2014. Pakkausjätteen erilliskeräysvaatimusten vaikutusten arviointi. Ympäristöministeriön raportteja 11/2014. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/135572/YMra_11_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mäki, O. 2009. Metsäpolitiikan ohjauskeinojen arviointikehikko – tapauskohteena Suomi. Helsingin yliopisto. Pro Gradu. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/14468-/gradu_maki_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Niskanen, Y. 2004. Metsäsuunnitelman vaikutus ensiharvennuspäätökseen. Metsätieteen aikakauskirja 3/2004: 237–254.
- Nissinen, A. & Savolainen, H. 2019. Julkisten hankintojen ja kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjälki ja luonnonvarojen käyttö - ENVIMAT-mallinnuksen tuloksia. SYKE. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/300737/SYKEra_15_2019_korjattu_26_02_2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Pöyry Management Consulting Oy 2012. Selvitys jätteen energiakäytöstä ja päästökaupasta <https://tem.fi/documents/1410877/2414868/Selvitys+j%C3%A4tteen+energiak%C3%A4yt%C3%B6st%C3%A4+ja+p%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6kaupasta/71ea421c-4469-47e1-9c44-fb0cc69ec3c7/Selvitys+j%C3%A4tteen+energiak%C3%A4yt%C3%B6st%C3%A4+ja+p%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6kaupasta.pdf>
- Salmenperä, H. Kauppila, J., Kautto, P., Sahimaa, O., Dahlbo, H., Kaitazis, N., Autio, I., Niskanen, A., Kemppi, J., Papineschi, J., von Eye, M., Durrant, C. & Tomes, T. 2019. Yhdyskuntajätteen kierrätyksen lisääminen Suomessa – toimenpiteet ja niiden vaikutukset. Valtioneuvoston selvitys ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 15/2019.
- Savikko, H., Hokkanen, J., Rinne, T. 2022. Selvitys jäteveron kehittämisestä. Raportti 30.3. 2022. Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/documents/1410903/38678498/Selvitys+j%C3%A4teveron+kehitt%C3%A4misest%C3%A4+Raportti+30032022.pdf/e803e17f-092e-af55-c1da-5907815b4a23/Selvitys+j%C3%A4teveron+kehitt%C3%A4misest%C3%A4+Raportti+30032022.pdf?t=1649137556870>
- Seppälä, J., Sahimaa, O.; Honkatukia, J.; Valve, H.; Antikainen, R.; Kautto, P.; Myllymaa, T.; Mäenpää, I.; Salmenperä, H.; Alhola, K.; Kauppila, J.; & Salminen, J. 2016 Circular economy in Finland – operational environment, policy instruments and modelled impacts by 2030
- Simons, M., Honkatukia, J., Antikainen, R., Hippinen, I., Merenheimo, T., Lehtomaa, J., Kautto, P., Mikkola, M., Tikkanen, S. & Salmenperä, H. 2018. Taloudelliset ohjauskeinot kiertotalouden arvoketjuissa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 54/2018. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160994/54-2018-Taloudelliset%20ohjauskeinot%20kiertotalouden%20arvoketjuissa.pdf>

- Soini, K. 1999. Ympäristöinformaatio ja viljelijä. Näkökulmia tiedolliseen ohjaukseen. Maatalouden tutkimuskeskus. <https://core.ac.uk/download/pdf/52207289.pdf>
- Solakivi, T.; Ojala, L.; Laari, S.; Töyli, J.; Malmsten, J.; Bask, A.; Rintala, O.; Ojala, M.-L.; Kilpi, V. & Leino, E. 2021. Logistiikkaselvitys 2020 Turun yliopisto
- Tervonen, J. & Metsäranta, H. Liikennejärjestelmän tuet. 2012 Liikennevirasto, Helsinki 2012. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 6/2012. 64 s.
- Ylikoski, P., Niskanen, Y., Hänninen, H., Kurttila, M. & Pukkala, T. 2004. Sijainnin vaikutus uudistusikäisen metsikön hakkuuseen. Metsätieteen aikakauskirja 3/2004: 255–269
- VN 2020. Kansallinen julkisten hankintojen strategia. Valtioneuvosto. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162418/Kansallinen%20julkisten%20hankintojen%20strategia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- VN 2022. Talousarvioesitys 2022. Valtioneuvosto. <https://budjetti.vm.fi/indox/sisalto.jsp?year=2022&lang=fi&maindoc=/2022/tae/hallituksenEsitys/hallituksenEsitys.xml&open-node=0:1:141:387:1115:1189:1201>
- VN 2022 Valtion budjetti. Valtioneuvosto. www.tutkibudjettia.fi
- VN 2022. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi tutkimus- ja kehittämistoiminnan verovähennyksestä. Valtioneuvosto. <https://vm.fi/hanke?tunnus=VM058:00/2022>
- VTV 2021. Jälkiseuranta. Valtioneuvosto. <https://www.vtv.fi/app/uploads/2021/11/VTV-Jalkiseuranta-Valtio-cleantech-hankintojen-edistajana.pdf>

10. Tunnistetut tutkimuksen kehitystarpeet

Erika Winqvist, Vesa Joutsjoki, Janne Helin ja Pasi Rikkonen

Tällä hetkellä kaksi isoa muutosvoimaa ohjaa biomassaraaka-aineiden sekä niiden prosessoinnista syntyvien sivuvirtojen käyttöä. Toisaalta siirtymä fossiilitaloudesta biotalouteen nostaa kysyntää ja biomassasta on tulossa kriittinen resurssi. Toisaalta energian hinnan nousu on nostanut rajusti logistiikkakustannuksia ja nopeat hinnanvaihtelut aiheuttavat erityisesti uuden liiketoiminnan suunnittelulle epävarmuutta. Näiden kahden haasteen yhteisvaikutus heikentää biomassojen sivuvirroista kehiteltävien uusien tuotteiden kaupallisia edellytyksiä ja niiden kehittämisessä pidemmän tähtäimen markkinoille jouduttaneen entistä enemmän turvautumaan julkiseen rahoitukseen. Uusien kaupallisesti kannattavien tuotekonseptien luomisessa olisi kyettävä tunnistamaan sellaisia ideoita, joista kuluttajat ovat valmiita maksamaan. Tämä on tietenkin uusien tuotteiden kohdalla epävarmaa, mutta julkisessa tutkimuksessa on aina mahdollista ja tarkoituksenmukaistakin arvioida hieman pidemmän tähtäimen markkinanäkymiä ja ansaintalogiikan perustaa, esim. kaskadiperiaatteen mukaista uusiokäyttöä tai kierrätystä, jotka nykyisillä hinnoilla eivät vielä kannata.

Koska hyödyntämisen volyymit vaihtelevat toimialoittain, yrityksittäin ja alueittain, tämä tarkoittaa, että logistiikan optimoinnille (hinta, erä koko, välivarastointi, toimitusaika jne.) on yhä selkeämpi tarve. Hyödyntäminen vaatii usein hajautetun ja keskitetyn tuotannon yhteensovittamista ja erityisesti kustannustehokasta logistiikkaa, jossa onnistumisen edellytyksenä on eri toimijoiden välinen yhteistyö ja siitä rakentuvat uudet toimintakonseptit. Miten sitten tutkimus voisi vastata tähän haasteeseen? Mitä uutta tietoa tai osaamista tarvitaan kentällä toimivien yritysten tueksi?

Liiketoimintamallien kehittämisen lähtötiedoiksi tarvitaan paikallista sivutuotevirtojen yritys- ja verkostorakenteen analyysia. Mistä toiminnasta sivutuotevirtoja syntyy sekä missä niitä voisi hyödyntää ja mitä niistä jo maksetaan? Mitä olemassa olevia malleja on jo kehitetty ja voisiko niitä monistaa alueelta toiselle? Liiketoiminnan tukemisessa, olemassa olevien sivutuotevirtojen tuntemus on kuitenkin vain pieni osa kaupallisen menestyksen vaatimasta tietotarpeesta. On tärkeää ymmärtää myös tuotteistamista ja arvolupaus, jolle mahdollinen liiketoiminta perustuisi.

Biomassojen saatavuudesta ja laadusta tarvitaan aiempaa tarkempaa tietoa. Vain osa biomassatiedosta tilastoidaan lopun jäädessä yksityisten toiminnanharjoittajien hiljaiseksi tiedoksi. Miten myös yksityiset toimijat motivoitaisiin tiedon jakamiseen? Toisaalta palvelut, joihin tietoa voi ilmoittaa (esim. Motivan Materiaalitori ja MTK:n ylläpitämä Kiertoasuomesta.fi), ovat hajanaisia. Mitä mahdollisuuksia data-avaruuden kehittäminen toisi tiedon keräämiseen ja jakamiseen? Uusia vastauksia voi kenties jatkossa etsiä esimerkiksi mikromaksuista, yhteisörahoitusprojekteista tai vaikkapa pelillistämisestä.

Jäljitettävyyden avulla on mahdollista varmistaa raaka-aineen alkuperä ja laatu. Ratkaisut, jotka on kehitetty suurten toimijoiden vakiintuneisiin toimitusketjuihin, eivät välttämättä toimi biokiertoaloudessa, koska sivuvirtabiomassoja syntyy monissa paikoissa ja varsin heterogeenisiltä tuottajilta sekä hankinta saattaa olla hyvin verkostomaista. Uusia jäljitettävyyseratkaisuja tarvitaan myös todentamaan toisaalta lainsäädännön vaatimuksia (esim. REDII) toisaalta biokiertoalouden liiketoimintamahdollisuuksia kuten hiilikompensaatio. Jäljitettävyyttä tarvitaan, että vaatimusten toteutuminen voidaan osoittaa. Ala tarvitsee vielä kehitystä joustavien ja hajautettujen ympäristöön tarkoitettujen digitaalisten ratkaisujen kehittämisessä.

Puuraaka-aineen monipuolisempi hyödyntäminen tuo uusia näkökulmia myös varastointiin ja laatuun. Puun uuteaineiden hyödyntäminen biojalostuksen raaka-aineena asettaa uudenlaisia vaatimuksia raaka-aineen toimitusketjulle materiaalin tuoreuden suhteen. Kuoren uuteainepitoisuudym.kavat laskea heti puun kaadon jälkeen ja varastointitavalla on merkittävä vaikutus häviöihin. Haluttu lopputuotteen laatu ja oikea varastointitapa tuleekin jatkossa sovittaa entistä tarkemmin yhteen hyödyntämistavan mukaan. Uutta tutkimusta tehdään myös säähavaintotietojen hyödyntämiseen suoraan laatuominaisuuksien muutosten ennustamiseen varastoinnin aikana.

Metsäteollisuuden toimituslogistiikkaa on optimoitu mallintamalla toimitusketjuja, välivarastointipaikkoja, logistiikkakeskuksia, kuljetuskalustoa ja ajoreittejä sekä ottamalla käyttöön logistiikanhallintajärjestelmiä. Toimituslogistiikalle tehostamispainetta luovat kuitenkin edelleen avohakkuiden pieneneminen ja väheneminen sekä harvennushakkuiden ja jatkuvan kasvatuksen yleistyminen. Lisäksi tutkimusta haastaa kustannustehokkaan sivuvirtalogistiikan järjestäminen. Aiemmin sivuvirtojen (kuori, hake, puru) pääasiallisena hyödyntämisenä on ollut suora energiakäyttö paikallisesti. Nyt kuitenkin EU-lainsäädäntö ohjaa sivuvirtojen kaskadikäyttöön. Uusia mahdollisuuksia metsäteollisuuden toimituslogistiikkaan luovat uudet teknologiset ratkaisut, automaatio- ja robotisaatio. Lisäksi korjuu-, kuljetus- ja materiaalinkäsittelykaluston käyttöenergiamuotojen siirtymisessä vähäpäästöisimpiin ratkaisuihin parannetaan energiatehokkuutta ja vähennetään ilmastopäästöjä.

Maatalouden logistiikkakustannuksia ovat viime aikoina nostaneet kasvaneet polttoainekulut, mikä on heijastunut kuluttajahintoihin saakka. Kuitenkin jo pidempään taustalla on vaikuttanut maatalouden rakennemuutos, tilakokojen ja konekannan kasvaminen, vuokrapeltojen suhteellisen suuri osuus ja välimatkojen kasvaminen tilan sisäisessä logistiikassa. Tarve logistiikkakustannusten kuriin saamiseen onkin suuri, mutta ongelmaa voidaan lähestyä usealla tavalla. Logistiikan kustannustehokkuutta voitaisiin parantaa suoraan ottamalla käyttöön uusia logistiikkaohjelmistoja sekä käyttämällä paikkatietojärjestelmiä ja karttaoptimointeja logistiikan tukena. Toisaalta tilojen välinen yhteistyö logistiikassa ja peltojen tilusrakenteen kehittäminen lyhentäisivät kuljetusmatkoja. Alueelliset ja tilojen väliset erot puolestaan vaikuttavat siihen mikä lähestymistapa kannattaa valita.

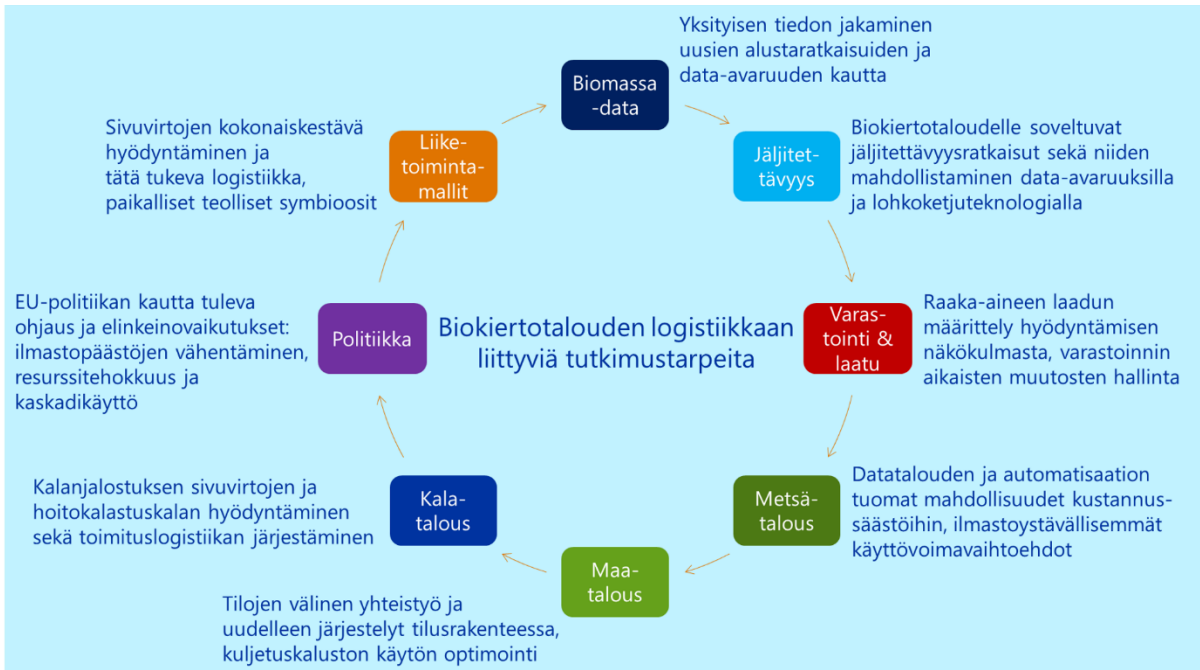
Kalatalouden sivuvirtoja on aiemmin hyödynnetty laajasti turkiseläinten rehuna. Nyt turkistalouden kysyntä on vähentynyt, mutta kalajauhon ja pidemmälle jalostettujen kalaproteiinien kysyntä on kasvava. Vesistön kunnostukseen liittyvä hoitokalastuksen biomassolle tulisi myös löytää korkean jalostusasteen hyödyntämistapa. Tutkimusta tulisi suunnata kalasta saatavien jakeiden arvon lisäämiseen ja tuotteistamiseen. Lisäarvotuotteiden markkinoiden selvitys tarkentaisi kannattavuuslaskelmia. Silakan ja kilohailin arvoketjut ovat tehokkaita, mutta jalostusasteen nostaminen ja raaka-aineen laadun parantaminen edellyttää kalastusmenetelmien ja kalankäsittelyn kehittämistä. Hajallaan olevien sisä- ja rannikkovesien kalaraaka-aineen jalostusasteen parantamiseksi tulisi rakentaa kustannustehokkaita logistiikkaketjuja.

Biotalous sivuvirtojen määrät ja logistiikka ovat vahvasti poliittisessa ohjauksessa, josta merkittävä osa päätetään EU:ssa. Useiden (eri tasoisten) poliittisten päätösten vaikutuksia Suomessa sekä suoraan että välillisesti hintojen muutoksen kautta voi olla vaikea hahmottaa oikein ilman jäseneltyä tapaa kuten mallintamista. Oman haasteensa tähän lisää politiikan dynaaminen luonne, eli se etteivät markkinat ole välttämättä ehtineet sopeutumaan muutoksiin, kun uusia muutoksia joissain niihin vaikuttavissa ohjauskeinoissa jo ilmestyy horisonttiin. Tutkimuksella on tärkeä tehtävä, kun pyritään arvioimaan, saavutetaanko yhteiskunnallisesti asetetut tavoitteet niillä ohjauskeinoilla, joita poliittisesti on päätetty hyödyntää. Kehittämällä entistä parempia taloudellisia malleja olisi myös mahdollista arvioida olisivatko asetetut tavoitteet

mahdollista saavuttaa tehokkaammin tai edullisimmin ja miten esimerkiksi sivuvirtojen logistiikan huomioiminen vaikuttaa ohjauskeinojen valintaan. Biotalous tuotteiden markkinoiden seuraamiseksi on vähintäänkin kyettävä analysoimaan mitä alati tapahtuvat EU:n ja kansallisen tason muutokset politiikassa merkitsevät.

Ukrainan sodan myötä sitoutuminen vihreään siirtymään EU:ssa vaikuttaa lisääntyneen, mutta toisaalta energian hinnan nousu saattaa väliaikaisesti syödä kannatusta tiukkaa ilmastopolitiikka ajavilta poliittikkatoiminta. Energiaturroksella tulee olemaan merkittävä vaikutus sivutuotteiden kysyntään ja logistiikan kustannuksiin. Uusiutuvan energian voimakkaan kasvun lisäksi, EU:n laajuinen poliittinen ohjaus kuitenkin pyrkii vähentämään biomassan osuutta uusiutuvan energian markkinoilla. Optimaalisten logististen ratkaisujen tunnistamiseksi ja niihin ohjaamiseksi, tutkimuksella pitäisi kyetä selvittämään lopputuotemarkkinoiden kehittymistä digitalisaation ja poliittisen ohjauksen myötä.

Kuvaan 15 on koottu tässä raportissa tunnistettuja logistiikkaan liittyviä tutkimuksen kehitystarpeita. Tavoitteena on parantaa logistiikan kustannustehokkuutta ja sen avulla lisätä biotalouden resurssitehokkuutta sekä edelleen omalta osaltaan edesauttaa Suomen hiilineutraali-suustavoitteen saavuttamista 2035.



Kuva 15. Biokiertoalouden logistiikkaan liittyviä tutkimustarpeita.



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000