



## PARANTAANKO BIOTALOUDEN KEHITTYMINEN KEMIAN POOLIN ALUEEN HUOLTOVARMUUTTA?

Selvitys biotalouden eri tuotantomahdollisuuksien merkityksestä ja mahdollisuuksista huoltovarmuudelle kemianteollisuuden näkökulmasta.

KEMIAN POOLI





# PARANTAAKO BIOTALOUDEN KEHITTYMINEN KEMIAN POOLIN ALUEEN HUOLTOVARMUUTTA?

**Selvitys biotalouden eri tuotantomahdollisuuksien merkityksestä ja mahdollisuuksista huoltovarmuudelle kemianteollisuuden näkökulmasta.**

## KEMIAN POOLI

Tutkimuksen ohjausryhmän puheenjohtaja,  
valmiuspäällikkö Petri Ahola-Luttila

Selvityksen tekijä  
TKT Maija Pohjakallio, Katme Consulting Oy

## www.huoltovarmuus.fi

Huoltovarmuudella tarkoitetaan kykyä sellaisten yhteiskunnan taloudellisten perustoimintojen ylläpitämiseen, jotka ovat välttämättömiä väestön elinmahdollisuuksien, yhteiskunnan toimivuuden ja turvallisuuden sekä maanpuolustuksen materiaalistien edellytysten turvaamiseksi vakavissa häiriöissä ja poikkeusoloissa.

Huoltovarmuuskeskus (HVK) on työ- ja elinkeinoministeriön hallinnonalan laitos, jonka tehtävänä on maan huoltovarmuuden ylläpitämiseen liittyvä suunnittelu ja operatiivinen toiminta.

### Kemian pooli

Kemian poolin selvittää, suunnittelee ja valmistelee toimenpiteitä huoltovarmuuden kehittämiseksi kemian alalla. Lisäksi kemian pooli seuraa toimialansa yritysten materiaalista saatavuutta ja ylläpitää kemianteollisuuden huoltovarmuuden tilannekuvaa sekä materiaalisen saatavuuden että tuotannollisen rakenteen osalta.

Poolin toiminta painottuu siihen kriittiseen kemianteollisuuden tuotantoon, joka on välttämätöntä yhteiskunnan elintärkeiden toimintojen turvaamiseksi. Käytännössä tämä tarkoittaa elintarvike-, energia-, ja terveydenhuollon sekä sotilaallisen maanpuolustuksen tarvitsemien kemian alan tuotteiden saatavuuden turvaamista häiriö- ja poikkeustilanteissa. Lisäksi toiminnan suunnittelussa huomioidaan yhteiskunnan kriittisen infrastruktuurin sekä kuljetussektorin tarpeet.

**Julkaisija: Huoltovarmuusorganisaatio**  
**Tutkimuksen ohjausryhmän puheenjohtaja:**  
**valmiuspäällikkö Petri Ahola-Luttila**  
**Selvityksen tekijä: TkT Maija Pohjakallio,**  
**Katme Consulting Oy**  
**Kuvat: Shutterstock**  
**Taitto: Up-to-Point Oy**  
**Painopaikka: Multiprint, Helsinki**  
**Julkaisuvuosi: 2015**  
**ISBN 978-952-5608-32-8**  
**Biotalous**



**HUOLTOVARMUUSKESKUS**  
FÖRSÖRJNINGSBEREDSKAPSCENTRALEN  
NATIONAL EMERGENCY SUPPLY AGENCY

<b>Tiivistelmä</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Johdanto</b> .....	<b>12</b>
<b>2. Suomen uusiutuvat luonnonvarat</b> .....	<b>14</b>
A. Metsät.....	<b>16</b>
B. Turve ja suot.....	<b>18</b>
C. Pellot.....	<b>19</b>
D. Vesistöjen ja rantojen biomassat.....	<b>21</b>
E. Kotieläinperäiset biomassat.....	<b>22</b>
F. Levät ja mikrobit.....	<b>22</b>
G. Jätteet.....	<b>24</b>
H. Biomassojen kasvatusta sisätiloissa .....	<b>25</b>
<b>3. Biotalouden ohjaukseen</b> .....	<b>26</b>
<b>4. Biotalouden toimintamallit</b> .....	<b>30</b>
A. Hajautettu bioenergian, biokemikaalien ja lannoitteiden tuotanto.....	<b>30</b>
B. Keskitetyt biojalostamot.....	<b>33</b>
<b>5. Biotalouden non-food-tuotteiden kemian näkökulma</b> .....	<b>35</b>
A. Energia lämmön- ja sähköntuotantoon sekä liikenteeseen .....	<b>37</b>
A1. Biosynteesikaasu.....	<b>42</b>
A2. Biokaasu ja dimetyylieetteri.....	<b>43</b>
A3. Pyrolyysiöljy.....	<b>45</b>
A4. Alkoholit energian lähteenä.....	<b>45</b>
A5. Uusituva diesel.....	<b>46</b>
A6. Vety.....	<b>47</b>
B. Maatalouden kemian tuotteet.....	<b>48</b>
B1. Lannoitteet.....	<b>49</b>
B2. Kasvinsuojelu.....	<b>51</b>
C. Peruskemikaalit.....	<b>52</b>
C1. Vety.....	<b>53</b>
C2. Ammoniikki ja ammoniumsulfaatti.....	<b>56</b>
C3. Eteeni ja muut hiilivedyt.....	<b>57</b>
C4. Alkoholit ja karboksyylihapot.....	<b>58</b>
C5. Liuottimet.....	<b>59</b>
C6. Muut peruskemikaalit.....	<b>59</b>
D. Erikoiskemikaalit .....	<b>59</b>
E. Vedenpuhdistus.....	<b>63</b>
F. Liimat, lakat ja maalit .....	<b>64</b>
G. Materiaalit.....	<b>65</b>
H. Lääkeaineet, desinfiointi- ja puhdistusaineet .....	<b>71</b>
<b>6. Yhteenveto ja johtopäätökset</b> .....	<b>76</b>
<b>Lähteet</b> .....	<b>79</b>
<b>Liitteet</b> Biotalouden toimijat kartalla 1: esimerkkejä non-food tuotannosta.....	<b>82</b>
Biotalouden toimijat kartalla 2: metsäteollisuuden listaamat biojalostamot.....	<b>85</b>



# Tiivistelmä

Suomen valtionhallinnossa biotalous on nostettu yhdeksi kärkialueeksi. Sen kehittämiseen on laadittu oma strategia, joka julkaistiin toukokuussa 2014. Strategian visiona on, että vuonna 2025 biotalouden kestävät ratkaisut muodostavat koko maan hyvinvoinnin ja kilpailukyvyn perustan. Biotalouden tuotoksen odotetaan kasvavan nykyisestä 60 miljardista 100 miljardiin euroon.

Asukasta kohden laskettuna Suomessa on EU:n suurin ja maailman neljänneksi suurin biokapasiteetti. Biotalouden kehittämisen edellytyksiä ovat biomassojen kestävä ja aktiivinen kasvatusta, hoitaminen ja hyödyntäminen.

Tämä selvitys on tehty Huoltovarmuusorganisaation kemian poolin toimeksiannosta. Aineisto perustuu sekä kirjallisiin lähteisiin että asiantuntijahaastatteluihin. Kemian poolin valmiuspäällikkö Petri Ahola-Luttilla asetti hankkeelle ohjausryhmän, johon hänen lisäkseen kuuluivat FIBIC-shokin toimitusjohtaja Christine Hagström-Näsi, Huoltovarmuuskeskuksen perustuotannosta vastaava johtaja Jyrki Hakola, Suomen bioteollisuus ry:n asiamies Carmela Kantor-Aaltonen, johtava agronomi Raimo Kauppila Yara Suomi Oy:sta, vanhempi tutkija Marja Knuutila Luonnonvarakeskuksesta sekä tutkimuspäällikkö Leena Matilainen Neste Oyj:sta.

Selvityksen ydinkysymykseen on tulosten perusteella helppo vastata: biotalouden kehittyminen tulee parantamaan kemian poolin alueen huoltovarmuutta monella tavalla. Jos kansallisessa biotalousstrategiassa asetetut tavoitteet saavutetaan, riippuvuus fossiilisista raaka-aineista vähenee sekä energian tuottamisen että kemian tuotteiden osalta. Raaka-aineiden lisäksi muutoksia tapahtuu toiminnan tavoissa: syntyy uudenlaista osaajien yhteistyötä, osaamisten yhdistelyä ja ekosysteemejä, mikä luo uusia arvoverkostoja ja myös osaltaan parantaa huoltovarmuutta. Ympäristöön, luonnonvarojen riittävyyteen ja talouteen liittyvien tekijöiden ohella huoltovarmuuden parantamista voidaan pitää jopa yhtenä biotalouden ajureista.

Huoltovarmuuden näkökulmasta biotalouden keskiössä ovat kotimaiset biomassat. Lisäksi on tärkeää turvata tuontibiokraaka-aineiden saatavuus. Bioperäisten raaka-aineiden käyttö ylipäättään vähentää riippuvuutta fossiilisista lähteistä ja edistää kemianteollisuuden uudistumista. Tuontiraaka-aineiden käyttö voi joillain tuotannon aloilla olla ainoa tapa kasvaa globaalisti tärkeäksi toimijaksi. Osa kemianteollisuuden biopohjaisista raaka-aineista, kuten liistereissä käytettävä tärkkelys ja valimohartseissa käytettävä furfuryylialkoholi, ostetaan ulkomailta. Kriisitilanteessa olisi kuitenkin mahdollista hyödyntää enenevästi kotimaan tuotantoa ja tuotantovalmiutta.

Biopohjaiset raaka-aineet eivät ole kemianteollisuudelle uusi asia. Esimerkiksi sellunkeiton rinnakaistatuotteena valmistuvasta mäntyöljystä on jalostettu Suomessa kemikaaleja vuodesta 1913 lähtien. Uutta kuitenkin on biopohjaisten raaka-aineiden ja bioteknologian hyödyntämisen yleistyminen kemian tuotteissa. Noin kolmasosa Suomessa toimivista kemian alan yrityksistä hyödyntää tällä hetkellä uusiutuvia raaka-aineita. Kemianteollisuuden toimijat ovat mukana biomassojen koko kierrossa alkaen biomassojen kasvatukseen tarvittavien lannoitteiden valmistamisesta aina biojätteen jalostamiseen.

Selvitykseen on poimittu esimerkkejä sekä käynnissä olevasta biopohjaisesta tuotannosta että erilaisista kehityshankkeista. Erityisesti on keskitytty seuraaviin käyttökohteisiin

- A. energia lämmön- ja sähköntuotantoon sekä liikenteeseen
- B. maatalouden kemian tuotteet
- C. peruskemikaalit
- D. erikoiskemikaalit
- E. vedenpuhdistus
- F. liimat, lakat, maalit
- G. materiaalit
- H. lääkeaineet, desinfiointi- ja puhdistusaineet

Esimerkkien runsaus kuvastaa biotalouden kentän aktiivisuutta, mutta toisaalta myös sen hajanaisuutta. Kolmas selkeästi esiin nouseva asia on, että kehitysasteella olevien tuotteiden ja ratkaisujen määrä on Suomessa hyvin korkea, mutta teolliseen valmistukseen asti kypsyneitä uusia innovaatioita on vielä melko vähän. Tuotantomääriltään suurimpia Suomessa kemian ja biotekniikan prosesseilla valmistettavia biojalosteita ovat biopolttoaineet, mäntyöljy- ja tärkkelysjalosteet, karboksimeyylliselluloosa, ksylitoli, teollisuusentsyymit, betaiini, sellu ja tärpähti. Materiaalien tuotannossa kumituotteet ovat merkittävä ryhmä, ja nousevia aloja ovat esimerkiksi erilaiset komposiitit ja kuitutuotteet.

On myös huomattava, että osa kemian tuotteista kuten vedenpuhdistuksen kemikaalit, lannoitteet, tietyt hapot, emäkset, katalyytit sekä ioninvaihtohartsit ja vetykaasu, eivät välttämättä ole itsessään biopohjaisia, mutta ne ovat silti biotalouden kehittämisessä kriittisessä roolissa, koska niitä tarvitaan biomassojen jalostuksessa tai kasvatuksessa. Biomassojen kasvatuksen osalta fosfori on strateginen luonnonvara, sillä EU:n alueella raakafosfaattivarantoja on vain Suomessa. 95 % EU:ssa käytetystä fosforista tuodaan EU:n ulkopuolelta.

Suomessa on teknologinen valmius tuottaa (lähes) kaikki kriittiset kemikaalit biopohjaisista raaka-aineista. Kriisitilanteessa meillä siis olisi osaamista ja raaka-aineita, mutta prosessien pystyttäminen veisi aikaa, koska valmiita tuotantolinjoja näille ei ole pystyssä. Kemian etuja on, että tiettyjen peruskemikaalien avulla pystytään tuottamaan suuri kirjo erilaisia muita kemikaaleja. Kriisitilanteessa sellutehtaat pystyttäisiin modifioimaan ja peruskemikaalien tuotanto käynnistämään arvioiden mukaan noin kuuden kuukauden sisällä. Myös osalla biopolttoaineiden valmistajista on osaamista (mm. Fischer-Tropsch, metanolisynteesi) ja laitteistovalmiutta esimerkiksi vedyn, metanolin ja hiilivetyjen tuotannon käynnistämiseen puuhakkeesta.

Energiatuotanto ja -tuotteet ovat olleet biotalouden kehittämisen eturintamassa sekä Suomessa että muualla Euroopassa. Suomi on sitoutunut tavoitteeseen, jonka mukaan uusiutuvan energian osuus kokonaisenergiankäytöstä on 38 % ja osuus liikenteessä 20 % vuonna 2020.

Biopohjaisten kemikaalien ja materiaalien käytölle ei ole olemassa energiasektorin kaltaisia sitovia tavoitteita. T&k&i-ohjelmien puitteissa joitain tavoitteita on esitetty. Esimerkiksi EU:n Biobased Industries eli BBI-konsortio tavoittelee biopohjaisille kemikaalille 30 % osuutta koko EU:n kemikaali-tuotannosta vuoteen 2030 mennessä. Kasvutavoite on korkea, sillä tällä hetkellä noin 90 % kemikaalien globaalista tuotannosta perustuu fossiilisten raaka-aineiden hyödyntämiseen.



Biotalous on voimakkaassa kehitysvaiheessa: suurin osa sen potentiaalista kemian alalla ei ole vielä toteutunut. Monia uusia ratkaisuja ja prosesseja on kehitteillä, jotka toteutuessaan muuttavat koko toimialaa. Myös toimialojen rajat hälvenevät, sillä esimerkiksi kemian-, metsä- ja energiateollisuus hyödyntävät jo nyt osin samoja raaka-ainevirtoja ja valmistavat sekä kehittävät tuotteita samoilta markkinoille. Tehdasinvestointeja Suomessa ovat hidastaneet yleinen talouden epävarmuus, öljyn alhainen hinta, tempoileva ja monimutkainen sääntely sekä raaka-aineen saatavuuteen liittyvät epävarmuustekijät. Huoltovarmuuden kannalta merkittävää on, mihin maahan yritykset sijoittavat uutta tuotantoa.

Tärkeitä nousevia teemoja Suomen biotaloudessa kemian näkökulmasta ovat

- **kiertotalous** ml. ravinteiden (typen, fosforin) kierrätys: biopohjaisten jätevirtojen entistä monipuolisempi hyödyntäminen lannoitteiden, biopolttoaineiden, kemikaalien ja materiaalien valmistuksessa
- **korkean jalostusarvon tuotteiden teollisen valmistuksen lisääminen:** esimerkiksi erikoiskemikaalit ja biopolymeerejä sisältävät tuotteet

Kemianteollisuus ei seuraavan vuosikymmenen aikana muutu sataprosenttisesti biopohjaiseksi vaan todellisuutta on fossiili-, mineraali- ja biotalouden rinnakkaiselo. Kaikki merkit viittaavat kuitenkin siihen, että biotalouden osuus tässä talouksien tasapainossa kasvaa jo lähivuosina. Biotalous on tärkeä osa laajaa kehittymässä olevaa kiertotalouden kokonaisuutta, jossa kaikki aine- ja energiavirrat, sekä uusiutuvat että uusiutumattomat, pyritään hyödyntämään mahdollisimman kestävästi ja älykkäästi.

Suomessa on käynnissä monia toimia biotalouden kehittämiseksi. Yritykset kehittävät uusia raaka-aineita ja teknologioita, useat yliopistot ja korkeakoulut sekä tutkimuslaitokset (VTT, Luke, SYKE) ovat nostaneet biotalouden yhdeksi fokusalueekseen ja monilla alueilla kuten Kainuulla ja Pohjois-Pohjanmaalla on oma biotalousstrategiansa. Kuluneen vuoden aikana valtiolta on käynnistänyt lukuisia toimenpiteitä biotalousstrategian toteuttamiseksi. Näitä ovat muun muassa Biomassa-atlas -hanke kansallisten biomassavarantojen kartoittamiseksi, Sääntelystä biotalouden edistäjä -hanke sääntelyn sujuvoittamiseksi sekä biotalouden kytkeminen tiiviisti mukaan Team Finland-toimintaan viennin edistämiseksi.

Huoltovarmuuden kannalta on keskeistä, että Suomen biotaloutta kehitetään kokonaisuutena. Vaikka yksi Suomen suurimmista haasteista on energian saannin turvaaminen, biotaloudessa on energian tuottamisen lisäksi huomioitava myös muut tuotteet. Ilman monipuolistamista ja yhteistyötä biotalouden potentiaali ei realisoitu. Suomen kaltaisen maan on panostettava erityisesti korkean lisäarvon tuottavaan biojalostukseen.

Keskeisiä toimenpiteitä biotalouden kehittämisessä ovat

1. **Luonnonvara-, jäte-, kemikaali- sekä energia- ja ilmastopolitiikan koordinointi holistisesti,** mikä edellyttää yhteistyötä paitsi elinkeinoelämän ja virkamiesten kesken myös eri hallinnon alojen välillä.
2. **Biotalousaine- ja energiavirtojen arviointi kokonaisuutena sekä resurssitehokkuuden kehittäminen.** Biotalousvirrat ovat toisistaan riippuvaisia ja yksittäisten potentiaalien

laskemisen lisäksi olisi keskeistä selvittää ja saada kartalle virtojen kokonaisuus. Holistisuus ja asioiden välisten yhteyksien hahmottaminen ovat edellytyksiä sille, että pystytään optimoimaan biomassojen käyttö kestävästi ruoan, energian ja erilaisten tuotteiden valmistuksessa. Biomassojen osalta tulisi pyrkiä älykkääseen käyttöön, jossa huomioidaan tuotannon koko elinkaari, päästöt ja teknologioiden innovatiivisuus sekä yhteiskunnan tarpeet. Resurssitehokkuuden ja aine- ja energiavirtojen käyttökohteiden optimoinnin merkitys korostuu etenkin kriisitilanteissa.

- 3. Digitaalisten tietoverkkojen, alustojen ja mallien kehittäminen ja hyödyntäminen.** Digitaaliisuuden avulla voidaan tehostaa biomassojen paikkatiedon saatavuutta, logistiikkaa, sivuvirtojen hyödyntämistä sekä erilaisten osaamisten ja alueellisten toimien yhteen tuomista. Esimerkiksi biomassojen kuljettaminen kuluttaa energiaa, joten on keskeistä arvioida energiataseiden avulla maksimaaliset mahdolliset kuljetusmatkat. Biotalous kehittyminen vauhdittuisi, jos sen lukuisat eri toimijat ja hankkeet saataisiin entistä tiiviimmin liimattua yhteen ja kokonaisuus hahmotettaisiin ”yhteisellä kartalla”. Ensimmäinen askel voisi olla tuotannon, toimijoiden, hankkeiden, selvitysten, tutkimusten ja alueellisten strategioiden kokoaminen yhteen biotalous.fi-sivustolle. Huoltovarmuuden näkökulmasta on tärkeää tietää, missä resurssit ja osaaminen sijaitsevat ja kuinka paljon niitä on, jos jonkin poikkeustilanteen vuoksi pitäisi arvioida riittävyttä ja/tai ottaa käyttöön korvaavia materiaaleja ja energianlähteitä. Suomen biomassavarannoista ollaan maa- ja metsätalousministeriön vetämässä Biomassa-atlas-hankkeessa luomassa paikkatietoon pohjautuvaa tietopankkia biomassojen hyödyntäjien käyttöön.
- 4. Monipuolisuuden, korkeaan teknologiaan ja tuotantoprosessien joustavuuteen panostaminen.** Metsäbiomassojen lisäksi Suomessa on suhteellisen paljon myös esimerkiksi peltobiomassoja ja erilaisia bioperäisiä jätteitä. Täysin uusia biomassapotentiaaleja puolestaan ovat esimerkiksi levät ja hyönteiset. Pienen maan on valittava fokusalueita, mutta toisaalta lisääntyvän ennakoimattomuuden vuoksi on kyettävä varautumaan erilaisiin tulevaisuuksiin ja kyettävä toimimaan joustavasti. Parhaimmillaan biojalostamojen raaka-ainepohja on laaja ja ne kykenevät tuottamaan kirjon erilaisia tuotteita, joiden osuuksia pystytään vaihtelemaan tarpeen mukaan. Teollinen biotekniikka on Euroopan kemianteollisuudessa vallannut alaa viime vuosina, ja se tarjoaa paljon mahdollisuuksia myös Suomen kemianteollisuudelle.
- 5. Paikallisen jalostuksen edistäminen keskitettyjen biojalostamojen rinnalla ja yhteistyökumppaneina.** Biotalous kehittäminen on tärkeää saada mukaan suuria ja pieniä toimijoita sekä luoda yhteistyötä erikokoisten toimijoiden välille. Hajautetun jalostuksen etuja huoltovarmuuden kannalta ovat muun muassa biomassojen kuljetukseen käytettävän energian minimoituminen sekä se, että hajautetun toiminnan haavoittuvuus häiriötilanteissa on pienempi kuin keskitetyn, jossa yksi toimintahäiriö voi pysäyttää suurten erien tuotannon. Paikallisesti kehitetyt toimintamallit ovat usein monistettavissa muillekin alueille, ja näin voidaan saada jalostuksen tuotantomäärät merkittäviksi kriisitilanteissa. Yksi tapa pienten toimijoiden toiminnan vauhdittamiseen on tukea yritysten yhteisöjen muodostumista ja maatalojen välistä yhteistyötä. Esimerkkejä toimivista yhteisöistä ovat kemian alan yritysten yhteisö Smart Chemistry Park Raisiossa ja yli kahdenkymmenen maatalosakkaan omistama biokaasulaitos Juvan Bioson Oy Mikkelissä. Metsä Fibre puolestaan on rakentamassa uuden Äänekoskelle nousevan sellutehtaansa yhteyteen ekosysteemiä, jossa erilaiset toimijat tuottavat lukuisia biotuotteita.

6. **Kansalaisten aktivointi bio- ja kiertotalouden kehittämiseen.** Kuluttajien merkitys biotalouden kehittämisessä on suuri. Ostovoimaan liittyvien valintojen lisäksi myös jätteiden lajittelu nousee keskeiseksi. Kaiken kaikkiaan bio- ja kiertotalous voivat kukoistaa vain, jos kaikki sen osalliset ymmärtävät oman toimintansa ja valintojensa merkityksen.
7. **Bio- ja kiertotalouteen liittyvän yhteistyön kehittäminen erityisesti niiden maiden kanssa, joiden kanssa tehdään myös maanpuolustuksellista yhteistyötä.** Mahdollisia yhteistyömuotoja ovat esimerkiksi osaamisen jakaminen ja yhteiskehittäminen sekä sopimukset ainevirtojen turvaamisesta kriisitilanteissa.

Tässä selvityksessä ei ole tarkasteltu biotalouden ympäristövaikutuksia, mutta selvää on, että kestävyyden periaatteiden tulee olla biotalouden kehittämisen lähtökohtana. Raaka-aineiden ja tuotteiden kestävyyden lisäksi on huomioitava myös prosessien kestävyys ml. hiili-, vesi-, ekologinen ja sosiaalinen jalanjälki.



# 1. Johdanto

Suomen maa-alueella ja vesistöissä on runsaasti luonnonvaroja. Tässä selvityksessä on rajauduttu tarkastelemaan uusiutuvien luonnonvarojen merkitystä kemian poolin alueeseen kuuluvassa huoltovarmuudessa. Tuotteista keskiössä ovat erityisesti polttoaineet, maatalouden, vedenpuhdistuksen ja terveydenhuollon kemian tuotteet, liimat ja maalit sekä perus- ja erikoiskemikaalit. Mukana on myös esimerkiksi biopohjaisten materiaalien kehittämisestä ja soveltamisesta rakentamisessa, pakkauksissa, tekstiiliteollisuudessa sekä lääketieteessä ja hygieniatuotteissa. Biotalous perinteisiä osa-alueita, puutuoteteollisuutta, paperin- ja kartonginvalmistusta sekä ihmisten ja eläinten ravinnontuotantoa tarkastellaan vain kemian tuotantopanosten näkökulmasta.

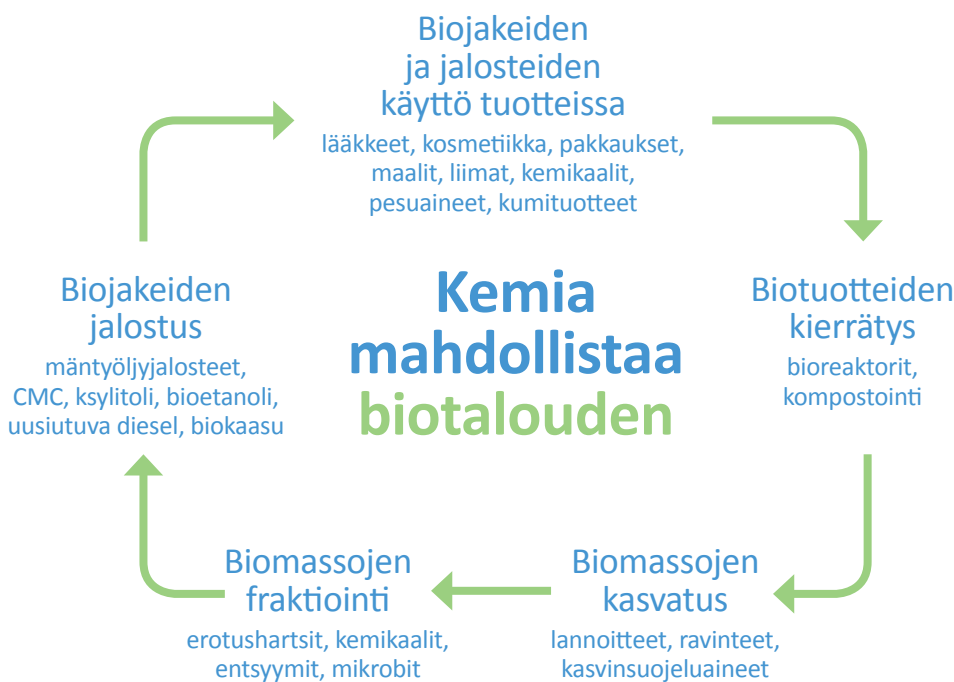
Selvityksessä ei paneuduta taloudellisiin aspekteihin, kuten kilpailukykyyn tai kustannustehokkuuteen, eikä pitkän aikajänteen ympäristövaikutuksiin kuten biodiversiteettiin. Näkökulmien ohjaajana on huoltovarmuus, jonka tavoitteena on turvata, että kansakunta selviytyy mahdollisimman hyvin kriiseistä ja tuotannon häiriöistä.

Huoltovarmuudella tarkoitetaan väestön toimeentulon, maan talouselämän ja maanpuolustuksen kannalta välttämättömän kriittisen tuotannon, palvelujen ja infrastruktuurin turvaamista vakavissa häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa. Huoltovarmuuden lähtökohtina ovat toimivat kansainväliset markkinat, monipuolinen teollinen pohja, vakaa julkinen talous ja kilpailukykyinen kansantalous. Mahdollisia tuotannon häiriötilanteita, joita voivat aiheuttaa mm. poliittiset tilanteet, muutokset ohjauskeinoissa (sääntely, tukipolitiikka), tietoverkkojen häiriöt ja luonnonkatastrofit, ovat esimerkiksi

- tuonti/vienti pysähtyy tai sille tulee rajoitteita
- kotimaisen raaka-aineen saatavuushäiriö
- raaka-aineen äkillinen hinnan nousu (niukkuus, huono sato, kauppapolitiikka)
- kotimaisen tuotantokapasiteetin häiriö esimerkiksi teknisen vian, lakon tai sotatilan vuoksi

Biotalousella tarkoitetaan taloutta, joka käyttää uusiutuvia luonnonvaroja ravinnon, energian, tuotteiden ja palvelujen tuottamiseen. Sille on ominaista ympäristöä säästävän puhtaan teknologian käyttö sekä materiaalien tehokas kierrätys.

Biomassa määritellään biologiseksi materiaaliksi, joka koostuu elävistä tai hiljattain eläneistä organismeista. Kemianteollisuuden toimijat ovat mukana biomassojen koko kierrossa alkaen biomassojen kasvatukseen tarvittavien lannoitteiden valmistamisesta aina biojätteen jalostamiseen (kuva 1).



**Kuva 1. Kemia mahdollistaa biotalouden.**

(lähde: Kemianteollisuus ry). [29]

Biotalous yhdistää eri toimialoja. Maa- ja metsätalous luovat perustan ja prosessiteollisuuden eri alat, kuten kemian-, metsä-, energia- ja elintarviketeollisuus jalostavat biomassoja eteenpäin. Biomassaa käytetään perinteisten sovellusalueiden lisäksi enenevässä määrin tuotannossa, jossa raaka-ainepohja on perinteisesti ollut uusiutumaton, kuten liikennepolttoaineiden tuotannossa. Biopohjaisia vaihtoehtoja on ja kehitetään koko ajan lisää myös esimerkiksi kemikaaleissa, lääkkeissä, kosmetiikassa, pinnoitteissa, liimoissa ja materiaaleissa kuten muoveissa ja komposiiteissa. Uusia innovaatioita kemian alalla on odotettavissa nimenomaan biotalouden piiristä.

Suomen valtionhallinnossa biotalous on nostettu kärkialueeksi ja sen kehittämiseen on laadittu oma strategia, joka julkaistiin toukokuussa 2014. Strategian visiona on, että vuonna 2025 biotalouden kestävä ratkaisu muodostavat koko maan hyvinvoinnin ja kilpailukyvyyn perustan. Tavoitteena on kasvattaa biotalouden tuotos nykyisestä reilusta 60 miljardista 100 miljardiin euroon. Yli puolet Suomen nykyisestä biotaloudesta perustuu metsiin, mutta strategia tunnistaa myös maatalouden biomassojen sekä jätteiden ja teollisten sivuvirtojen merkityksen. Strategiassa mainitaan myös huoltovarmuus ”*Biotalous tuottaa myös muita kansantaloudellisia ja yhteiskunnallisia hyötyjä: viennin kasvun ohella fossiiliraaka-aineiden korvaaminen kotimaisilla uusiutuvilla luonnonvaroilla parantaa Suomen vaihtotasetta, vahvistaa huoltovarmuutta ja lisää energiaomavaraisuutta.*” (Suomen biotalousstrategia, s.8). [13]

## 2. Suomen uusiutuvat luonnonvarat

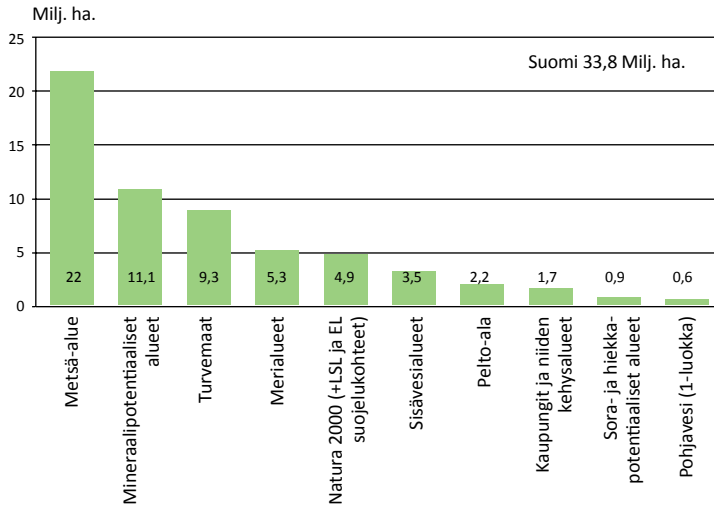
Biomassoihin voidaan lukea metsien, peltojen ja vesistöjen biomassat, eläin- ja mikrobiperäiset biomassat, yhdyskuntajätteet, prosessiteollisuuden orgaaniset sivuvirrat sekä maatalouden orgaaniset jätteet. Laajassa merkityksessä biotalouden raaka-ainepohjaan sisältyvät myös vesimassat ja ilmakehän aineet.

Yhteiskunnan eri toimijoiden aine- ja energiavirrat kytkeytyvät toisiinsa entistä tiiviimmin. Huoltovarmuuden kannalta keskeinen tekijä on kansantaloutemme ainekiertojen kehittäminen. Ainekiertojen optimointi vaikuttaa huoltovarmuuden lisäksi luonnollisesti myös yleiseen resurssitehokkuuteen, ympäristökuormitukseen sekä arvonnällän luomiseen. Yksi biotalouden tavoitteista on luonnon ja teollisuuden ainekiertojen älykäs integrointi. Resurssitehokkuus on noussut kansalliseksi tavoitteeksi monella tasolla. Se voidaan maksimaalisesti optimoida vain tarkastelemalla yhteiskunnan materiaalivirtajärjestelmän kokonaisuutta. Pyrkimyksenä on tuottaa ravinto, tuotteet, palvelut ja energia mahdollisimman pienin resurssein ja ympäristövaikutuksin.

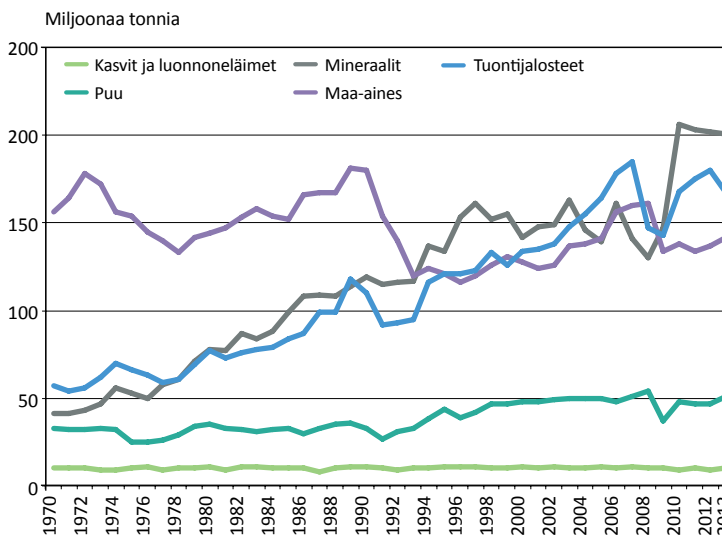
Kokonaisnäkemysten rakentamista biomassavarannoista ja niiden kestävästä käytöstä tukee se, että kaikki maa- ja metsätalousministeriön alaiset tutkimuslaitokset yhdistyivät Luonnonvarakeskukseksi vuoden 2015 alussa. Luonnonvarakeskus eli Luke on Suomen toiseksi suurin tutkimuslaitos, jonka toimintoihin sisältyvät Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen, Metsäntutkimuslaitoksen, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen lisäksi myös MMM:n tietopalvelukeskuksen tilastotehtävät. Suomen suurin tutkimuslaitos on työ- ja elinkeinoministeriön alaisena toimiva Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Myös se panostaa biotalouden kehittämiseen ja yhdeksi sen kolmesta liiketoiminta-alueesta on valittu luonnonvara- ja ympäristöratkaisut. Kolmas valtion tutkimus- ja asiantuntijalaitos, joka merkittävästi liittyy bio- ja kiertotalouden kehittämiseen, on Suomen ympäristökeskus SYKE. Se on osa valtion ympäristöhallintoa ja toimii pääosin ympäristöministeriön, mutta vesivaroihin liittyen maa- ja metsätalousministeriön alaisuudessa.

Suomi on pinta-alaltaan Euroopan seitsemänneksi suurin ja harvaan asutuin maa. Asukasta kohden laskettuna Suomessa on EU:n suurin ja maailman neljänneksi suurin biokapasiteetti. Luonnonvarojen kokonaismäärät on esitetty kuvassa 2. Kuva 3 osoittaa, että puun ja kasvibiomassojen käyttö Suomessa on pysynyt vakiotasolla 1970-luvulta lähtien. Sen sijaan mineraalien ja tuontijalosteiden käyttömäärät ovat kasvaneet voimakkaasti. Luonnonvarojen kokonaiskäyttö on viime vuosikymmeninä kasvanut lähes kaksinkertaiseksi: vuonna 1970 se oli noin 298 miljoonaa tonnia ja vuonna 2013 noin 570 miljoonaa tonnia vuodessa.

Luonnonvarojen käyttö suorina panoksina henkeä kohti on Suomessa korkea. Luku on 45 tonnia asukasta kohti vuodessa, kun EU:n vastaava keskiarvo on 16 tonnia. Tähän vaikuttaa ratkaisevasti Suomen teollisuus rakenne. Suomen talouden raaka-ainekäytöstä massamääräisesti mitattuna noin puolet tuodaan ulkomailta ja hieman alle puolet menee vientiin. Tuonnin suurimpia materiaali-ryhmiä ovat metallirikasteet ja fossiiliset polttoaineet. Suomen energiankulutus asukasta kohden on EU-maista toiseksi korkein ja kaksinkertainen EU-maiden keskiarvoon verrattuna. Syinä ovat pohjoinen sijainti, energiantensiivisten teollisuuden alojen suhteellisen suuri osuus sekä hajanainen asutus ja pitkät välimatkat [1-4].



**Kuva 2. Suomen luonnonvarojen kokonaismäärät ja muu maankäyttö (pinta-alat osittain päällekkäisiä).** Lähde: [1] (Tilastokeskus, YM, MMM, Metla, SYKE, GTK)



**Kuva 3. Luonnonvarojen käyttö Suomessa 1970-2013.** Lähde: [1] (Tilastokeskus).

Huoltovarmuuden näkökulmasta on tärkeää tietää, missä resurssit sijaitsevat ja kuinka paljon niitä on, jos jonkin poikkeustilanteen vuoksi pitäisi arvioida riittävyyttä ja/tai ottaa käyttöön korvaavia materiaaleja ja energialähteitä. Biomassojen optimaalisessa hyödyntämisessä tarvitaan digitaalisia tietoverkkoja ja malleja tehostamaan biomassojen paikkatiedon saatavuutta, logistiikkaa sekä erilaisten osaamisten yhteentuumista. Myös raaka-ainesyötteen optimoimisessa voidaan hyödyntää laskennallisia malleja. Esimerkiksi REMOVE-projektissa (Regional Mobilizing of Sustainable Waste-to-Energy Production) on laskettu skenaarioita Pohjois-Savon alueen biokaasupotentiaalin optimaaliseksi hyödyntämiseksi: missä laitosten tulisi sijaita ja montako niitä tulisi olla. Kehitysyhtiö Cursor

puolestaan on kehittämässä simulointimallia, jonka avulla yritys tai yhteisö pystyy selvittämään oman alueensa biokaasun tai etanolin tuotantomahdollisuudet.

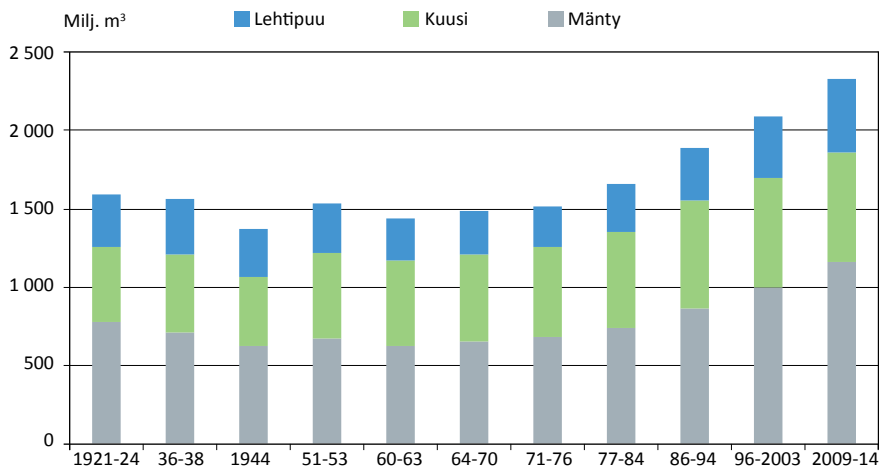
Tietovarannot Suomen luonnonvaroista ovat melko hyvät, mutta hajallaan. Monet eri viranomaiset ja tutkimuslaitokset tuottavat biomassaan liittyvää tietoa omilta aloiltaan. Maa- ja metsätalousministeriön johdolla on käynnistynyt Biomassa-atlas-hanke, jossa tavoitteena on kerätä yhteen biomassatietoja eri lähteistä ja luoda biomassavarannoista paikkatietoon pohjautuva tietopankki biomassojen hyödyntäjien käyttöön. Biomassa-atlaksen esiselvityksen loppuraportti [5] julkaistiin vuoden 2014 lopussa ja ensimmäinen versio nettipohjaisesta tietokannasta valmistuu vuoden 2016 aikana. Siinä ovat mukana pellot, metsät, lanta, biohajoavat jätteet VAHTI-tietokannasta sekä väestötiedoista saatavat yhdyskuntajätteet. Myöhemmässä vaiheessa tarkoituisia lisätä Biomassa-atlaksen myös työkaluja laskentaan ja mallintamiseen. Monet luvun 2 tiedoista perustuvat Lehtonen et al kirjoittamaan Biomassa-atlaksen esiselvityksen loppuraporttiin. Suorat tai melko suorat lainaukset on merkitty sulkumerkinnällä (Biomassa-atlas [5])

## A. METSÄT

Suomen maapinta-alasta noin 22 miljoonaa hehtaaria eli 75 % on metsää. Puuston vuotuinen kasvu on noin 100 miljoonaa kuutiometriä. Metsien puumäärä on viime vuosikymmeninä kasvanut (kuva 4). Kestävästä hakkuun mahdollisuudesta hyödynnetään tällä hetkellä vain noin 70 % (kuva 5). Havukuitupuun vuotuisia hakkuita voitaisiin kestävästi lisätä ainakin 7 milj. m<sup>3</sup> ja koivukuidun 4 milj. m<sup>3</sup>. Kotimaisen puun on jopa arvioitu riittävän kolmen suunnitteilla olevan selluntuotantoa ja puunkäyttöä merkittävästi lisäävän hankkeen tarpeisiin:

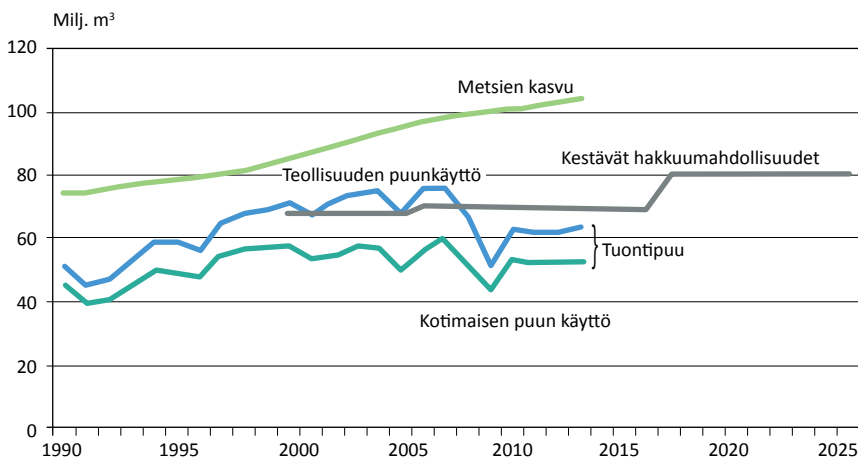
- **Metsä Groupin Äänekoskelle rakennettava biotuotetehdas**, jossa tuotanto alkaa v. 2017. Vuosikapasiteetti on 1,3 miljoonaa tonnia sellua, mikä lisää kuitupuun käyttöä Suomessa noin 4 milj. m<sup>3</sup>. Lisäyksestä valtaosa on havukuitupuuta, joka hankitaan pääosin Suomesta. Investoinnin suuruus on 1,2 miljardia euroa.
- **Finnpulpin Kuopioon rakennettava sellutehdas**, jossa tuotannon on suunniteltu käynnistyvän v. 2019. Kapasiteetti tulee olemaan 1,2 miljoonaa tonnia sellua vuodessa ja puuraaka-aineen käyttö 6,7 milj. m<sup>3</sup> vuodessa. Investoinnin suuruus on 1,4 miljardia euroa
- **Kemijärven metsäbiojalostamo**, jossa tuotannon on määrä käynnistyä v. 2020. Hanketta vetää Suomen Metsäkeskus. Sellua, energiaa sekä bioraaka-aineita tuottavan tehtaan kapasiteetti on 400 000 tonnia sellua vuodessa ja investoinnin suuruus 700-800 miljoonaa euroa.





**Kuva 4. Suomen metsien puumäärä on kasvanut viime vuosikymmeninä.**

Lähteet: Metsä Group, luvut Luonnonvarakeskus.



**Kuva 5. Kestävästä hakkuumahdollisuudesta hyödynnetään tällä hetkellä vain noin 70 prosenttia.** Lähteet: Metsä Group, luvut Luonnonvarakeskus.

Yksityiset ihmiset omistavat noin 60 % Suomen tuottavasta metsämaasta, valtio noin neljänneksen, yritykset vajaat 10 % ja noin 5 % metsistä on muiden tahojen omistuksessa (kunnat, seurakunnat ym.).

Pääosa puubiomassoista hyödynnetään tällä hetkellä puutuoteollisuudessa sekä sellunvalmistuksessa. Näistä prosesseista saadaan myös sivuvirtoja ja rinnakaistuotteita, joita hyödynnetään muun muassa lämmön ja sähkön, kemikaalien, lannoitteiden ja polttoaineiden valmistukseen.

## B. TURVE JA SUOT

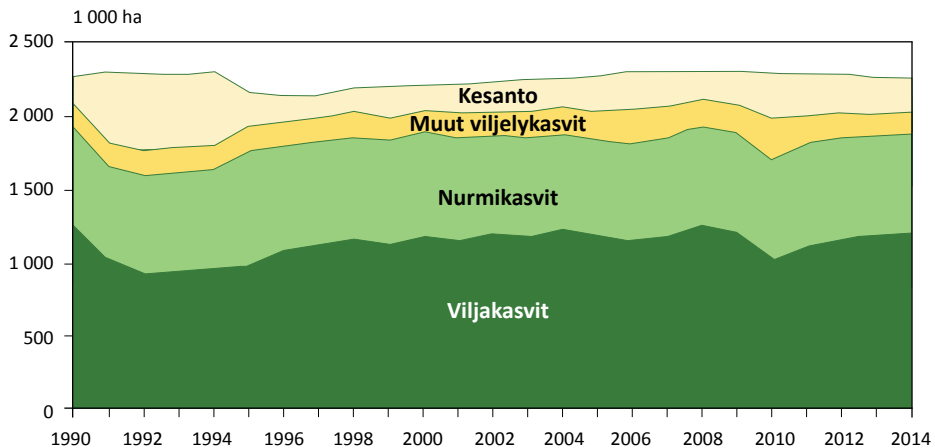
Turve syntyy hajoavasta kasvimassasta, mutta koska sen muodostuminen kestää pitkään YK:n alaisen kansainvälisen ilmastopaneelin IPCC:n ilmastopöytäkirjan määritelmässä turve on luokiteltu fossiiliseksi polttoaineeksi. Soiden ja turvemaiden yhteispinta-ala Suomessa on noin 9,3 miljoonaa hehtaaria, josta turvetuotantoon arvioidaan soveltuvan noin 1,2 miljoonaa hehtaaria. Tällä hetkellä soista ja turvemaista noin 50 % on metsätalouskäytössä, 33 % luonnontilassa, 12 % erilaisina suojelualueina, 3-4 % maatalouskäytössä ja 0,8 % turvetuotannossa. Kyseisellä alueella on noin 70 miljardia kuutiometriä turvetta. Suomen turvevaroja käytetään pääasiassa energiantuotantoon, kasvualustateollisuuden raaka-aineena, eläinten kuivikkeeksi, erilaisiksi ympäristö- ja imeytysturpeiksi sekä hygieniatuotteiden raaka-aineeksi. Turpeen käytön osuus Suomen kokonaisenergiantuotannosta on noin 4 %. (Biomassa-atlas [5])



## C. PELLOT

Pellot ja viljelykasvit rekisteröidään vuosittain, ja niistä on mahdollista laskea vuosittaiset biomassatiedot. Peltomaan kokonaisala Suomessa on noin 2,2 miljoonaa hehtaaria. Elintarvike- ja rehutuo-  
tantoon tästä tarvitaan noin 1,8 miljoonaa hehtaaria, joten noin 0,4 miljoonaa hehtaaria voitaisiin  
käyttää muuhun tuotantoon. Peltomaasta kotitaloudet omistavat noin 90 %.

Tällä hetkellä peltomaasta on viljelyssä noin kaksi miljoonaa hehtaaria, kesantopellon määrä tosin  
vaihtelee hieman vuosittain (Kuva 6). Maata viljeleviä tiloja on yhteensä 54 000. Rungas puolet vil-  
jellystä alasta käytetään viljan viljelyyn. Kokonaisnurmiala on lähes 900 000 ha, sillä valtaosa kesan-  
nosta, luonnonhoitopellosta ja suojavyöhykkeistä on monivuotisia nurmikasveja ja nurmea käytetään  
myös viherlannoitukseen ja vähäisessä määrin biokaasun valmistukseen. Rehun tuotantoon nurmi-  
alasta käytetään noin 650 000 ha (2013). Muiden viljelykasvien viljelyala on noin 141 000 ha. Tähän  
ryhmään kuuluvat mm. rypsi, peruna, rapsi, kumina, sokerijuurikas, puutarhakasvit ja palkokasvit.  
Vihannesten, juuresten ja sokerijuurikkaan viljelyn sivutuotteena syntyy naatteja, jotka tavallisesti  
käytetään eläinten rehuksi tai kynnetään maanparannusaineeksi. Niitä voitaisiin hyödyntää myös  
biojalostamon lisäyötteenä. (Biomassa-atlas [5])



**Kuva 6.** Peltomaan viljely Suomessa. Lähde: Luonnonvarakeskus.

Viljelijät olisivat kiinnostuneita lisäämään nurmen viljelyä, koska se parantaa maan rakennetta ja  
hiilipitoisuutta. Apilanurmen viljelyllä voidaan lisätä maan typpivarastoja, ja nurmen viljely vuoro-  
tellen viljan kanssa on käytäntönä erityisesti luomuviljelyssä. Ruohon viljelyala on noin 470 000 ha,  
ja siitä tuotetaan säilörehua vuosittain 6,7 miljoonaa tonnia (kuiva-aineena 2,4 miljoonaa tonnia).  
Vuosittainen hehtaarisato voitaisiin nostaa 5000 kg:sta 8000 kg:aan, jolloin lisäys ruohon kuiva-ai-  
nemäärään olisi 1,4 miljoonaa tonnia.

Suomen vuosittainen viljasato on tyypillisesti 3,6–4,2 miljoonaa tonnia. Noin puolet siitä on ohraa,  
josta pääosa hyödynnetään eläinten rehuksi. Kauraa tuotetaan hieman yli miljoona tonnia vuosittain  
ja vehnää hieman vähemmän. Rukiin osuus viljasadosta on noin 1 %. Viljan jyväsadon sivutuotteena  
syntyy olkisato, joka on samaa suuruusluokkaa (kg ka/ha) kuin jyväsato. Leikkuupuimurin säädöillä

voidaan valita halutaanko olki silputa vai halutaanko se talteen pitkänä. Nykyisin valtaosa oljesta silputaan peltoon, pieni osa käytetään muun muassa kotieläinten kuivikkeena ja karkearehuna. Olkea käytetään pieniä määriä myös esimerkiksi rakentamisessa, energiantuotannossa, kattomateriaalina, koristeissa ja käyttöesineissä. (Biomassa-atlas [5])

Keski-Euroopassa hampun viljelyn suosio on kasvussa ja sen viljelyä ja käyttöä edistämään on perustettu oma yhdistys European Industrial Hemp Association (EIHA). Hamppu on monipuolinen kuitukasvi, jota voidaan hyödyntää muun muassa rakennusteollisuudessa, paperinvalmistuksessa, tekstiiliteollisuudessa sekä köysien ja matkalaukkujen valmistuksessa. Suomessa hampua on viljelty sota-aikoina, mutta nykyään sen viljely on vähäistä. Suomessa toimiva HempRefine Oy solmii kuituhampun viljelysopimuksia, ostaa tuotetun biomassan ja jalostaa siitä luonnonkuituja biokomposiittien ja rakennuseristeiden raaka-aineiksi. Vuonna 2014 HempRefine Oy:llä oli kuituhamppu-viljelmiä noin 15 paikkakunnalla, jotka sijaitsevat pääosin Länsi- ja Itä-Suomessa. Viljelypinta-alaa on tarkoitus nostaa asteittain ja tavoitteena on saavuttaa 1000 hehtaarin pinta-ala vuoteen 2016 mennessä. Kuituhamppupelto tuottaa 3–4 kertaa enemmän kuitua kuin vastaavan kokoinen metsä-ala. Uusi sato valmistuu vuosittain, toisin kuin metsän, jonka kuitukäyttöön kasvaminen kestää noin 20 vuotta. Hampun kuitu on kuitenkin erilaista kuin puukuitu. [6]

Hampukuitu on luja (120 kg/mm<sup>2</sup>) ja märkäkestävä. Pehmeää kangasta varten hamppu korjataan 2–3 kuukauden iässä, lankakäyttöön 3–4 kuukauden jälkeen ja vaativaan kangas- ja köysikäyttöön noin puolivuotiaana. Hampunsiemenistä saatavaa öljyä on perinteisesti käytetty lampu- ja voiteluöljynä. Syötävää hampunöljyä voidaan valmistaa muun muassa kylmäpuristamalla korjatuista, kypsistä siemenistä. Hampunsiemenet sisältävät helposti imeytyvää proteiinia noin 25 % ja monitydyttymätöntä rasvaa noin 33 %. EU-säännösten mukaan alle 0,2 % tetrahydrokannabinolia sisältävää hampua saa kasvattaa vapaasti.

Peltokasvien teollisuuskasvituotannossa on kyse siitä, että osa kasvien sisältämistä aineista, kuten öljyt, rasvat, tärkkelys, sokeri- tai valkuaisaineet, kuitu, selluloosa-, väri-, aromi- tai lääkeaineet otetaan talteen ja käytetään teollisuuden raaka-aineina. Teollisuuskasveissa pyritään maksimoimaan hyödynnettävän ainesosan määrä kasvissa esimerkiksi kasvinjalostuksen avulla. Luonnonvarojen käytön kestävyys ja myös huoltovarmuuden kannalta olisi tärkeää, että entistä enemmän siirrytään toimintamalleihin, joissa koko kasvi hyödynnetään. Kannattavaa olisi esimerkiksi tuottaa öljykasveja, jonka siemenet jalostetaan öljyksi, kuituaine erotetaan komposiittien osaksi ja loppuosaa myytäisiin vaikkapa talleille kuivikkeeksi. [41]

Suomessa peltokasveista valmistetaan non-food teollisuuden käyttöön esimerkiksi

- **tärkkelystä** (Finnamyl Oy Kokemäellä, Lapuan Peruna Oy, Evijärven Peruna Oy, Altia Oyj) **ja muunneltua tärkkelystä** (Chemigate Oy Lapualla): pääasiakas on paperiteollisuus
- **rypsiöljyä**: kasviöljyt ovat tärkeitä mm. lakkojen, maalien, teollisuusöljyjen, painovärien ja kumituotteiden valmistuksessa (mm. Solmaster Oy, Hollola&Lahti valmistaa rypsiöljy-pohjaisia hydraulioöljyjä ja muottiöljyjä).

## D. VESISTÖJEN JA RANTOJEN BIOMASSAT

Suomen ympäristökeskuksessa on kehitetty järviruokoon liittyviä tiedonkeruumenetelmiä, mutta koko maan kattavia tietokantoja ei vielä ole. Luonnonvarakeskus kerää tietoa kaloista (mm. kalojen poikastuotantoalueista ja joidenkin kalojen osalta kalansaaliista). Ainakaan toistaiseksi kaloihin liittyvä tieto ei ole valtakunnallista.

Järvien rehevöitymisen myötä järviruovikoiden määrä on lisääntynyt nopeasti Suomen sisävesien sekä merialueiden rannikkoalueilla viime vuosikymmeninä. Yksi ilmastonmuutoksen ennustetuista vaikutuksista on vesikasvillisuuden, kuten järviruuo' on lisääntyminen entisestään ranta-alueilla.

Järviruokoa on hyödynnetty Itämeren ympäristössä vuosisatojen ajan, mutta viime vuosikymmeninä hyötykäyttö on vähentynyt. Järviruuo' on niittäminen ja niittomassan hyödyntäminen on harvinaista Suomessa. Esimerkiksi Virossa järviruokoa hyödynnetään.

Järviruoko muistuttaa käyttöominaisuuksiltaan ruokohelpiä ja sitä voitaisiin hyödyntää esimerkiksi biokaasutuksessa, suorassa poltossa, rakennusmateriaalina, katteena tai kuivikkeena. Energiakäyttö on kuitenkin haastavaa ruo' on polttoteknisten ominaisuuksien vuoksi. Niittoajankohdalla on suuri vaikutus niittomassan käytettävyyteen. Kuiva-aineeksi muutettuna järviruokoa voitaisiin saada Etelä-Suomessa keskimäärin 5 tonnia/hehtaari, mutta ruovikon määrä vaihtelee alueittain. (Biomassa-atlas [5])

Kalojen ravinto- ja rehuikäytön lisäksi niistä saatavilla sivuvirroilla voisi olla entistä enemmän käyttöä myös non-food tuotteissa. Esimerkiksi Sybimar Oy Uudessakaupungissa hyödyntää kalan perkuujätteitä bioöljyn valmistuksessa.

Vesistöillä on tärkeä merkitys myös sähköntuotannossa. Vesivoimalla tuotetaan viidennes Suomen sähköstä eli keskimäärin 12 miljardia kWh vuodessa. Yli puolet Suomen vesivoimasta saadaan Kemi-, Oulu- ja Iijoesta. Noin puolet veden virtaamasta on Suomessa valjastettu sähkön tuotantoon. Mahdollisuudet virtaukseen perustuvan vesivoiman lisäämiseen ovat rajalliset erityisesti ympäristönsuojeluun liittyvistä syistä. Huomattavaa on, että myös meren aalloissa on potentiaalia energiantuotantoon. Uppsalan yliopiston arvion mukaan aaltovoimalla voitaisiin kattaa jopa 10 % koko maailman sähkön tarpeesta. Suomessakin esimerkiksi Fortumin näkemys on, että aaltoenergia tulee olemaan yksi tulevaisuuden energiajärjestelmän tuotantomuodoista ja yhtiö on mukana aaltovoimaa kehittävässä projekteissa. [7]



## E. KOTIELÄINPERÄISET BIOMASSAT

Kotieläintuotannosta suurin osa hyödynnetään luonnollisesti elintarvikkeissa. Muissa tuotteissa hyödynnettäviä virtoja ovat mm. turkikset, villa, nahka, luut, teurastusjäte (esim. rasvat), lanta höyhenet ja veri. Kotieläinten sijainti on tilastoitu ja tilastojen perusteella olisi mahdollista muodostaa resurssikarttoja eläinperäisistä raaka-aineista.

Kotieläintuotannossa syntyy vuosittain noin 13,5–17 miljoonaa tonnia lantaa. Tilat hyödyntävät suurimman osan lannasta orgaanisena lannoitteena sellaisenaan. Pieni osa lannasta hyödynnetään energiaksi biokaasulaitoksissa.

Karjatilat ja sen myötä lannan tuotanto ovat keskittyneet erityisesti Varsinais-Suomeen, Pohjanmaalle ja Pohjois-Savoon. Lietelanta on lähes nestemäistä ja sitä ei kannata kuljettaa kauas. Kuiva- ja nestejakeen erottelu toisistaan mahdollistaisi fosforipitoisen kuivan osuuden kuljettamisen tiiviimässä muodossa kaukanakin sijaitseville pelloille.

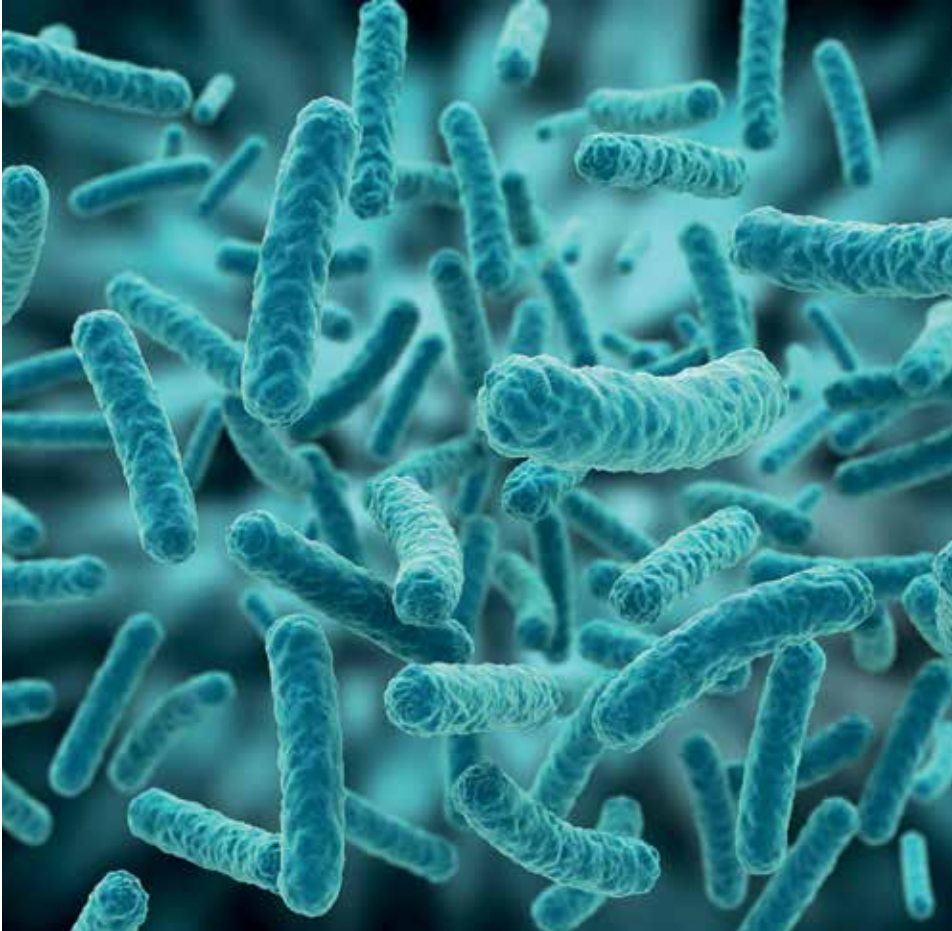
Hyönteisten kasvatusta voi olla yksi merkittävä biomassan tuotantomuoto tulevaisuudessa. Mehiläistarhoja lukuun ottamatta Suomessa ei vielä ole juurikaan hyönteisten kasvatusta. Sen sijaan esimerkiksi Bill ja Melinda Gatesin säätiön rahoittaman Agriprotein on avaamassa Etelä-Afrikkaan maailman suurinta kärpäsfarmia. Farmin tarkoituksena on tuottaa kärpäsenteistä tehtyä rehua kanoille ja kaloille. Farmi voi tuottaa vuorokaudessa noin 22 tonnia toukkia. Hyönteisistä peräisin oleva biomassa sisältää runsaasti proteiineja, joilla on potentiaalista käyttöä paitsi ravintona myös esimerkiksi biomateriaaleissa.

## F. LEVÄT JA MIKROBIT

Levistä voidaan saada monenlaisia biotuotteiden raaka-aineita kuten öljyä, tärkkelystä ja proteiineja. Eräät levät ja syanobakteerit pystyvät myös tuottamaan vetyä, ja leväbiomassasta voidaan mädättämällä valmistaa biokaasua tai sitä voidaan hyödyntää rehuna ja lannoitteena tai fermentoida etanoliksi. Levät kasvavat nopeasti eikä niiden kasvatuksessa tarvita suuria määriä rikkakasvien ja tuholaisien torjunta-aineita. Leväkasvatuksessa voitaisiin myös hyödyntää merivettä tai teollisuuden sivuvirtoja, kuten metsäteollisuuden jäteveden ja savukaasujen hiilidioksidia hiilen lähteenä. [8]

Levät ovat mikroskooppisen pieniä, mutta niiden jakautuminen ja kasvu on erittäin nopeaa. Levät yhteyttävät ja kasvuun tarvitaan veden lisäksi auringonvaloa, hiilidioksidia ja ravinteita. Suomessa levänkasvatusta on tutkimusvaiheessa, mutta osoittautunut haasteelliseksi. Levien kasvatusta Suomessa hankaloittavat auringonvalon vähäisyys ja lämpötilan pitäminen optimialueella. Esimerkiksi Nesteen ja Valion yhteinen leväkasvatukseen liittynyt projekti lopetettiin kesällä 2014. Levistä saatava öljy on kuitenkin erittäin potentiaalinen raaka-aine uusiutuvan dieselin valmistukseen. Vuosien kehitystyö alkaa näkyä esimerkiksi Hollannissa ja Hawajilla koelaitoksina. Neste seuraa kehitystä tiiviisti ja on mukana useissa tutkimushankkeissa eri maissa. Levillä voidaan saavuttaa jopa 30 öljytonnin vuosituotto hehtaarilta, kun esimerkiksi rypsiöljyn vuosituotto on noin 1,2 tonnia hehtaarilta.

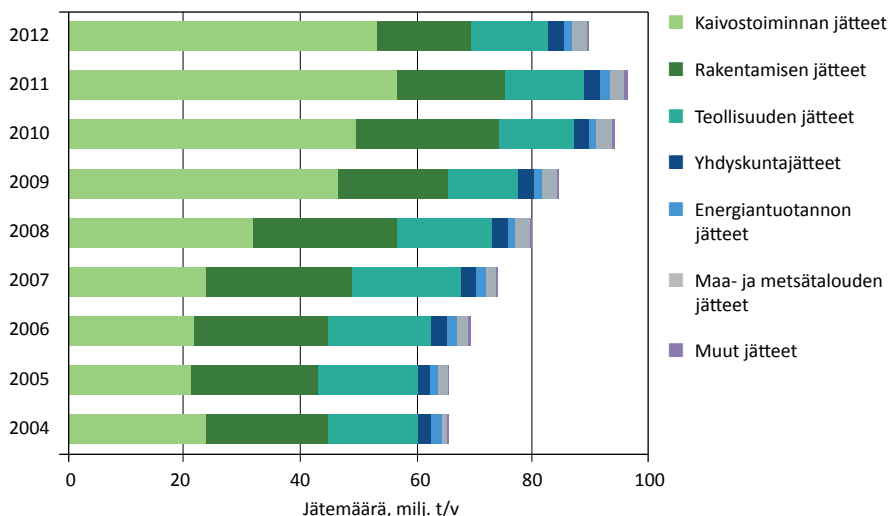
Leväkasvatusteknologia toimii, mutta niiden tuottamia yhdisteitä ei vielä ole markkinoilla, lukuun ottamatta levien hyödyntämistä elintarvikkeissa ja ravintolisissä. Läpimurtoa odotetaan lähitulevaisuudessa.



Erilaisia mikrobikantoja hyödynnetään Suomessa elintarviketuotannon lisäksi lähinnä entsyymien, diagnostisten vasta-aineiden, etanolin ja lääkeaineiden valmistuksessa. Keski-Euroopassa ja Yhdysvalloissa on myös esimerkiksi muoviraaka-aineiden teollista valmistusta mikrobien avulla eli bioteknisesti. Synteettinen biologia on uusi kehittyvä tieteenala, joka mahdollistaa solujen metabolian muokkaamisen siten, että ne saadaan tuottamaan haluttuja yhdisteitä (optimoidut solutehtaat). Kehittyessään edelleen ala voi mahdollistaa esimerkiksi ilmakehän hiilidioksidin ja teollisuuden enenevästi savukaasujen hyödyntämisen kemian tuotteiden raaka-aineina. Synteettinen biologia tähtää myös kokonaisten solujen rakentamiseen synteettisin keinoin. [9]

## G. JÄTTEET

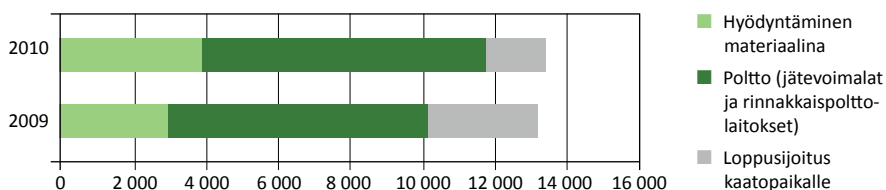
Jätteitä syntyy Suomessa vuosittain noin 90 miljoonaa tonnia. Pääosa tästä on maa-aineksia ja muita mineraalisia jätemassoja esimerkiksi kaivostoiminnasta (osuus noin 50 %) ja rakentamisesta (kuva 7). Biohajoavien jätteiden osuutta ei tilastoida erikseen, mutta tiedetään, että pääosa biohajoavasta jätteestä on puuperäistä. Bioperäistä jätettä muodostuu huomattavia määriä myös mm. maataloudessa ja elintarviketeollisuudessa. Yhdyskuntajätteiden määrä oli vuonna 2012 noin 2,7 miljoonaa tonnia ja tästä osa oli biojätettä.



**Kuva 7. Jättemäärien kertymät Suomessa sektoreittain vuosina 2004–2012.**

Lähteet: [2], Tilastokeskus, SYKE. Teollisuudella tarkoitetaan tilastoinnissa Toimialaluokituksen TOL 2008 mukaan seuraavia Ckategoriaan kuuluvia toimialoja: 10–11 Elintarviketeollisuus, 13–15 Tekstiili-, vaatetus- ja nahkateollisuus, 16–17 Metsäteollisuus, 18 Painaminen ja tallenteiden jäljentäminen, 19–22 Kemiaanteollisuus, 23 Muiden ei-metallisten mineraalituotteiden valmistus, 24–30 ja 33 Metalliteollisuus, 31 Huonekalujen valmistus ja 32 Muu valmistus.

Kaikille jätteille on oltava jonkinlainen käsittely- tai loppusijoitustapa. Vuodesta 2016 alkaen biohajoavien jätteiden sijoittaminen kaatopaikalle on kaatopaikka-asetuksen mukaisesti kielletty. Suurin osa tehdasteollisuudessa syntyneistä ja käsitellyistä jätteistä hyödynnetään (kuva 8). Vuonna 2010 pääosa hyödyntämisestä oli polttamista energiaksi, joten jätevirtojen jalostuksessa tuotteiksi on paljon hyödyntämätöntä potentiaalia. Hyödyntämisaste oli pienin mineraalijätteissä (n. 40 %), kemiallisissa jätteissä (n. 43 %) ja lietteissä (n. 70 %). [2].



**Kuva 8. Tehdasteollisuudessa syntyneiden jätteiden ohjautuminen hyödyntämiseen ja loppukäsittelyyn vuosina 2009 ja 2010.** Lähteet: [2] Tilastokeskus, SYKE.



Kuluneen vuoden aikana monet julkisrahoitteiset toimijat ovat käynnistäneet kiertotalouden vauhdittamiseen tähtääviä hankkeita. Esimerkiksi Motiva vetää teollisuuden sivuvirtojen hyödyntämiseen liittyvää hanketta teolliset symbioosit ja Sitralla on paikallisia alueiden resurssitehokkuuden parantamiseen tähtääviä hankkeita Turussa, Forssassa, Jyväskylässä ja Lappeenrannassa. Näiden kaupunkien tavoitteena on, että vuoteen 2050 mennessä ne eivät tuota ilmastopäästöjä eivätkä jätettä, ja että ne kuluttavat luonnonvaroja maapallon kantokyvyn rajat huomioiden.

Sitran teettämän selvityksen mukaan kiertotalous tarjoaa Suomelle varovasti arvioiden jopa 2,5 miljardin euron arvonlisän vuodessa. Tarkastelussa olivat mukana koneiden ja laitteiden valmistus, puuketju metsän kaatamisesta paperiteollisuuteen, ruokaketju maanviljelystä ruokakauppaan, rakentaminen sekä yksityinen kulutus. Nämä sektorit tuottavat noin 40 % kaikesta tuotetusta jätteestä. [10]

## H. BIOMASSOJEN KASVATUS SISÄTILOISSA

Perinteisten kasvihuoneiden lisäksi markkinoille on tullut uusia tapoja kasvattaa biomassoja sisätiloissa, tavallisissa rakennuksissa. Näistä esimerkkejä ovat viherseinät ja automatisoidut ruukut. Kriisitilanteessa tällaisilla kasvatustavoilla voisi olla merkitystä esimerkiksi elintarvikehuollon turvaamisessa sekä ilman puhdistuksessa.

### i) Viherseinät

- Biomassa kasvaa sisätiloissa seinällä
- Seinällä voi olla toiminnallisuutta. Esimerkiksi jyväskylälainen NaturVention on kehittänyt aktiivi viherseinän sisäilman puhdistukseen. Seinä poistaa ilmasta haitallisia yhdisteitä ja mikrobeja kierrättämällä ilmaa kasvien ja juuriston läpi. Seiniä on jo käytössä toimistoissa, kouluissa, päiväkodeissa ja muissa julkisissa tiloissa. [11]

### ii) Kasvien ruukku tuotanto

- Biomassa kasvaa automatisoiduissa ruukuissa
- Suomalainen Plantui on vuonna 2014 tuonut markkinoille automatisoidun laitteiston, jonka avulla voi helposti ruukuissa viljellä tiettyjä ruokakasveja. Laitteeseen on integroitu tietokone, joka säätelee kasvien saamaa valoa ja ohjaa pumpun säännöstelemään ravinteiden määrää. Kasvit toimitetaan kapsleissa, joissa siemenet ja ravinteet ovat valmiina, käyttäjän tehtävänä on vain veden lisääminen. Tällä hetkellä tarjolla on 30 ravintokasvia. Laitteen tehonkulutus on alhainen, vain 60 kWh vuodessa laitteen ollessa päällä koko ajan. Energiaa säästyy myös siinä, että vihanneksia ei tarvitse kuljettaa, kun tuotanto tapahtuu lähellä kulutusta. Myös hävikki vähenee, sillä käyttäjät yleensä syövät sen minkä tuottavat. Kehitteillä on myös suurempia kasvatusyksiköitä esimerkiksi vähittäiskauppojen käyttöön: halkaisijaltaan 50 cm laite tuottaa testeissä 60 kg tomaatteja vuodessa. Kasvien tuotanto pinta-alayksikköä kohden on samaa luokkaa kuin kaupallisissa kasvihuoneissa. [12]

### 3. Biotalouden ohjauskeinot

Aine- ja energiavirtoihin liittyvä säädöskehä on tällä hetkellä sirpaleinen. Esimerkiksi energia-, kemian- ja jätealan sääntelyä on kehitetty toisistaan erillään, vaikka ne liittyvät toisiinsa. EU:ssa ja Suomessa on myös lukuisia strategioita ja mietintöjä, joilla pyritään ohjaamaan luonnonvarojen käyttöä. Esimerkkejä kansallisista strategioista ovat

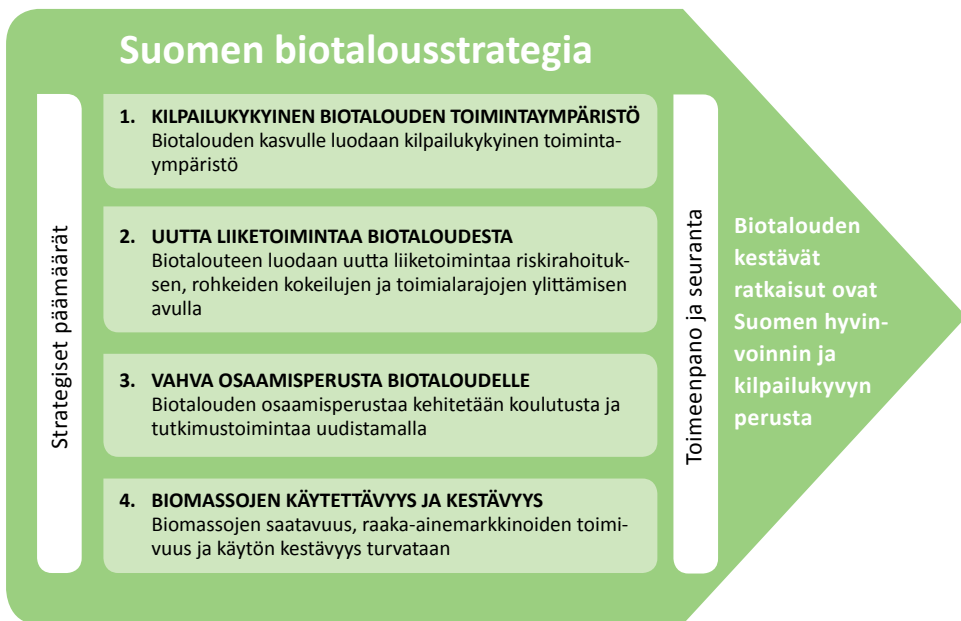
- Kestävää kasvua materiaalitehokkuudella (2013)
- Energia- ja ilmastostrategia (2013)
- Energia- ja ilmastotiekartta 2050 (2014)
- Biotalousstrategia (2014)
- Suomi kestävän luonnonvaratalouden edelläkävijäksi 2050 (2014)
- Metsästrategia 2025 (2014)
- Suostrategia (2011)
- Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016 (2008)

Suomen valtioneuvosto teki kesäkuussa 2013 periaatepäätöksen kestävän kulutuksen ohjelmasta. Ohjelman tavoitteiden mukaan julkinen sektori on edelläkävijänä edistämässä asumisessa, liikkumisessa ja ruokaketjussa rakenteellisia innovaatioita ja toimintatapojen muutoksia, joilla suomalaisten hiilijalanjälkeä pienennetään huomattavasti. Valtio ja kunnat myös muuttavat omaa toimintaansa ja hankintojansa kestävimmäksi.



Biotalouden aine- ja energiavirrat liittyvät toisiinsa, joten säädöksentää on kehitettävä holistisemmaksi, jotta pystytään optimoimaan biomassojen käyttö kestävästi ruoan, energian ja erilaisten tuotteiden valmistuksessa. Biomassojen osalta tulisi pyrkiä älykkääseen käyttöön, jossa huomioidaan tuotannon koko elinkaari ja teknologioiden innovatiivisuus sekä yhteiskunnan tarpeet. Biomassoilla on tärkeä merkitys myös hiilen sitomisessa ja varastoinnissa sekä luonnon monimuotoisuuden säilyttämisessä, joten myös biomassojen ylläpito sinänsä on tärkeää.

Strategioiden ja mietintöjen laadinnassa ja toimeenpanossa tulisi toteuttaa yhteistyötä ja koordinaatioita. Uusia strategioita laadittaessa tulisi eri ministeriöiden yhteistyötä ja kokonaisvaltaista näkökulmaa lisätä. Biotalousstrategia on askel tähän suuntaan, sillä se on valmisteltu ja sitä toimeenpannaan työ- ja elinkeinoministeriön, maa- ja metsätalousministeriön ja ympäristöministeriön yhteisvoimin.



**Kuva 9.** Suomen biotalousstrategian strategiset päämäärät.

Lähde: Suomen biotalousstrategia [13].

Strategioiden yhteisenä linjauksena on, että yhteiskunnan käyttöön otettavat luonnonvarat pyritään pitämään talousjärjestelmän piirissä pitkään siten, että ne tuottavat mahdollisimman suuren lisäarvon ja mahdollisimman vähän arvokkaita materiaaleja poistuu lopullisesti talousjärjestelmästä. Tämä ajattelutapa on välttämätön monissa kriisitilanteissa, joten sen omaksuminen jo yhteiskunnan normaalitilanteessa parantaa huoltovarmuutta. Tässä mielessä esimerkiksi yritysten resurssitehokkuuden tukeminen neuvonnan ja taloudellisten kannustimien avulla, energia- ja materiaalitehokkuutta lisäävien teknologioiden kehittäminen, lainsäädännön kehittäminen kiertotaloutta edistävään suuntaan sekä bio- ja kiertotalouden näkökulmien esiin tuominen eri asteen koulutuksessa mukaan lukien peruskoulu ja lukio, on merkittävää myös huoltovarmuuden näkökulmasta.



Ohjauskeinoja on otettu eniten käyttöön energiasektorilla. Suomessa on esimerkiksi säädetty laki (1420/2010) biopolttoaineiden jakeluvolvoitteesta EU:n asettaman uusiutuvan energian liikenteen osuuden saavuttamiseksi. Jakeluvolvoite on porrastettu taulukon 1 mukaisesti siten, että vuonna 2020 biopolttoaineiden osuuden on oltava 20 % otto- ja dieselmootoreissa käytettävien liikennepolttoaineiden energiasisällöstä. Ne toisen sukupolven biopolttoaineet, joiden raaka-aineet ovat jäte- tai tähdeperäisiä, saavat hyötyä siitä, että niiden käyttö lasketaan kaksinkertaisena määränä jakeluvolvoitetta täytettäessä (ILUC-lisäys Uusiutuvan energian direktiivissä). Uusiutuvan energian käyttöön halutaan ohjata myös energiaverotuksella, jossa huomioidaan esimerkiksi hiilidioksidipäästöt, sekä valtion energiatuella, jolla halutaan vauhdittaa laitosinvestointeja. [14]

Jakeluvolvoitetta on Suomessa täytetty pääosin biopolttoaineilla, esimerkiksi bioetanolilla, uusiutuvalla dieselillä ja pienessä määrin biokaasulla. Sitä voi täyttää myös esimerkiksi sähköautoilla, mutta niiden käyttö maassamme on ainakin toistaiseksi vähäistä.

Biopohjaisten kemikaalien ja materiaalien käytölle ei ole olemassa jakeluvolvoitteen kaltaisia sitovia tavoitteita. T&k&i-ohjelmien puitteissa joitain tavoitteita on esitetty. Esimerkiksi EU:n Biobased Industries eli BBI-konsortio tavoittelee biopohjaisille kemikaalille 30 % osuutta koko EU:n kemikaalituotannosta vuoteen 2030 mennessä.

**Taulukko 1. Suomen jakeluveitolaan mukaiset biopolttoaineiden vähimmäis-osuudet liikenteen energiasta.[14]**

Vuosi	Vähimmäisosuus (% energiasällöstä)
2011-2014	6,0
2015	8,0
2016	10,0
2017	12,0
2018	15,0
2019	18,0
2020	20,0

Biokaasulaitokset ovat Suomessa yleistyneet melko hitaasti verrattuna esimerkiksi Saksaan, Espanjaan, Ruotsiin ja Tanskaan. Kyseisissä maissa turvataan syöttötariffijärjestelmällä takuuhinta myös pienemmille tuottajille, kun taas Suomessa syöttötariffien piiriin pääsevät vain suuremmat yksiköt. Suomessa investointituki on pienten biokaasulaitosten tukimuoto.

Biohiilen käyttö maataloudessa maanperän parannukseen ja lannoitukseen (ks. s 51) ei toistaiseksi kuulu kansainvälisen päästökaupan piiriin, mutta on mahdollista, että tulevaisuudessa menetelmä saa hyväksynnän. Tällöin se tarjoisi taloudellisen kannusteen maanviljelijöille (jopa satoja euroja hehtaarilta). Hiilidioksiditonniin hinta vaikuttaa hiilen talteenottomenetelmien yleistymiseen. Alhaisempien hinta-arvioiden mukaan hinta saattaisi olla vuoteen 2016 mennessä 10–65 €/CO<sub>2</sub> tonnilta ja korkeimpien jopa 80 €/CO<sub>2</sub> tonnilta. Ennen biohiilen laajamittaista käyttöä tarvitaan kuitenkin lisää tutkimusta esimerkiksi biohiilen palonarkuudesta ja ympäristövaikutuksista, kuten hiiltämisprosessissa syntyvistä sivutuotteista, pienhiukkaspäästöistä sekä vaikutuksista pohjavesistöihin, maaperään ja ekosysteemiin. [55]

EU:n jätedirektiivi (2008/98/EU) vaatii jäsenmaita laatimaan kansallisen jätteiden synnyn ehkäisyn ohjelman. Suomen kansallinen jätteiden synnyn ehkäisyn suunnitelma on osa valtakunnallista jätesuunnitelmaa. Tavoitteena on kehittää jäsenmaita entistä enemmän kohti kiertotaloutta, jossa luonnosta saadut raaka-aineet pyritään erilaisten ainekiertojen avulla pitämään yhteiskunnan käytössä mahdollisimman pitkään. Kiertotalous koskee kaikkia luonnonvaroja, sekä uusiutuvia että uusiutumattomia. Vuoden 2015 aikana valmistuu EU-tason kiertotalouspaketti, joka sisältää paitsi uudistuksia jätedirektiiveihin myös sekä ohjeellisia että sitovia tavoitteita jäsenmaille. On huomattava, että suomalaisessa prosessiteollisuudessa resurssitehokkuus on jo nyt osa bisneslogiikkaa ja omaehtoisella kehitystyöllä teollisuus on saavuttanut merkittäviä tuloksia.

## 4. Biotalouden toimintamallit

Biotaloudessa tarvitaan sekä suuria keskitettyjä biojalostamoja että alueellista jalostustoimintaa. Mitä tahansa jalostusyksikköä perustettaessa on huomioitava

- raaka-aineen saatavuus (määrä, laatu, varmuus)
- korjuu & logistiikka (korjuukalusto, kuljetus, varastoinnit)
- tarvittavat apuaineet: katalyytit, fraktiointihartsit, vety, hapot, emäkset jne
- teknologia: osaaminen & ”rauta” (prosessi) & ympäristövaikutukset
- tuotteen varastointi, kuljetus, säilyvyys, laatu
- tuotteen elinkaari: kierrätettävyys, energiakäyttö ja/tai biohajoavuus

Biomassojen ja fossiilisten yhdisteiden käyttöä raaka-aineina kemian tuotteissa on vertailtu taulukossa 2. Monet biopohjaiset tuotteet kilpailevat markkinoilla vastaavien petrokemian tuotteiden kanssa, joilla usein jo on vakiintuneet markkinat ja optimoidut tuotantoteknologiat. Tämä lisää biojalostukseen liittyvien investointien riskiä.

**Taulukko 2. Petrokemian jalostuksen ja biojalostuksen vertailu. [15]**

	Petrokemian jalostus	Biojalostus
<b>Raaka-aineet</b> i) Sijainti ii) Saatavuus iii) Koostumus	i) Lähteet keskittyneitä ii) Jatkuva, mutta rajallinen iii) Erilaisia hiilivetyjä	i) Lähteet hajallaan ii) Kausittaista, mutta uudistuva iii) Happea (ja muita funktionaalisia ryhmiä) sisältäviä yhdisteitä
<b>Jalostusprosessit</b>	Optimoitu 100 vuoden aikana	Tutkimusta ja kehitystyötä, uusia teknologioita tarvitaan
<b>Tuotteet</b>	Vakiintuneet markkinat ja standardit tuotteille.	Markkinat muotoutumassa, yhtenäiset standardit vasta kehitteillä

i) sijainti, ii) saatavuus, iii) koostumus.

### A. HAJAUTETTU BIOENERGIAN, BIOKEMIKAALIEN JA LANNOITTEIDEN TUOTANTO

Koska luonnonvarat ovat alueellisia ja paikallisia, on luontevaa edistää myös biomassan paikallista jalostusta. Hajautetun jalostuksen kehittäminen on myös huoltovarmuuden kannalta tärkeää, sillä sen etuja ovat

- biomassojen kuljetukseen käytettävä energia minimoituu
- biomassojen kasvatusta edellyttää, että osa väestöstä asuu maaseudulla
- toiminnan kehittäminen on usein joustavaa pienessä mittakaavassa
- pieni toimija voi tuoda arvoverkostoon suurten toimijoiden ydinalueiden ulkopuolella olevaa osaamista ja jalostustoimintaa, joiden merkitys verkoston toimivuuden kannalta voi olla keskeinen

- hajautetun toiminnan haavoittuvuus häiriötilanteissa on pienempi kuin keskitetyn, jossa yksi toimintahäiriö voi pysäyttää suurten erien tuotannon
- paikallisesti kehitetyt toimintamallit ovat usein monistettavissa muillekin alueille, ja näin voidaan saada jalostuksen tuotantomäärät merkittäviksi esimerkiksi kriisitilanteissa

Suomessa on paikallista biomassojen käyttöä ja jalostusta kehitetty erityisesti energian, lannoitteiden ja polttoaineiden valmistuksessa. Esimerkkejä hajautetuista toimintamalleista ja prosesseista on esitetty kaaviokuvassa 10.

<p><b>BIOKAASU</b> Sähkön ja lämmön tuotanto &amp; kaasun jalostus liikennekäyttöön. Sivutuotteina mahdollisuus saada lannoitteita, ammoniakkaa, ammoniumsulfaattia (raaka-aineesta riippuen). <b>Raaka-aineina</b> mm. jätevesilietteet, kaatopaikan ja yhdyskuntien biojäte, nurmi, karjanlanta, kananlanta. <b>Toimijoina</b> mm. maatilat, Biotehdas, Biovakka, Envor Biotech, Juvan Bioson, Luke, jätevesien puhdistamot, kaatopaikat. [16-18]</p>	<p><b>TERMISESTI TUOTETTU BIOOPERÄINEN KAASU</b> Sähkön ja lämmön tuotanto &amp; häkäpönttöautojen polttoaine. Kaasua olisi mahdollista jalostaa eteenpäin kemian tuotteiksi, mm. metanoliksi ja muovien raaka-aineeksi (ks.s. 58 kuva 21). <b>Raaka-aineena</b> mm. puuhake. <b>Toimijoina</b> mm. Luke, yksittäiset tilat, Turos Team Oy.</p>
<p><b>BIODIESEL JA BIOÖLJY</b> Lämmitysöljyksi sekä rekojen ja laivojen polttoaineeksi. <b>Raaka-aineena</b> mm. turkiseläinten jäterasvat, muut jäterasvat, kalankasvatuksen ja muun elintarviketuotannon sivuvirrat. <b>Toimijoina</b> mm. Feora, Sybimar, BioGTS (jolla konttituotantoa kehitteillä).</p>	<p><b>BIOETANOLI</b> Tuotanto liikennepolttoaineeksi. Sivutuotteina mahdollisuus saada lannoitteita, furfuraalia, ligniiniä (raaka-aineesta riippuen). <b>Raaka-aineina</b> mm. leipomo- ja kotitalouksien biojäte, elintarviketeollisuuden jäte, 2016 alkaen sahanpuru. <b>Toimijoina</b> St1 Biofuels Haminassa, Vantaalla, Hämeenlinnassa, Lahdessa, Jokioisilla (2016 Kajaanissa).</p>
<p><b>BIOKEMIKAALIT JA -UUTTEET</b> Tuotanto pienissä yksiköissä paikallisesti. <b>Raaka-aineina</b> uutteissa erilaiset kasvit mm. marjojen siemenet, kemikaaleissa mm. metsäteollisuuden jäteliätteet, perunankuoret, kananlanta ja kanan teurasjätteet. <b>Toimijoina</b> Aromtech, ja Fenola, jotka valmistavat siemenöljyjä ja muita uutteita kosmetiikkaan ja Finnoflag, jolla on butanolin, butyraatin, propionaatin, etanolin, vedyn, 2,3-butaanidiolin bioteknistä pilottituotantoa koneteissa.</p>	<p><b>LANNOITTEET JA MULTA</b> Biojätteen kompostointi ja karjanlannan hyödyntäminen. Lannoitteita saadaan myös mm. bioetanolin ja biokaasun tuotannon sivutuotteina. <b>Toimijoina</b> mm. Metsäpirtin kompostointikenttä Sipoossa, yksittäiset taloudet ja maatilat.</p>

**Kuva 10.** *Esimerkkejä biotalouden hajautetusta tuotannosta ja pilot-tuotannosta Suomessa.*

Kahiluoto et al ovat tutkineet elintarvikeketjun jäte- ja sivuvirtabiomassojen alueellisia potentiaaleja ja sähkön, lämmön, liikennepolttoaineiden sekä lannoitteiden tuotannossa Etelä-Savossa ja Satakunnassa. Tarkasteltavina biomassoina olivat kesantobiomassa, sadonkorjuujäte, karjanlanta ja muu maataloilla muodostuva eläinperäinen jäte, elintarvikejalostuksen jäte, kotitalouksien, kauppojen ja ravitsemuspalveluiden biojäte, jätevesiliete, suojavyöhykebiomassa sekä vesistöjen biomassassa. Teknologioista tarkasteltiin mädätystä, kompostointia, biokaasun jalostusta liikennepolttoaineeksi, biodieselin ja bioetanolin valmistusta, polttoa ja lietelannan separointia. Tutkimus osoitti, että jäte- ja sivuvirtabiomassat voisivat korvata [19]

- Etelä-Savossa 45 % ja Satakunnassa 72 % kasvintuotannon sadoissa pelloilta vuosittain poistuvasta typestä. Vastaavat luvut fosforin osalta ovat 100 % Etelä-Savossa ja 120 % Satakunnassa
- Etelä-Savossa noin 5 % alueen sähkön kulutuksesta ja noin 14–17 % alueen lämmön kulutuksesta ja Satakunnassa noin 5% alueen sähkön kulutuksesta ja noin 32–45 % alueen lämmön kulutuksesta (tarkka arvo riippuu siitä, sisältyykö käsittelyyn vain mädätystä vai myös polttoa ja liikennepolttoaineiden valmistusta). Kyseisellä mallilla arvioiden liikennepolttoaineiden korvaavuus olisi maksimissaan noin 0,2–1,2 % alueiden myynnistä.

Kyseisessä tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota siihen, että elintarvikeketjun jäte- ja sivuvirrat sijaitsevat hajallaan. Tämä edellyttää, että käsittelylaitoksille on haettava optimaaliset sijainnit massoihin nähden ja optimoitava niiden keräilyalueet. Biomassojen kuljettaminen kuluttaa energiaa, joten on keskeistä arvioida energiataseiden avulla maksimaaliset mahdolliset kuljetusmatkat. Esimerkiksi Pohjois-Savon alueella on REMOVE-hankkeen yhteydessä [20] laskettu kuljetusrajoiksi yhdyskuntien jätelietteille 518 km, kotitalouksien biojätteelle 2314 km ja karjan lietelannalle -30 km (negatiivinen matka tarkoittaa, että lietelannan kuljetukseen kuluu enemmän energiaa kuin sitä saadaan tuotettua). Tulokset on laskettu CHP-energiatuotannolle ko. syöttestä valmistetulle biokaasulle. Sen sijaan osana julkaisua [19] olevassa Myllymaa & Grönroosin Etelä-Savon ympäristökestävyys-tutkimuksessa todetaan, että biokaasun tuotanto lannasta on energiataseen ja vältettävien ympäristövaikutusten kannalta järkevä vaihtoehto.

Luonnonvarakeskus on yhdessä ProAgraria Lapin ja MMM:n kanssa rakentanut mahdollisimman oma-varaista alueellista energian- ja elintarviketuotannon toimintamallia Sodankylään [21]. Hankkeessa tunnistettiin myös alueen tarve verkostoitua korkean teknologian osaajien kanssa, jotta materiaalivirrat saadaan älykkääseen käyttöön ja biotalouden toiminta on kestävää pitkällä aikavälillä. Sodankylän hanke jatkuu. Vuosina 2015–2017 tavoitteena on luoda vihreän talouden tiekartta ja yhteiskunnan toimintamalli, jossa hajautetut ja keskitetyt ratkaisut ja järjestelmät tukevat ja täydentävät toisiaan tasapainoisen yhteiskunnan luomiseksi. Mallin lähtökohtana ovat AgroHubit, jotka ovat agrokeskusverkon yhteen kokoavia ja yhteisöllisyyttä tukevia yksiköjä, jotka esimerkiksi tasaisivat kysyntäpiikkejä.



## B. KESKITETYT BIOJALOSTAMOT

Keskityt biojalostamot ovat tehtaita tai toisiinsa integroitujen laitosten muodostamia kokonaisuuksia, joissa jalostetaan bioperäisiä raaka-aineita. Suomessa tällä hetkellä toimivat tai lähellä toteutusta olevat suurimmat biojalostamot voidaan jakaa kahdeksaan pääryhmään, jotka on esitetty kuvassa 11. On huomattava, myös monet jätehuoltoon erikoistuneet yritykset kuten Lassila & Tikanoja, Suez (ent. Sita Suomi) sekä Envor Group paitsi keräävät myös käsittelevät ja jalostavat jäteraa-ka-ainetta, josta osa on bioperäistä. Myös ongelmajätteiden käsittelyä jo pitkään harjoittanut Ekokem panostaa nykyään entistä enemmän erilaisten jäteperäisten aineiden jalostukseen. Ekokemillä on yhdessä Biotehaan kanssa rakenteilla Riihimäelle mm. yhdyskuntajätettä käsittelevä kiertotalouskylä. Se käsittelee biojätettä hyödyntävän ja biokaasua, lannoitteita ja ammoniakkivettä valmistavan ekojalostamon, joka käynnistyy vuodenvaihteessa 2015–2016 sekä muovijätettä muovi- ja rakennusteollisuuden käyttöön jalostavan laitoksen, joka valmistuu vuoden 2016 lopulla.



<p><b>SELLUTEHTAAT JA NIIDEN VIRTOJA HYÖDYNTÄVÄT JALOSTAMOT</b></p> <p>Sellun, liukosellun, ligniinin, paperien, kartonkien, tärpätin, bioenergian tuotanto, mäntyöljyn jalostus kemian tuotteiksi, ksylitolin ja karboksimeetyliselluloosan tuotanto</p> <p><b>Toimijoina</b> mm. UPM, Metsä Fibre, Metsä Board, Stora Enso, Forchem, Arizona Chemical, CP Kelco, Danisco Sweeteners (DuPont)</p>	<p><b>KASVIÖLJYJEN JA RASVOJEN VETYKÄSITTELYYN PERUSTUVAT JALOSTAMOT</b></p> <p>Uusituvan dieselin tuotanto liikenteen käyttöön, kehitteillä myös biokemikaalien valmistusta.</p> <p><b>Toimijoina</b> Neste, UPM</p>
<p><b>BIOMASSOJEN TERMISEEN KAASUTUKSEEN JA PYROLYYSIIN PERUSTUVAT JALOSTAMOT</b></p> <p>Kaasun valmistus sähkön &amp; lämmöntuotantoon, pyrolyysiöljyn valmistus lämmön tuotantoon. Kehitteillä jatkojalostusta liikennepolttoaineiden ja biokemikaalien tuotantoon. Toimijoina mm. Vaskiluodon voima, Fortum; t&amp;k&amp;i:ssa VTT, yliopistot [22-28]</p>	<p><b>BIOKAASUN KESKITETTY TUOTANTO JA JAKELU MAAKAASUVERKOSSA</b></p> <p>Biokaasun valmistus lämmön- ja energiantuotantoon &amp; kaasun jalostus liikennepolttoaineeksi</p> <p><b>Toimijoina</b> mm. Gasum ja LABIO Lahdessa.</p>
<p><b>BIOETANOLIN KESKITETTY TUOTANTO</b></p> <p>Bioetanolin valmistus liikennekäyttöön &amp; sivuvirrat (etikkahappo, biohiili, furfuraali)</p> <p><b>Toimijoina</b> Suomen Bioetanolli ja Sievin Biofuels, joilla on suunnitteilla olkea ja/tai puuhaketta raaka-aineena käyttävät laitokset Myllykoskelle ja Sieviin.</p>	<p><b>TÄRKKELYSTEN JA BETAIININ NON-FOOD TUOTANTO</b></p> <p>Tärkkelysten ja betaiinin valmistus mm. paperi- ja kosmetiikkateollisuuteen.</p> <p><b>Toimijoina</b> mm. Finnamyli, Lapuan peruna, Evijärven peruna, Altia, Chemigate, Finfeeds (Du Pont)</p>
<p><b>ENTSYYMIEN TUOTANTO JA LÄÄKE- SEKÄ VASTA-AINEIDEN BIOTEKNINEN TUOTANTO</b></p> <p>Entsyymit (bioteknologialla tai erottamalla viljasta), vasta-aineet diagnostiikkaan, biologisten lääkkeiden sopimusvalmistus</p> <p><b>Toimijoina</b> Roal (AB Enzymes), Genecor International (Du Pont), Metgen (pilottilaitteisto Suomessa), Biovian, Medix Biochemica</p>	<p><b>BIOENERGIAN TUOTANNON SIVUVIRTOJA SEKÄ/TAI KOMPOSTOINTIA HYÖDYNTÄVÄT LAITOKSET</b></p> <p>Esimerkiksi energiantuotannossa muodostuvan puutuhkan tai muun rejektin hyödyntäminen tai lannan jalostaminen lannoitteiksi.</p> <p><b>Toimijoina</b> mm FA Forest, Renotech, Biolan, Biovakka, Envor Biotech</p>

**Kuva 11.** *Suomessa tällä hetkellä toimivat ja lähellä toteutusta olevat keskitetyt biojalostamotyyppit. Kaikki manitut laitokset eivät ole suuria, rajanveto keskitetyn ja paikallisen jalostuksen välillä on liukuva (ks s. 31 kuva 10).*

Biojalostamot eivät sinänsä ole uusi keksintö, sillä esimerkiksi mäntyöljystä on jalostettu erilaisia kemian tuotteita jo 1910-luvulta lähtien, ja sota-aikoina sulfiittisellutehtaiden sivuvirtoja on hyödynnetty sulfiittispriin ja pekiloproteiinin valmistuksessa. Ideaalitapauksessa keskitetty biojalostamo tuottaisi kirjon tuotteita, joiden keskinäistä määrää voisi tarvittaessa muuttaa esimerkiksi raaka-aineiden saatavuuden tai markkinatilanteen mukaan.

## 5. Biotalousnon-food tuotteet: kemian näkökulma

Tämän selvityksen piirissä oli biomassojen hyödyntäminen erityisesti seuraavissa kohteissa

- A. energia lämmön- ja sähköntuotantoon sekä liikenteeseen
- B. maatalouden kemian tuotteet
- C. peruskemikaalit
- D. erikoiskemikaalit
- E. vedenpuhdistus
- F. liimat, lakat, maalit
- G. materiaalit
- H. lääkeaineet, desinfiointi- ja puhdistusaineet

Biopohjaiset raaka-aineet eivät ole Suomen kemianteollisuudelle uusi asia. Uutta kuitenkin on biopohjaisten raaka-aineiden ja bioteknologian hyödyntämisen yleistymisen kemian tuotteissa. Eurooppalaisten arvioiden mukaan vuoteen 2030 mennessä 30 % kemianteollisuuden raaka-aineista olisi biopohjaisia. On myös huomattava, että osa kemian tuotteista kuten vesikemian tuotteet, lannoitteet, tietyt hapot, emäkset, katalyytit sekä ioninvaihtohartsit ja vetykaasu, eivät välttämättä ole itsessään biopohjaisia, mutta ne ovat silti biotalouden kehittämisessä kriittisessä roolissa, sillä ilman niitä monia biomassoja ei saada jalostettua tai kasvatettua. Tällaisia tuotteita valmistavat Suomessa esimerkiksi

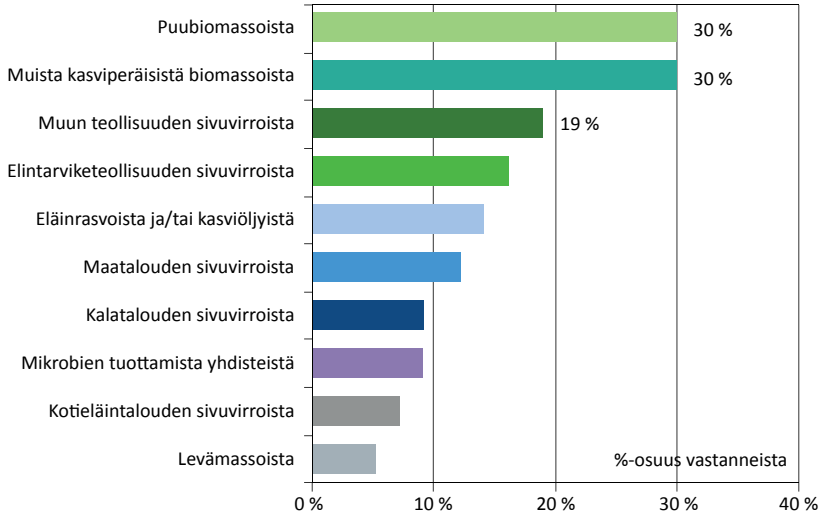
- **Kemira oyj**, joka valmistaa kemian tuotteita mm. vedenkäsittelyyn, paperin- ja kartongin valmistukseen, sokeriprosesseihin sekä biokaasun valmistukseen
- **Yara Suomi Oy**, joka valmistaa lannoitteita, fosforihappoa, typpihappoa, urealiuoksia, rehufosfaatteja ja kaliumsulfaattia
- **Finex Oy**, joka valmistaa kromatografisia erotushartseja bioraaka-aineen käsittelyyn

Kemianteollisuus ry:n vuonna 2013 toteuttaman selvityksen mukaan noin kolmasosa Suomessa toimivista alan yrityksistä hyödyntää tällä hetkellä uusiutuvia raaka-aineita tuotteissaan. Kemianteollisuuden ydinosaamista on erilaisten raaka-aineiden jalostus ja myös erilaiset bioperäiset virrat ovat kiinnostuksen kohteena (kuva 12). Suurimpana haasteena biotalouden kehittämiselle kemianteollisuuden yritykset pitivät bioraaka-aineiden saatavuutta ja korkeaa hintaa (kuva 13). Yksi saatavuuden esteistä on, että arvoverkosta puuttuu toimijoita, ts. tarvittaisiin uusia yrityksiä, jotka jalostaisivat/ räätälöisivät suurten laitosten biopohjaisia aine-virtoja tai muita biomassoja kemian yrityksille sopiviksi raaka-aineiksi. [29]

Osa kemianteollisuuden biopohjaisista raaka-aineista, kuten liistereissä käytettävä tärkkelys ja valimohartseissa käytettävä furfuryylialkoholi ostetaan tällä hetkellä ulkomailta. Kriisitilanteessa voitaisiin enenevästi hyödyntää kotimaan tuotantoa ja tuotantovalmiutta.

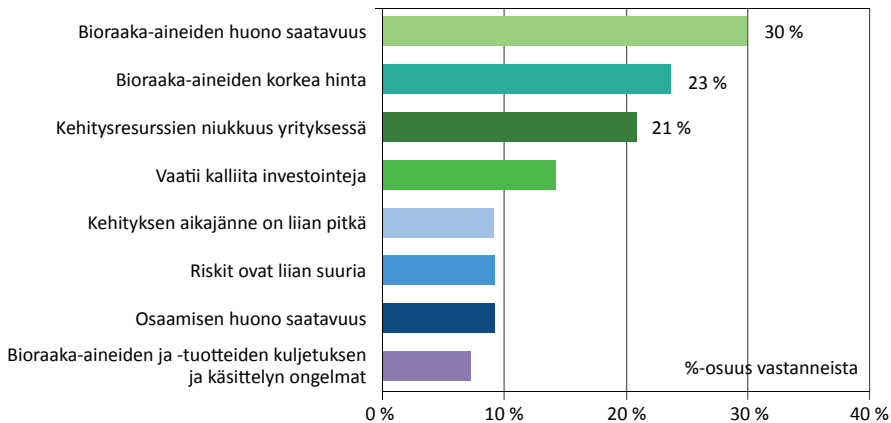
Biotalous on voimakkaassa kehitysvaiheessa: suurin osa sen potentiaalista kemian alalla ei ole vielä toteutunut. Monia uusia ratkaisuja ja prosesseja on kehitteillä, jotka toteutuessaan muuttavat koko toimialaa. Biopohjaisten kemian tuotteiden markkinoiden odotetaan kasvavan Euroopassa noin 5 % vuosivauhdilla ja olevan suuruudeltaan luokkaa 40 miljardia vuonna 2020 (Cefic).

#### YRITYKSEMME ON KIINNOSTUNUT



**Kuva 12. Suomen kemianteollisuuden yritykset ovat kiinnostuneet monenlaisista bioperäisistä raaka-aineista.** Lähde: Kemianteollisuus ry:n selvitys Suomen kemianteollisuus biotaloudessa. [29]

#### BIOTALOUDEN KEHITTÄMISEN SUURIMMAT HAASTEET



**Kuva 13. Biotalous kehittämissä suurimmat haasteet Suomen kemianteollisuuden yritysten näkökulmasta.** Lähde: Kemianteollisuus ry:n selvitys Suomen kemianteollisuus biotaloudessa. [29]

## A. ENERGIA LÄMMÖN- JA SÄHKÖTUOTANTOON SEKÄ LIIKENTEeseen

Yksi Suomen suurimmista huoltovarmuuden haasteista on energian saannin turvaaminen. Valtioneuvosto asetti vuoden 2013 lopussa tavoitteeksi nostaa Suomen energiaomavaraisuutta. Myös EU:n yhteinen vuonna 2015 luotu energiaunioni pyrkii siihen, että jäsenmaat pystyisivät vähentämään energiariippuvuuttaan muun muassa Venäjältä. Energiaunionin yhtenä tavoitteena on, että venäläisyhtiöt eivät pystyisi vaihtelevaan energian hintoja eri jäsenmaissa. [30]

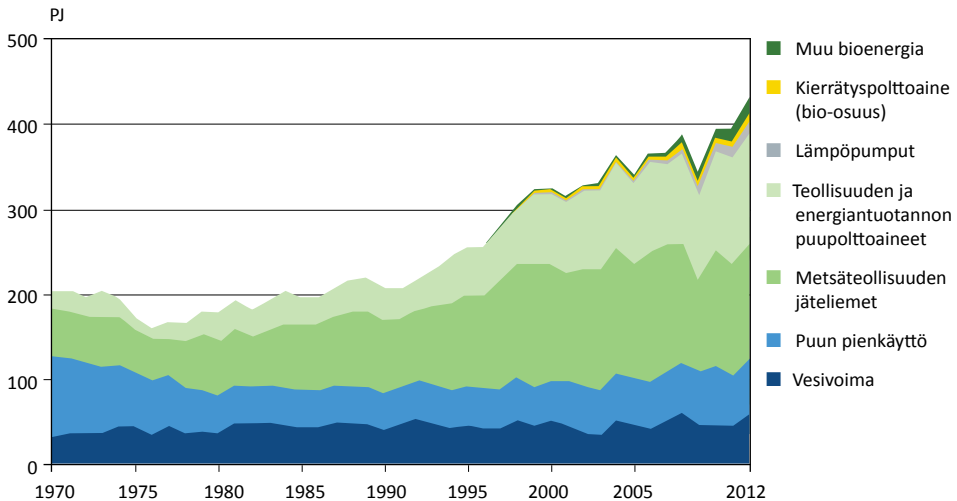
Suomessa tuontien energian osuus on noin 65 % ja siitä noin 70 % ostetaan Venäjältä. Kaikesta käytetystä energiasta noin puolet on peräisin Venäjältä. Suomeen tuodusta maakaasusta kaikki tulee Venäjältä. Maakaasun osuus kokonaisenergiakäytöstämme on kuitenkin vain noin 8 %. Öljystä ja kivihiiilestä 90 % on venäläistä ja tuodusta sähköstä 5 %. Sähkön nettotuonti kokonaisuudessaan on noin 20 % sen käytöstä.

Suomella on viiden kuukauden tuontipolttoaineiden varmuusvarastot. Tarvittaessa niitä voidaan säännöstellä, jolloin energiaa riittää pidempään. EU:n primäärienergian kulutuksessa suurimmat energianlähteet ovat öljy ja maakaasu, tuontiin perustuvan energian osuus noin 50 % ja uusituvan energian osuus noin 14 %.

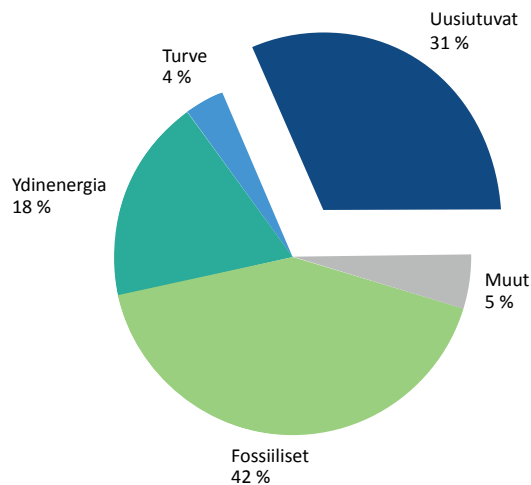
Vuonna 2012 noin 86 % EU:ssa käytetystä öljystä tuotiin EU:n ulkopuolelta. Huoltovarmuus öljyssä ei kuitenkaan ole niin haavoittuvainen kuin maakaasussa, koska öljyntuoja maita on useita ja öljyä pystytään helposti kuljettamaan tankkereilla. EU tuo suurimman osan öljystään Venäjältä, mutta Venäjän öljyvarat ovat vain 5 % koko maailman öljyvaroista. Kaikkiaan maailman öljyvarat ovat noin 223 mrd. tonnia, mikä arvioiden mukaan riittäisi nykykulutuksella noin 50 vuodeksi. On todennäköistä että öljyvarantoja, kuten liuskeöljyä, löytyy lisää, mutta monet uusista löydöistä ovat vaikeasti hyödynnettävissä. EU:n maakaasun tuontiriippuvuuden keskiarvo on noin 66 %. Suurin tuojamaa on Venäjä 39 %:n osuudellaan. Poikkeuksia on, esimerkiksi Tanskalla ja Alankomailla on maakaasun tuotantoa yli oman tarpeen.[30]



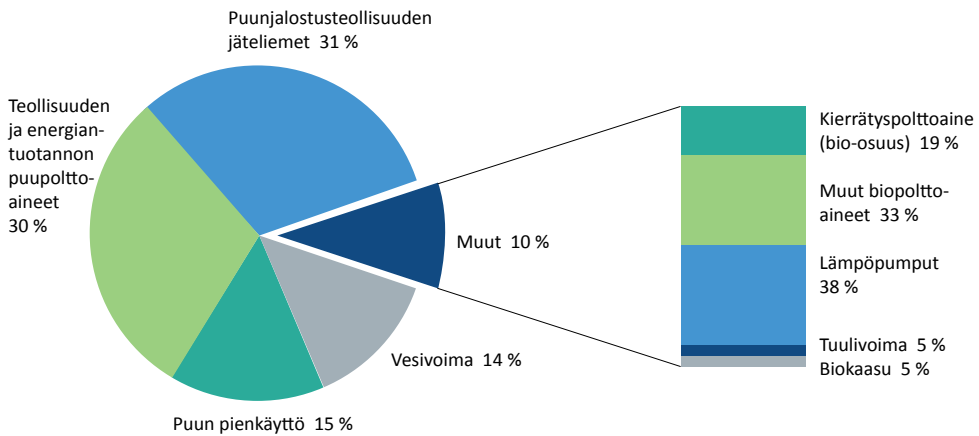
Biomassojen hyödyntäminen on yksi uusiutuvan energian muodoista, ja Suomessa biomassan osuus energian kokonaistuotannosta on teollisuusmaiden korkein. Vuonna 2012 puun osuus Suomen energian kokonaiskulutuksesta oli 24 %. Kaikesta uusiutuvasta energiasta noin kaksi kolmasosaa maassamme on puuperäistä ja tästä 80 % on peräisin metsäteollisuuden sivutuotteista, joista tärkeimmät ovat mustalipeä, kuori ja puru. Metsäteollisuus on myös suurin puuperäisen energian käyttäjä. Kaiken kaikkiaan uusiutuvan energian osuus Suomen energian kokonaiskäytöstä on kasvanut tasaisesti viime vuosina ja oli 31 % vuonna 2013. (kuvat 14-16) [4, 31]



**Kuva 14.** Uusiutuvan energian käyttö Suomessa 1970–2012. Lähde: Tilastokeskus.



**Kuva 15.** Energian tuotantomuotojen osuudet Suomessa 2013. Lähde: Tilastokeskus.



**Kuva 16. Uusiutuvien energiamuotojen osuudet Suomessa tuotetun uusiutuvan energian kokonaismäärästä vuonna 2012.** Lähde: Tilastokeskus.

Energiasektori on ollut eturintamassa biotalouden kehittämisessä sekä Suomessa että koko EU:ssa. Tähän on ohjattu kansainvälisillä ilmast sopimuksilla ja tukipolitiikalla. Suomi on sitoutunut tavoitteeseen, jonka mukaan uusiutuvan energian osuus kokonaisenergiankäytöstä on 38 % ja osuus liikenteessä 20 % vuonna 2020. [14]

Kaikkiaan Suomessa kulutettiin vuonna 2013 energiaa 1 341,4 petajoulea (PJ), joka oli 2 % vähemmän kuin vuonna 2012. Kotitalouksien kulutus on 28 %, palvelujen ja rakentamisen 22 % ja teollisuuden 23 %.

Suomessa on panostettu erityisesti puuperäisen energian tuotannon lisäämiseen. Vuonna 2012 metsähaketta käytettiin noin 7,6 miljoonaa kuutiometriä (15 TWh). Tavoitteena on, että vuoteen 2020 mennessä hakkeen käyttömäärä nousee 13 miljoonaan kuutiometriin (25 TWh).[4, 31]

Bioenergiayhdistys ry:n skenaarion mukaan Suomen olisi mahdollista saavuttaa 50 % energiaomavaraisuus vuoteen 2030 mennessä. Yhdistyksen mukaan puun käyttö Suomessa voitaisiin nostaa kestävästi jopa 101 miljoonaan kuutiometriin. 50 % kotimaisuusaste perustuu seuraaviin kasvukuihin energiaosuuksissa (nyt → v.2030) [32]

puun käyttö	24,6 % (80 TWh)	→	31,3 % (103 TWh)
turpeen osuus	4,3 % (14 Twh)	→	7,5 % (25 TWh)
muu bioenergia	0,6 % (2 TWh)	→	1,7 % (6 TWh)
muut kotimaiset	6,1 % (20 TWh)	→	10,2% (34 TWh)

Kasvun saavuttaminen edellyttäisi skenaarion mukaan noin 4,5 miljardin investointeja voimalaitoksiin, lämpökattiloihin, turvetuotantoalueisiin, biojalostamoihin sekä logistiikkaan liittyvään kalustoon.

Biomassojen energiakäyttö voidaan luokitella kahteen pääryhmään, jotka ovat suorapoltto ja polttoaineiden valmistus biomassoista. Biomassojen suorapoltto ei tässä yhteydessä tarkemmin

käsitellä. Lyhyesti todettakoon, että biomassojen polttaminen on yksi vanhimmista tekniikoista, joita on käytetty energian tuottamiseksi. Raaka-aineeksi sopii lähes mikä tahansa riittävän kuiva biomassa tai biojäte, kuten puuhake tai jäteliete. Suorapolttua hyödynnetään sekä kotitalouksien että teollisuusprosessien lämmittämiseen. Kuumista tuotekaasuista voidaan myös tuottaa sähköä kattilan ja turbiinin avulla. Sivutuotteena syntyvää tuhkaa voidaan prosessoida esimerkiksi lannoitteeksi tai maanparannusaineeksi. [28]

Suomen turvevarat ovat runsaat, mutta hitaan kasvunsa vuoksi turve luokitellaan omaan polttoainekategoriaan YK:n alaisen kansainvälisen ilmastopaneelin IPCC:n ohjeiden mukaisesti. Kansallisessa ilmastostrategiassa turve luokitellaan hitaasti uusiutuvaksi biopolttosaineeksi. Koko Suomen turvevarannon polttaminen tuottaisi energiaa laskennallisesti noin 58 000 TWh. GTK:n mukaan nykyisillä tekniikoilla voitaisiin saavuttaa kaikkiaan 13 000 TWh tuotanto turpeesta (Pohjanmeren öljyn energiasisältö on noin 9000 TWh). Suomessa turpeen kasvu on nopeampaa kuin nykyinen käyttö. Parimetrisen turvekerroksen kasvu kestää tuhansia vuosia. Toinen uusiutuvuuteen ja kestävytyteen vaikuttava tekijä on suoluonnon hidas uusiutuminen turpeenoton jälkeen. [4]

Viime vuosina jätteitä on alettu enenevässä määrin polttaa energian tuottamiseksi. Yleensä poltetaan sekajätettä, josta vain osa on bioperäistä. Suomessa vaikuttaa olevan jopa ylikapasiteettia jätteen suorapolttouuneista. Jos suurin osa jätevirroista ohjautuu poltettavaksi, se voi estää jätteiden jalostamista tuotteiksi. [2]

## Polttoaineiden valmistus biomassoista

Biomassoista voidaan valmistaa erilaisia polttoaineita, joista esimerkkejä on esitetty taulukossa 3. Kaikki esitetyt polttoaineet korvaavat fossiilisia polttoaineita.

**Taulukko 3. Biomassoista valmistettävissä olevat tärkeimmät polttoaineet Suomessa.**

Energiatuote	Pääasiallinen kemiallinen koostumus	Pääasialliset bioraaka-aineet Suomessa	Merkitys huoltovarmuudessa
<b>Vety</b> (Woikoski)	H <sub>2</sub>	Vesi; puubiomassat	Toistaiseksi merkitys polttoaineena vähäinen
<b>Biohiili</b> (Torrecin pilot-laitos)	C	Puubiomassat	Toistaiseksi merkitys polttoaineena vähäinen
<b>Biokaasu &amp; bio-SNG</b> (useita tuottajia)	CH <sub>4</sub>	Mädätyksessä: biojätteet/liete, lanta, nurmi  Pumppauksessa: kaatopaikkajäte  Synteesikaasutus- sessa: erilaiset puu- biomassat	Tuotanto kasvussa, mutta tällä hetkellä osuus vain 0,5 %uusiutuvan energian kokonaistuotannosta. Käyttökohteina sekä sähkön ja lämmöntuotto että liikenne



<b>Biosynteesi-kaasu</b> (Vaskiluodon voima, VTT:n Bioruukki pilot-laitos)	$\text{CO} + \text{H}_2$	Metsätähteet, kuori, peltobiomassat, yhdyskuntien biojäte, turve, mustalipeä	Korvaa kivihiiltä sähkön- ja lämmön-tuotannossa, pienimuotoista käyttöä häkäpönttöautojen polttoaineena. Ko. kaasuseoksella käyttöpotentiaalia myös bio-SNG:n ja biokemikaalien valmistuksessa.
<b>Biometanoli</b>	$\text{CH}_3\text{OH}$	Puubiomassat; sellunvalmistuksen hajakasut, mustalipeä	Ei tuotannossa; valmistusta suunnitella Äänekoskelle Metsä Fibren uuden sellutehtaan yhteyteen
<b>Bioetanoli</b> (St1 Bio-fuels)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	Orgaaniset jätteet ja tähteet kuten leipomo- ja elintarviketeollisuuden sivuvirrat; tulossa sahanpuru	Tuotanto kasvussa; käytetään liikenteessä bensiinin seoskomponenttina. Sopii tavallisiin autoihin 5-10 % seossuhteeseen asti, Flexifuel-malleissa voidaan käyttää suurempia etanolipitoisuuksia.
<b>Biodiesel</b> (Feora, Sybimar)	pääasiassa rasvahappojen metyyliestereitä (FAME)	Eläinrasvat ja kasviöljyt (Suomessa jätperäiset)	Suomessa melko vähän tuotantoa lähinnä laivojen käyttöön. Haasteena huono pakkasenkestävyys (jäähmetty; lisäaineistus tarvitaan)
<b>Dimetyyli-eetteri</b>	$\text{CH}_3\text{OCH}_3$	Puubiomassat	Ei tuotantoa Suomessa, mutta mm. Ruotsin autoteollisuudessa merkittävä kehityskohde
<b>Uusiutuva diesel</b> (Neste, UPM)	Hiilivetyjen seos	Eläinrasvat ja kasviöljyt, joista suuri osa jätteitä ja tähteitä	Monipuolinen tuote, joka sopisi tavallisiin autoihin sellaisenaan (käyttö kuitenkin pääasiassa fossiilisen dieselin seoskomponenttina). LNG-terminaali parantaa maakaasun huoltovarmuutta ja siten vedyn saatavuutta; Nesteellä suuri tuotantokapasiteetti ja laaja raaka-ainekirjo, josta tällä hetkellä suuri osa tuodaan ulkomailta. UPM:n diesel perustuu yhteen raaka-aineeseen, joka on kotimainen mäntyöljy.
<b>Pyrolyysiöljy</b> (Fortum)	Monimutkainen seos, jossa mm. aldehydejä, sokereita, ligniiniä, ketoneja, orgaanisia happoja, vettä	Puuhake ja muu biomassa	Korvaa ensisijaisesti raskasta polttoöljyä lämmöntuotannossa. Fortumin pyrolyysilaitos integroitu leijukerrosvoimalaan. Pyrolyysiöljyn jatkojalostus mm. liikennepolttoaineiksi tutkimusasteella.

Huoltovarmuusorganisaation öljypoolin yhdessä Öljy- ja biopolttoaineala ry:n kanssa teettämässä selvityksessä ”Uusiutuvan energiakäytön lisäämisen vaikutuksista öljy- ja maakaasusektorin huoltovarmuuteen” tarkastellaan osin samoja aineita kuin taulukossa 3. [33]

Torrec käynnisti vuonna 2014 Mikkeliissä puubiomassoja raaka-aineena käyttävän biohiilien koetetaan. Tavoitteena olisi saada Mikkeliin Suomen ensimmäinen, kapasiteetiltaan 250 000 tonnin biohiilitehdas. Tehtaan perustaminen vaatisi noin 80–90 miljoonaa euron investointeja, mutta toistaiseksi teollista toimijaa hankkeelle ei ole löydetty. Biohiilellä voidaan korvata kivihiiltä energiantuotannossa, ja modifioidulla biohiilellä voisi olla käyttöä mm. lannoitteena. Biohiilipellettien energiatiheys on korkea (n. 6 MWh/t), se on helposti käsiteltävä ja myös ulkoarastointia kestävä biopolttoaine.

## A1. Biosynteesikaasu

Synteesikaasu on yleisnimitys raaka-aineen kaasutuksen seurauksena muodostuvalle pääosin vedystä ja hiilimonoksidista muodostuvalle kaasuseokselle. Raaka-aine voi olla fossiilista (esim. kivihiili) tai bioperäistä. Kaasutus tarkoittaa termistä prosessia, jossa kaasuttava aine (usein vesi) reagoi korkeassa lämpötilassa kiinteän tai nestemäisen lähtöaineen kanssa muodostaen kaasutusseoksen.

Biosynteesikaasun raaka-aineeksi sopii melkein mikä tahansa hiilipitoinen uusiutuva aine, kuten metsätähteet, kuori, peltobiomassat, yhdyskuntien biojäte tai turve. Yksi potentiaalinen raaka-aine on mustalipeä. Se on sellunvalmistuksen sivuvirta, joka tällä hetkellä hyödynnetään lähinnä suorapolton ja keittokemikaalien talteenoton kautta. On jo osoitettu (muualla kuin Suomessa), että synteesikaasun hiilen lähteeksi soveltuu myös hiilidioksidi. Jos prosessi onnistutaan kehittämään kustannustehokkaaksi, se mullistaa markkinat.

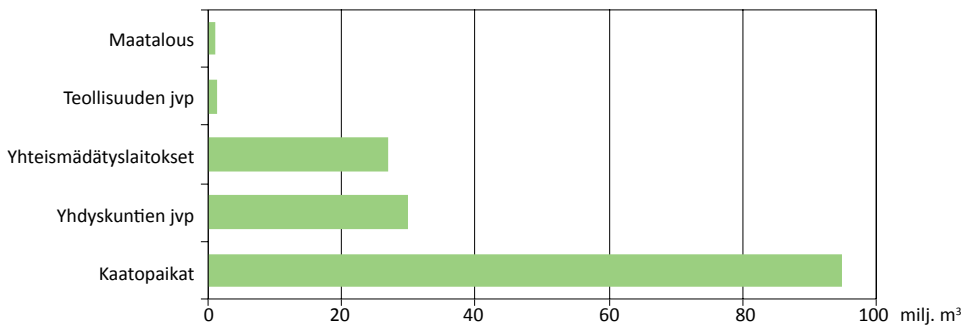
Synteesikaasua voidaan käyttää lämmön- ja sähköntuotannossa ja liikenteessä ns. häikäpönttöaivoissa tai siitä voidaan edelleen kemiallisten prosessien kautta valmistaa muita polttoaineita ja kemian tuotteita kuten hiilivetyjä ja alkoholeja (ks. s. 58 kuva 21). [22–25]



## A2. Biokaasu ja dimetyylieetteri

Muodostuessaan biokaasu on kaasuseos, jonka pääkomponentit ovat metaani ja hiilen oksidit (tarkka koostumus vaihtelee jonkin verran raaka-aineen mukaan). Valmistuksen jälkeen biokaasu puhdistetaan sähkön ja lämmöntuotantoa varten tai jalostetaan liikenteen käyttöön sopivaksi. Jalostettu biokaasu on kemialliselta koostumukseltaan lähinnä metaania kuten fossiilinen maakaasukin. Biokaasun lämpöarvo on hyvä, keskimäärin 6 kWh/m.

Biokaasun tuottamisen tärkeimmät teknologiat Suomessa ovat orgaanisen aineksen mädätykseen (anaerobinen) perustuvat biokaasureaktorit sekä biokaasun keräys kaatopaikoilta pumppaamalla. Mädätyksen sivuotteina saadaan lannoitteita. Helen on yhteistyössä Gasumin ja Metsä Fibren kanssa selvittänyt puuperäistä bio-SNG:ta tuottavan biojalostamon rakentamista Joutsenoon. Jalostamo olisi teknisesti toteutettavissa, mutta bio-SNG ei toistaiseksi pysty taloudellisesti kilpailemaan muiden polttoaineiden kanssa.



**Kuva 17. Biokaasun tuotanto laitostyypeittäin vuonna 2013 (jvp = jätevesipuhdistamo).**

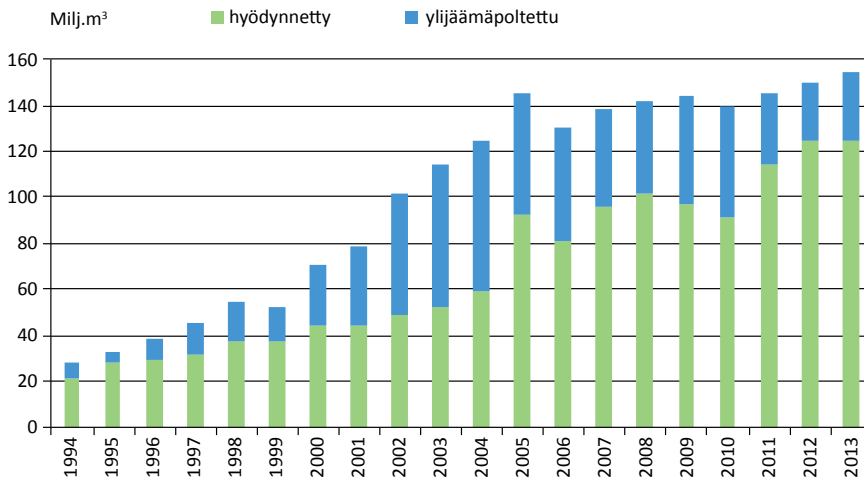
Lähde: Lähde: Huttunen, M.J. ja Kuittinen, V., Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17, Reports and Studies in Natural Sciences n:o 19, Itä-Suomen yliopisto, Joensuu (2014). [16].

Biokaasun tuotantomäärät Suomessa vuosina 1994–2013 on esitetty kuvassa 18. Vuoden 2013 määrästä tuotettiin lämpöä 404,4 GWh ja sähköä 151,3 GWh. Biokaasulla yhteensä tuotettu energiamäärä on noin 0,5 % Suomessa tuotetusta uusiutuvan energian kokonaistuotannosta. Liikennekäyttöön biokaasua tuotettiin 10,8 GWh (2 % kaasun kokonaistuotannosta), mikä vastaa yli 2000 henkilöauton vuotuista polttoainetarvetta. Biokaasuajoneuvojen lukumäärä Suomessa on noin 1600 (2013).

Kaikki jalostettu biokaasu valmistettiin biojäteperäisestä kaasusta ja hyödynnettiin liikenteessä vuonna 2013. Noin 75 % liikennebiokaasun raaka-aineesta oli wc-jätettä. Elokuussa 2014 liikennebiokaasua tuotettiin yhdeksällä jalostamolla Suomessa. Näistä neljä valmistui vuoden 2014 aikana. Biokaasua myytiin kuluttajille 23 julkiselta ja kahdelta yksityiseltä tankkausasemalta.

Suomen uusiutuvan energian velvoitteen mukainen tavoite on lisätä biokaasun käyttöä 1,2 TWh:iin vuoteen 2020 mennessä. EU säädösten mukaan vuonna 2020 kaikissa jäsenmaissa tulisi olla liikennekaasua jakavia asemia 150 kilometrin välein. Laskelmien mukaan biopohjaisten kaasujen yhteenlaskettu energiapotentiaali Suomessa on ainakin 15 TWh, mikä on noin kolmannes nykyisen

fossiilisen maakaasun käytöstä. Gasum Oy:n tavoitteena on saada 20 % maakaasun käytöstä biopohjaiseksi ja laajentaa nykyistä maakaasuverkon alueella olevaa julkisen aseman verkostoaan 30 asemaan vuoteen 2020 mennessä, jolloin verkostoa voidaan pitää ajoneuvokannan osalta melko kattavana. [14, 16] Gasumin ja LABION Kujalan integroitu biokaasun tuotanto- ja jalostuslaitos käynnistyi maaliskuussa 2015. Laitos käyttää vuosittain raaka-aineena 44 000 tonnia bioperäistä jätettä ja tekee siitä 50 GWh jalostettua biokaasua, mikä vastaa 4500 henkilöauton vuosikulutusta.



**Kuva 18. Biokaasun tuotanto ja hyödyntäminen Suomessa vuosina 1994–2013.**

Lähde: Huttunen, M.J. ja Kuittinen, V., Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17,

Reports and Studies in Natural Sciences n:o 19, Itä-Suomen yliopisto, Joensuu (2014). [16].

Liikennekäyttöä varten biokaasu paineistetaan. Haasteena on, että paineistetun biokaasun energiatiheys on selvästi matalampi kuin nestemäisten polttoaineiden ja edellyttää siten melko suurta polttoainesäiliötä. Henkilöautojen ja bussien toimintamatka tankillista kohden on noin 300–500 km. Biometaani voidaan myös nesteyttää energiatiheden parantamiseksi (liquefied biogas LBG). LBG vastaa siis fossiilista LNG:ta (liquefied natural gas). LNG- tekniikka on jo kaupallisessa käytössä kuorma-autoissa, laivoissa ja vetureissa, mutta se ei sovellu sellaisiin kohteisiin, joissa seisonta-ajat ovat pitkiä. Laivaliikenteen uudet rikkirajoitukset ovat lisänneet LNG:n käyttöä laivojen polttoaineena. Kokeilumielessä LNG:tä on käytetty myös lentokoneissa. LNG:n käyttö kulkuvälineissä edellyttää kuitenkin investointeja sekä jakeluinfrastruktuurin kehittämiseen että kulkuneuvojen modifiointiin. Maailmassa on yhteensä noin 15 miljoonaa maa- ja nestekaasuautoa (IANGV 2012), joista suurin osa on toteutettu kaksoispolttoainejärjestelmillä siten, että autoja voidaan käyttää myös bensiinillä. [14]

Suomen biokaasulaitoksista laaditaan vuosittain oma biokaasurekisteri [16]. Alan suurimpia toimijoita Suomessa ovat Gasum ja LABIO (mm. integroitu biokaasun tuotanto- ja jalostuslaitos Lahdessa), Biotehdas Oy, jolla laitoksia eri puolilla Suomea (Vampula, Kuopio, Honkajoki, Oulu, rakenteilla Riihimäki) sekä Biovakka Suomi Oy joka myös suunnittelee Suomeen biokaasulaitosten verkostoa (Turku ja Vehmaa toiminnassa, ympäristöluvut myönnetty Lapuulle, Jämsään ja Nastolaan).

Dimetyylieetteri (DME) on kaasumainen polttoaine jonka liikennekäyttö ei ole laajassa mittakaavassa alkanut, sillä se edellyttäisi erillisen jakelu- ja kuljetusjärjestelmän pystyttämisen. Sekä vedyn

että DME:n käyttö saattaa kuitenkin tulevaisuudessa lisääntyä. DME on fysikaalisilta ominaisuuksiltaan nestekaasua muistuttava polttoaine, jolla on kuitenkin nestekaasua paremmat syttymisominaisuudet, jolloin se sopii myös dieselmoottorin polttoaineeksi. Muut ominaisuudet edellyttävät kuitenkin vielä merkittäviä teknologisia parannuksia. Haasteista huolimatta mm. Volvo pitää DME:tä raskaan kaluston lupaavimpana vaihtoehtopolttoaineena. DME on ilmaa raskaampaa, joten laivakäyttöä ajatellen DME ei ole hyvä vaihtoehto. DME:ta voidaan valmistaa biometanolista. [34]

### A3. Pyrolyysiöljy

Pyrolyysin periaate on korkean lämpötilan (noin 500 °C) avulla höyrystää (ja pilkkoa) raaka-aineen molekyylit ja sen jälkeen tiivistää muodostuneet kaasut bioöljyksi. Myös reaktorin pohjalle jääneet terva ja puuhiili voidaan kerätä talteen hyötykäyttöä varten (mm. lämmöntuotanto, grillihiilet). Menetelmää kutsutaan myös puun kuivatislaukseksi.

Fortum käynnisti vuonna 2013 Joensuun sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitokseen (CHP) integroidun laitoksen, joka tuottaa 50 000 tonnia pyrolyysiöljyä vuodessa metsäbiomassasta kuten hakkuutähteistä ja energiaharvennuspuusta. Tämä öljy korvaa raskasta polttoöljyä. Vuosituotanto vastaa energiana noin 210 GWh, millä määrällä saadaan kaukolämpöä 10 000 pientaloon tai 24 000 keskikokoiseen asuntoon. Koko Suomessa myytiin vuonna 2010 yhteensä 886 000 tonnia raskasta polttoöljyä, mikä vastaa polttoaine-energiana n. 10 TWh. Fortumilla, UPM:lla, Valmetilla ja VTT:lla on myös käynnissä viiden vuoden tutkimushanke (LignoCat), joka tähtää pyrolyysiöljyn hyödyntämiseen liikenteen polttoaineiden ja kemikaalien raaka-aineena. Muun muassa metanolia voidaan erottaa pyrolyysiöljystä tislaamalla. Pyrolyysiöljy on lupaava, mutta haastava tutkimuskohde, sillä sen tarkkaa koostumusta ei tunneta ja se sisältää kemikaaleja, jotka voivat sopivissa olosuhteissa reagoida keskenään niin, että öljy ei ole vakaa.

Pyrolyysia voidaan soveltaa myös kumiteollisuuden jätteen konvertoimiseksi kevyeksi polttoöljyksi. Se sopisi suurten lämpökeskusten ja laivojen polttoaineeksi tai petrokemian tuotteiden valmistukseen. Kumiteollisuuden jäte on osittain bioperäistä (luonnon kumi), osittain fossiilista. Suomessa Valkeakoskella Peatec Oy:lla oli kumijätettä raaka-aineenaan hyödyntävä koelaitos. Kumijätteen pyrolyysissä muodostuu myös kiinteää jäännöstä kimröökihiiltä, jonka osuus voi olla jopa 20 %. [54]

### A4. Alkoholit energian lähteinä

Yleisin polttoaineena käytettävä alkoholi on etanoli. Sen lisäksi maailmalla (ei Suomessa) myös metanolia, propanolia ja butanolia tuotetaan jonkin verran energiakäyttöön. Kaikkia näitä alko-holeja voidaan valmistaa sekä fossiilisista että bioperäisistä raaka-aineista. Alkoholeja käytetään esimerkiksi polttomoottoreissa ja polttokennoissa. Etanolin käyttö moottoreissa alkoi jo 1900-luvun alussa. Etanolin energiatiheys ei ole kovin korkea, mutta sitä on helppo valmistaa, se on myrkytöntä ja helposti varastoitavissa.

Suurin osa energiakäyttöön tuotetusta etanolista hyödynnetään liikenteen polttoaineena. Etanolin käyttö sellaisenaan moottoripolttoaineena on vähäistä teknisten ongelmien vuoksi, kuten poltto-moottorien kylmäkäynnistysongelmien vuoksi, mutta sitä käytetään paljon bensiiniin sekoitettuna. Etanolia voidaan myös käyttää CHP-laitoksissa lämmön ja sähkön tuottamiseen.

Suomessa käytettiin (2012) noin 250 miljoonaa litraa etanolia polttoaineissa. Tästä noin 15 miljoonaa litraa tuotettiin elintarvike- ja muusta bioperäisestä jätteestä fermentoimalla St1 Biofuelsin viidessä laitoksessa eri puolilla Suomea [14]. Tavoite on että vuonna 2020 bioetanolin käyttö Suomessa on noin 450 miljoonaa litraa.

St1 on kasvattamassa bioetanolin tuotantoaan, esimerkiksi vuonna 2016 valmistuu Kajaaniin sahan-puraa raaka-aineenaan käyttävä uusi laitos, joka tuottaa 10 miljoonaa litraa etanolia vuodessa. Suomen Bioetanol Oy suunnittelee olkea raaka-aineenaan käyttävän bioetanolitehtaan rakentamista Myllykoskelle entisen paperitehtaan alueelle. Tehtaan arvioitu kapasiteetti on 90 miljoonaa litraa, jonka tuottaakseen se tarvitsee 330 000 tonnia olkea vuodessa. Hehtaarilta saa noin 3 tonnia. Haas-teena voi olla olkien kuljetus, mikä ei ole kustannustehokasta pitkiä matkoja. Toinen haaste voi olla peltojen kuivuminen, sillä oljen kerääminen muuttaa peltojen rakennetta (humuksen poisto). Sievin Biofuels Oy:lla on suunnitteilla rakentaa Sieviin bioetanolilaitos, jonka kapasiteetti olisi noin 60 miljoonaa litraa ja raaka-aineena olki, ruokohelpi ja lehtipuuhaake.

Etanolia käytetään eniten seospolttoaineena. Sitä sekoitetaan bensiiniin 5 % (E5) tai 10 % (E10). Nämä seokset sopivat polttoaineeksi tavallisiin automalleihin. Korkean etanolipitoisuuden polttoai-ne RE85 sopii autojen flexifuel- eli FFV-malleihin. FFV on hieman modifioitu bensiiniauto jossa voidaan käyttää mitä tahansa bensiinin ja etanolin seosta, jossa etanolipitoisuus on välillä 0–85 til-%. On myös kehitetty etanolidieselmoottoreihin sopiva RED95-polttoaine raskaan kaluston käyttöön. Myös mm. biometanoli sopisi bensiinin seoskomponentiksi, mutta sitä ei juurikaan käytetä sen myrkyllisyyden, huonomman saatavuuden ja pienemmän energiatheyden vuoksi.

Nykyään noin puolet maailman bioetanolista tuotetaan USA:ssa maissista ja kolmannes Brasiliassa sokeriruo'osta. EU:ssa suurimmat bioetanolin tuottajat ovat Ranska, Espanja, Saksa sekä Ruotsi ja pääraaka-aineet vehnä, ohra ja sokerijuurikas. Polttoaineena hyödynnettävä tekninen etanoli olisi kestäväntä valmistaa jätteistä sekä ruokaketjuun kuulumattomasta selluloosapitoisesta raaka-aineesta.

## A5. Uusiutuva diesel

Nesteen uusiutuvan NEXBTL-dieselin vuotuinen tuotantokapasiteetti on noin 2 miljoonaa tonnia vuodessa, mikä tekee Nesteestä maailman suurimman uusiutuvan dieselin tuottajan. Tavoitteena on nostaa jalostamoiden kapasiteettia 2,6 miljoonaa tonniin vuoteen 2017 mennessä ilman merkittäviä lisäinvestointeja. Neste valmistaa uusiutuvaa dieseliään Porvoossa, Rotterdamissa ja Singa-poreissa. Porvoon laitos tuottaa noin 0,42 miljoonaa tonnia NEXBTL-dieseliä vuodessa.

NEXBTL-teknologia ja sen lopputuote poikkeavat perinteisen biodieselin FAME:n tuotantoprosessista. NEXBTL-dieselin raaka-aineeksi sopivat monet kasviöljyt ja eläinrasvat. Yksi potentiaalinen raaka-aine voi tulevaisuudessa olla myös levien tuottama öljy. Jätteiden ja tähteiden osuus raaka-aineesta on tällä hetkellä noin 60 %. Nesteen käyttämiä jäte- ja tähderaaka-aineita ovat muun muassa eläin- ja kalanrasvajätteet, käytetty paistorasva sekä erilaiset kasviöljyjen jalostuksessa syntyvät

tähteet, kuten palmuöljyn rasvahappotisle (PFAD) ja tekninen maissiöljy. Suurin osa raaka-aineista tuodaan Porvoon jalostamolle ulkomailta.

NEXBTL-dieseliä käytetään liikenteen polttoaineena. Koekäyttöä on tehty jopa lentoliiketeessä. NEXBTL-dieselin valmistusprosessilla voidaan valmistaa myös muita uusiutuvia tuotteita, esimerkiksi biopropaanin tuotanto on käynnistymässä Nesteen Rotterdamin laitoksilla. Huoltovarmuuden kannalta NEXBTL:n etuja ovat sen laaja raaka-ainepohja ja prosessin mahdollinen hyödynnettävyys myös biokemikaalien valmistuksessa.

UPM:lla on Lappeenrannassa vetykäsittelyä hyödyntävä uusiutuvaa dieseliä tuottava tehdas. Se käynnistyi tammikuussa 2015 ja tuottaa vuodessa noin 120 miljoonaa litraa uusiutuvaa BioVerno -dieseliä, jonka raaka-aineena on sellunkeiton sivutuotteena valmistuva kotimainen mäntyöljy.

Uusiutuvat dieselit sopisivat käytössä oleviin moottoreihin ja jakelujärjestelmiin sellaisenaan, sillä koostumukseltaan ne vastaavat fossiilisia vaihtoehtoja. Pääasiallinen käyttö tällä hetkellä on kuitenkin fossiilisen dieselin seoskomponenttina. Yhdysvalloissa Kaliforniassa kahdeksantoista huoltoasemaa aloitti keväällä 2015 Nesteen 98,5 prosenttisen NEXBTL-dieselin kuluttajamyynnin.

## A6. Vety

Vetyä käytetään pienessä mittakaavassa energiantuotantoon erityisesti erilaisissa kulkuneuvoissa kuten vetyautoissa, vetybusseissa, veneissä ja moottorikelkoissa, trukeissa ja muissa työkoneissa, laivojen ja rekkojen APU-laitteissa, kaukolämpölaitoksissa ja kiinteistökohtaisissa mikro-CHP-laitoksissa sekä varavoimalaitoksissa. Tällä hetkellä vedyn energiakäyttöä yleisempää on kuitenkin sen muu hyödyntäminen metallien, peruskemikaalien, kuten ammoniakkin, sekä eräiden biomassoista valmistettujen polttoaineiden, kuten uusiutuvan dieselin, valmistuksessa sekä öljynjalostuksessa. Pääosa teollisesti tuotetusta vedystä valmistetaan fossiilista raaka-aineista. Vetyä voitaisiin tuottaa myös bioperäisistä raaka-aineista, mutta kannattavuussyistä vain valmistus vedestä elektrolyysillä on Suomessa käytössä teollisessa tuotannossa (ks. taulukko 5 sivulla 54).

Vety on sähkön rinnalla ainoa energian kantaja, joka mahdollistaa täysin hiilidioksidivapaan liikku-  
misen edellyttäen, että sen tuottamiseen ei ole käytetty fossiilista energiaa. Visioissa on laajentaa vedyn käyttöä erityisesti polttokennoautoissa. Energian varastointi vetyyn on periaatteessa helpompaa kuin energian varastointi akkuihin, mutta laaja käyttöönotto vaatisi huomattavat investoinnit vetyinfrastruktuurin kehittämiseen. Vety nähdään erityisesti henkilöautoliikenteen käyttövoimana, mutta teknologian kalleus ja uusiutuvan vedyn saatavuus rajoittavat kehitystä.[34]

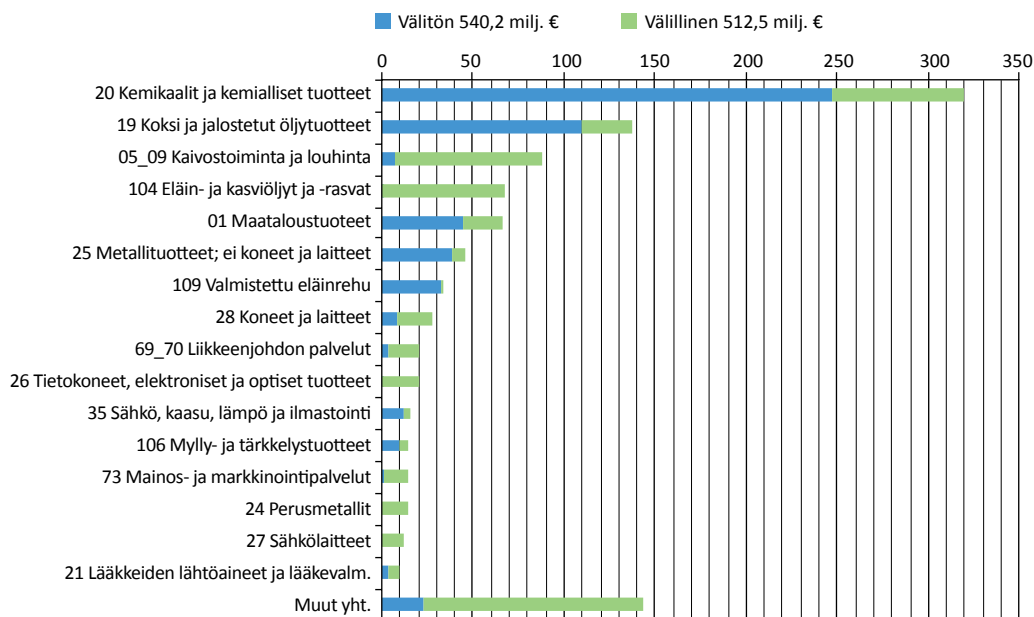
Vedyn merkitys energian tuotannon näkökulmasta on moninainen, sillä sitä voidaan käyttää

- liikennepolttoaineena
- aurinko- ja tuulienergian varastointiin ja siirtoon
- hajautettuun sähkön ja lämmöntuotantoon
- älykkäisiin energiaverkkoihin ja varavoimaksi
- reagenssina biomassojen jalostusreaktioissa

## B. MAATALOUDEN KEMIAN TUOTTEET

Moderni peltokasviviljely edellyttää koneistuksen toimivuutta sekä lannoitteiden, kylvösiementen ja kasvinsuojeluaineiden saatavuutta. Jos joistakin näistä tuotantopanoksista on pulaa, on varauduttava sadon pienempään määrään ja heikompaan laatuun.

Maatalouden kemian tuotteista tärkeimmät ovat lannoitteet ja kasvinsuojeluaineet. Knuuttila et al [35] tutkimuksen mukaan juuri kemikaalit ja kemialliset tuotteet ovat euromääräisesti selvästi suurin yksittäinen ulkomailta tuotava tuoteryhmä elintarvikesektorin tuotannossa, kun koko tuotantoketjun vaatimat kaikki välittömät ja välilliset tarpeet on huomioitu. Tämän lisäksi suuria tuontituoteryhmiä ovat energiatuotteet jalostamattomassa tai jalostetussa muodossa (kuva 19).



**Kuva 19. Maatalouden panostuonti tuoteryhmittäin vuonna 2008 (yhteensä 1052,6 milj. €). Tuontipanosaste 17,1 %.** Lähde: Knuuttila, M et al, Elintarviketuotannon ja elintarvikemarkkinoiden riippuvuus tuonnista, MTT raportti 61 (2012). [35]

Kemikaalien ja kemiallisten tuotteiden tuonti on yhteensä noin 319,7 miljoonaa euroa, joka on noin 30 % kokonaispanostuonnista. Tästä 246,9 miljoonaa euroa on välitöntä, eli tuotteita, jotka kauppa välittää sellaisenaan maatalouteen (mm. kasvinsuojeluaineet). Välillinen tuonti, 72,7 milj. euroa, tarkoittaa kemikaalituontia Suomessa toimivien kemian yritysten panostuontia maataloutta varten (mm. lannoitteita ja desinfiointiaineita valmistavat yritykset). Suomessa ei esimerkiksi valmisteta ammoniakkia, joten lannoiteteollisuus tuo sitä ulkomailta. Välillistä kemikaalituontia ovat myös ydinvoimaloiden polttoainesauvat maatalouden ydinvoimasähkökäytön osalta. [35]



## B1. Lannoitteet

Ravinteet ovat kasvien kasvulle välttämättömiä. Kasvaessaan kasvi ottaa ravinteet maasta, johon ne palautetaan lannoittamalla seuraavaa kasvukautta varten. Lannoitustarpeeseen vaikuttavat mm. maalaji, esikasvit sekä kylvettävän kasvilajin ravinnetarpeet.

Tällä hetkellä suurin osa tiloista Suomessa käyttää pääosin teollisesti valmistettuja lannoitteita. Suomessa Yara Suomi hallitsee kivennäislannoitemarkkinoita 80–85 % osuudella. Yara Suomi valmistaa puolitoista miljoonaa tonnia lannoitteita vuodessa, ja siitä kaksi kolmasosaa menee vientiin. Yara Suomen valmistamien ja tuontilannoitteiden merkittävin ero on hivenaineiden pitoisuudessa. Pääravinteita typpi (N), fosfori (P) ja kalium (K) on kaikkien valmisteissa. Samoin sivuravinteita kalsium, magnesium ja rikki on myös useimmissa tuontilannoitteissa. Yara Suomen lannoitteissa on lisäksi yleensä booria ja seleeniä, osassa myös mangaania ja sinkkiä.

Yara Suomen pääasiallinen typen lähde on Venäjältä ostettu ammoniakki, josta katalyyttisessä poltossa saadaan typen oksideja. Imeyttämällä nämä oksidit veteen muodostuu typpihappoa, jonka suoloja käytetään lannoitteissa. Ammoniakin raaka-aineina ovat ilmakehän typpi ja vety, joka tuotetaan yleensä fossiilisesta maakaasusta. Ammoniakkia olisi mahdollista valmistaa myös Suomessa kotimaisista raaka-aineista (ks. taulukko 6), mutta se ei tällä hetkellä ole taloudellisesti kannattavaa.

Suomessa on suuri fosforimalmin esiintymä Siilinjärvellä ja toinen Soklissa. Siilinjärvellä on ollut pitkään toiminnassa apatiittikaivos ja sen yhteydessä lannoitetehdas, joka on nykyään Yaran omistuksessa. Yara Suomi käyttää sekahappoprosessia, jonka Kemira on aikoinaan kehittänyt. Apatiitin fosfori rikastetaan ja muutetaan typpihapon avulla fosforihapoksi, ja siitä edelleen fosforihapon suoloiksi lannoitekäyttöön. Samalla syntyy kalsiumnitraattia ja fluorivetyä.

Sokliin on suunniteltu kaivoksen rakentamista. Mikäli hanke toteutuu, Suomen apatiittivarannot riittäisivät Suomen lannoitetarpeisiin jopa sadoiksi vuoksiksi. Maailman louhittavissa olevat fosforivarannot ovat kuitenkin rajalliset. Fosfori on strateginen luonnonvara, sillä EU:n alueella raakafosfaattivarantoja on vain Suomessa. 95 % EU:ssa käytetystä fosforista tuodaan EU:n ulkopuolelta. Suurimmat varannot ovat Kiinassa, Yhdysvalloissa ja Marokossa. Siilinjärven ja Soklin fosfaattiesiintymät sisältävät maailman puhtainta fosfaattia, sillä siinä ei ole epäpuhtautena kadmiumia kuten monessa muussa fosfaatissa. Rehuihin ja lannoitteisiin kuluu tällä hetkellä noin 90 % louhituista fosforivaroista, ja lannoitteiden kysyntä on kasvussa.

Lannoitteiden kalium-raaka-aineena käytetään yleensä maaperästä saatavaa kaliumkloridia, joka on tuontituote. Tarvittaessa Siilinjärven kaivoksesta saadaan kotimaista kaliumia sisältävää biotiittia, jota muodostuu fosforirikastuksen sivuotteena miljoonia tonneja vuodessa. Biotiitin kaliumpitoisuus on kuitenkin vain noin 4,7 %, eli huomattavasti pienempi kuin kaliumkloridi-tuontituotteen (60 %).

Lannoiteteollisuus tarvitsee myös rikkihappoa, sillä sen avulla valmistetaan kloorivapaita kaliumlannoitteita kaliumkloridista niitä vaativille kasveille, kuten perunalle. Rikkihappoa valmistetaan rikki-dioksidista, jota saadaan sulfidimalmin pasutuksesta sekä alkuaainerikin poltosta tai vaikkapa sellutehtaan hajukaasuista.

Teollinen lannoitus on joillain tiloilla osittain tai kokonaan korvattu bioperäisellä lannoituksella. Viljelykierto kuten palkokasvien vuoroviljely, voisi myös vähentää lannoitetarvetta, mutta ei yksin

riitä ravinnekierron turvaamiseen. Perinteisistä bioperäisistä lannoitteista merkittävimmät ovat lanta, kompostit ja viherlannoitus. Uudempia tulokkaita ovat tärkkelyksen, bioetanolin ja biokaasun valmistuksen sivuvirroista valmistetut lannoitteet. Myös metsäteollisuuden sivuvirroista ja jätevesien lietteistä on mahdollista valmistaa lannoitteita. Känkänen et al [36] tutkimuksen mukaan nurmipalkokasvien käyttö rehuntuotannossa, viherlannoituksen ja aluskasvien hyödyntäminen typen tuottamisessa sekä palkoviljojen täysimittainen viljely voisivat vähentää väkilannoitetyypen tarvetta jopa 60 % nykyisestä.

Huoltovarmuuden näkökulmasta olisi keskeistä edelleen kehittää kierrätyslannoituksen käyttöä. Erityisesti fosforin kierron parantamiseen tulisi kiinnittää huomiota. Typpilannoitteiden ammoniakkin typen lähteenä on ilmakehän typpi, jonka riittävyys ei ole ongelma. Kaikkien teollisten lannoitteiden valmistus kuitenkin kuluttaa melko paljon energiaa. Tärkeää on myös lannoituksen määrän optimointi. Mm. Yara on kehittänyt menetelmiä täsmälannoitukseen.

Ympäristöministeriö rahoittaa vuosina 2014–2015 Luken toteuttamaa Normilanta-hanketta, jonka tavoitteena edesauttaa, että Suomen maataloustuotannosta syntyvä lanta sekä muu ravinteita sisältävä orgaaninen aines on tehokkaassa hyötykäytössä vuoteen 2020 mennessä. Eläinten lantaa syntyy Suomessa noin 20 miljoonaa tonnia vuodessa. Sen sisältämän fosforin määrä kattaisi Suomen maatalouden vuotuisen tarpeen. Lanta kuitenkin keskittyy alueille, joilla sitä ei laajamittaisesti tarvita ja sen kuljettaminen sellaisenaan kauemmas on kallista, koska siinä on paljon nestettä mukana. Ratkaisuna voisi olla lannan käsittely, mm. rakeistus, separointi tai biokaasutus.

Normilanta-hankkeessa tarkastellaan mahdollisuutta siirtyä laskennalliseen lantatietojärjestelmään, jossa lähtötietona käytetään eläinten ruokintaa ja erityistä. Lannan ominaisuustiedot voidaan laskea suoraan eläimestä ulos tulevalle, eläinsuojasta poistuvalla ja/tai varastoidulle lannalle. Hankkeen välitön tavoite on tuottaa viljelijöille laskennalliset lannan ominaisuustiedot, joiden pohjalta lannoitus lannalla suunnitellaan. [37]

Bioperäisiä lannoitteita tuotetaan tällä hetkellä esimerkiksi fermentoimalla tuotetun bioetanolin, mädättämällä tuotetun biokaasun, kompostoinnin ja perunatärkkelyksen valmistuksen sivutuotteina. Myös vedenpuhdistamojen ja metsäteollisuuden jäteliätteet sekä tuhkat sopisivat lannoitteiden valmistukseen. Vedenpuhdistamojen lietteiden hyödyntämistä ovat yhteistyössä tutkineet erityisesti Luke ja Kemira. Hyödyntäminen toimii hyvin, mutta luonnollisesti sen edellytys on, että liete käsitellään turvallisesti ja epäpuhtaudet erotetaan pois. Pelloille ravinteena levitettävän lietteen on oltava puhdasta.

Metsäteollisuudessa muodostuvista sivuvirroista ainoastaan 7,5 % hyödynnetään tällä hetkellä lannoitevalmisteina [38]. Muodostuvien tuhkan ja lietteiden laajamittaisempaa hyödyntämistä lannoitteiden valmistuksessa tutkitaan muun muassa. BioA-hankkeessa. Siinä ovat mukana Kotkan ja Haminan alueella toimiva kehitysyritys Cursor, UPM, Stora Enso, Fortum, Raisio, VTT, Turun yliopisto ja Aalto-yliopisto. Hankkeen omien arvioiden mukaan noin kymmenen BioA jalostamoa voisi tuottaa kaiken Suomessa tarvittavan kalium-, typpi- ja fosforilannoitteet. Lannoitteiden lisäksi jalostamot tuottaisivat biokaasua Gasumin verkkoon tai sähkö- ja lämmöntuotantoon. Tällä hetkellä paperi- ja sellutehtaiden ravinnepitoiset liätteet päätyvät polttoon tai puhdistamojen kautta vesiin. BioA:n prosessissa tuhka erotellaan pois myrkyllinen kadmium, jonka jälkeen siihen lisätään biokaasutettu, mädätetty ja kuivattu liete, jolloin lopputuotteeksi saadaan kierrätyslannoitteita. Suunnitelmissa on integroida laitokset sellu- ja paperitehtaisiin. Esiselvitykset rakentamisesta on tehty Raumalle ja Kotkan-Haminan seudulle.

Charcoal Finland valmistaa koivusta pienimuotoisesti biohiiltä, jonka käyttö lannoitteena voisi vähentää tarvetta kemiallisille lannoitteille. Biohiili lisää happamalla maalla kasvua jopa 40 prosenttia. Se tasapainottaa maan kosteutta, ilmavoittaa maaperää, edistää maaperän mikrobitoimintaa ja hajottaa metaania ilmakehästä. Biohiilen vaikutus maaperän parannukseen voi kestää jopa satoja vuosia. Suomessa biohiiltä on kokeiluina levitetty viljelymaahan Helsingin yliopiston Maatalous- ja metsätieteellisessä tiedekunnassa Viikissä, Luken Piikkiön toimipaikalla ja Markus Eerolan luomutilalla Hyvinkäällä. Modifioidun biohiilen avulla voidaan myös imeä vesistöihin päätyviä ravinteita kuten fosfaattia ja nitraattia. Ideana on poistaa valuneet ravinteet pelto-ojan vedestä biohiilen avulla, jolloin vesistöt puhdistuvat. Biohiili, johon ravinteet ovat sitoutuneet, laitettaisiin pelloille lannoitteeksi. [55]

## B2. Kasvinsuojelu

Kylmän ilmaston ansiosta kasvitautien ja -tuholaisien riski on Suomessa selvästi pienempi kuin monissa muissa Euroopan maissa, minkä vuoksi myös kasvinsuojeluaineita käytetään Suomessa suhteellisen vähän.

Lähes kaikki teolliset kasvinsuojeluaineet tuodaan Suomeen ulkomailta. Jos näiden tuonti heikkenisi kriisitilanteen vuoksi, pitäisi lisätä luonnonmukaisten ja biopohjaisten kasvinsuojelun menetelmien käyttöä, joita ovat mm.

- rikkakasvien osalta erityisesti i) ennaltaehkäisevät toimet kuten maanparannus, kylvöteknikka, kasvinvuorotus, aluskasvien kylvö ja maan kattaminen, ii) äestys, haraus, liekitys iv) koivutisle
- tautien ja tuholaisien osalta erityisesti i) viljelykierto, ii) luontaisten vihollisen hyödyntäminen, mm. hyönteiset, sienet, bakteerit, virukset (biologinen torjunta) iii) laimea mäntysuopaliuos puutarhassa tuhoeläinten kuten kirvojen sekä perhos- ja pistäistoukkien torjuntaan iv) koivutisle
- muiden eläin osalta (mm. myyrien torjunta) valkosipuli, jota voidaan käyttää sekä erilaisina uutteina että muiden vihannesten välissä kasvattamalla.

Integroitu kasvinsuojelu (IPM) yhdistää kaikkia edellä mainittuja sekä täsmennettyä kasvinsuojeluaineiden käyttöä. Kasvinsuojeluaineiden kestävään käyttöön ohjaava EU-direktiivi on vuoden 2014 alusta velvoittanut kaikki ammattimaisesti kasvinsuojeluaineita käyttävät noudattamaan IP- periaatteita, joita ovat kasvintuhoojien ennaltaehkäisy ja tarkkailu, ei-kemiallisten torjuntamenetelmien käyttö aina kun mahdollista, kasvinsuojeluaineiden käytön minimointi sekä kasvinsuojelusta pidettävät muistiinpanot, joita käytetään hyväksi seuraavan kauden kasvinsuojelua suunniteltaessa.

Charcoal Finland valmistaa koivusta pyrolyysitekniikalla koivutislettä. Koivutisleellä voidaan suojella kasveja tuhoeläimiltä ja taudeilta, estää rikkakasvien leviämistä ja vähentää hajua aiheuttavia bakteereja esimerkiksi navetoissa. Koivutisle ei ole haitallista maaperän hyötyeliöille eikä useimmille vesieliöille. Koivutisleestä olisi mahdollista kehittää uusi teollisen mittakaavan tuote kasvinsuojeluainemarkkinoille. Tällä hetkellä suurimpana pullonkaulana markkinoille saamiseen on kallis REACH-rekisteröinti. [39]

Kasvinjalostuksen avulla voidaan saada aikaan entistä kestävämpiä lajikkeita, jolloin kasvinsuojelun tarve vähenee. Uusia mahdollisuuksia kasvinjalostukseen tuo geeniteknikka. Sen soveltaminen on Suomessa ja koko Euroopassa kuitenkin hyvin rajoitettua, koska monissa maissa on vallalla käsitys, että geneettisen muuntelun eli GMO:n mahdollisista riskeistä ei ole riittävästi tietoa. Esimerkiksi Yhdysvalloissa geeniteknikkaa hyödynnetään kasvinjalostuksessa, muun muassa kolmasosa maailmassa tuotetusta maissista on GMO-maissia.

## C. PERUSKEMIKAALIT

Huoltovarmuuden kannalta tärkeitä epäorgaanisia peruskemikaaleja ovat esimerkiksi vety, ammoniakki, erilaiset hapot ja metallisuolat. Vetyä ja ammoniakkia on mahdollista valmistaa myös bioperäisistä raaka-aineista ja happojen valmistamisessa voidaan hyödyntää teollisuuden päästöjä, kuten rikkidioksidia, sekä suomalaista apatiitti-mineraalia.

Kemian etuja on, että tiettyjen peruskemikaalien avulla pystytään tuottamaan suuri kirjo erilaisia muita kemikaaleja. Taulukossa 4 esitettyjen orgaanisten peruskemikaalien avulla pystytään valmistamaan suurin osa muista orgaanisista kemikaaleista ja materiaaleista. Huomattavaa on, että puun biomassasta pystytään valmistamaan (lähes) kaikki samat kemikaalit kuin öljynjalostuksessa. Teknologinen valmius tuotantoon Suomessa jo on, mutta peruskemikaalien tuotantoa ei ole Suomessa käynnistetty kustannustehokkuuden ollessa liian alhainen. Kriisitilanteessa sellutehtaat pystyttäisiin modifioimaan ja peruskemikaalien tuotanto käynnistämään arvioiden mukaan noin kuuden kuukauden sisällä. Myös Nesteellä on osaamista (mm. Fischer-Tropsch, metanolisynteesi) ja laitteistovalmiutta esimerkiksi vedyn, metanolin ja hiilivetyjen tuotannon käynnistämiseen puuhakkeesta. Äänestysvuonna 2017 valmistuvassa Metsä Fibren uudessa sellutehtaassa on tarkoitus käynnistää rikkihapon ja metanolin tuotanto.

**Taulukko 4. Peruskemikaalit, joiden avulla voidaan tuottaa suurin osa teollisuuden tarvitsemista muista tärkeistä orgaanisista kemikaaleista. [15]**

Peruskemikaali	Pääraaka-aine nykyään (fossiilinen)	Vuosittainen tuotanto globaalisti pääraaka-aineesta t/a	Vuosittainen tuotanto globaalisti bioperäisistä raaka-aineista t/a
Eteeni	Öljy, kaasu	123 300 000	200 000
Propeeni	Öljy, kaasu	74 900 000	pilottiskaalassa
Butadieeni	Öljy, kaasu	10 200 000	pilottiskaalassa
Bentseeni	Öljy	40 200 000	>100
Tolueeni	Öljy	19 800 000	>100
Ksyleenit	Öljy	42 500 000	>100
Metanoli	Synteetikaasu	49 100 000	340 000

## C1. Vety

Vedyllä on monia käyttökohteita teollisuudessa. Sitä käytetään mm

- monissa metallurgian prosesseissa
- lasin valmistuksessa
- hitsauksen suojakaasuna
- lääkkeiden ja elintarvikkeiden valmistuksessa
- puolijohdeiden valmistuksessa
- ammoniakin valmistuksessa
- biomassojen jalostuksessa uusiutuvaksi dieseliiksi

Vetyä tuotetaan Suomessa noin 140 000 tonnia vuodessa. Suurin tuottaja on Neste, joka tuottaa noin 110 000 tonnia vuodessa Kilpilahden jalostamolla Porvoossa. Neste tuottaa vedyn fossiilisesta maakaasusta reformoimalla ja käyttää koko tuotantonsa jalostamon omista prosesseista, mm. uusiutuvan dieselin valmistukseen, hiilivetyjen krakkaukseen ja rikinpoistoon. Muita fossiilisen vedyn tuottajia ovat AGA Oy Hämeenlinnassa ja Solvay Chemicals Kouvolassa. Myös valkaisuaineiden, mm. natriumkloratin valmistuksen, sivutuotteena saadaan vetyä Kemiran tehtailta. [34]

Vetyä voidaan tuottaa myös biomassoista monilla eri menetelmillä, joista tärkeimmät on esitetty taulukossa 5. Esitetyistä menetelmistä vain vedyn sähkökemiallinen valmistus on Suomessa käytössä teollisessa tuotannossa.



**Taulukko 5. Tärkeimmät teknologiat, joilla voidaan tuottaa vetyä bioperäisistä raaka-aineista. [8,15,34]**

Bioraaka-aine ja teknologia	Raaka-aineen saatavuus	Teknologian kypsyy	Edut huoltovarmuuden näkökulmasta	Kriittiset tekijät
Sähkökemiallisesti vedestä $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$	Erinomainen	Teollinen tuotanto käynnissä (Woikoski, Kokkola)	Pääraaka-aine on vesi, jota hyvin saatavilla. Elektrolyyttisuolana käytetty $\text{Na}_2\text{SO}_4$ voitaisiin valmistaa Suomessa	Tuotanto kuluttaa paljon sähköenergiaa
Termokemiallisesti pyrolyysillä suoraan biomassoista biomassat $\rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2$	Hyvä	Pilotoitu ja tuotantovalmius olemassa	Laaja raaka-ainevalikoima	Tuotanto kuluttaa paljon energiaa
Kemiallisesti biokaasusta tai biosynteetikaasusta (höyryreformointi) $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3 \text{H}_2$ $\text{CO} + 3 \text{H}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{H}_2 + \text{CO}_2$	Hyvä	Pilotoitu ja tuotantovalmius olemassa	Laaja raaka-ainekirjo; käynnissä sekä hajautettua että keskittettyä biokaasun ja biosynteetikaasun valmistusta	Toistaiseksi biokaasun tuotantokapasiteetti Suomessa on melko pieni, biosynteetikaasua valmistetaan lähinnä sähkön- ja lämmön tuotantoon
Bioteknisesti mm. viherlevillä ja syanobakteereilla eli sinilevillä on luontainen kyky tuottaa vetyä. Kykyä voidaan tehostaa geneettisellä muokkauksella.	Levät lisääntyvät nopeasti. Ne tarvitsevat vain vettä, ravinteita ja auringonvaloa.	Tutkimusasteella	Sinilevä on nopeakasvuinen ja sitä voidaan kasvattaa jätevesialtaissa, merien rannoilla, bioreaktoreissa.	Vedyn tuotantomäärät jäävät pieniksi. Levien kasvu edellyttää riittävästi auringonvaloa

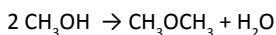
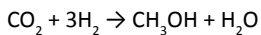


Kauranen et al [34] esittävät, että Suomessa tulisi käynnistää metsäbiomassan kaasutukseen perustuva vedyn tuotanto ja integroida se vetyä käyttävän kemian teollisuuden yhteyteen (mm- uusiutuvan dieselin valmistus). Yhdellä 300 MW:n kaasutuslaitoksella voitaisiin tuottaa 60 000 tonnia vetyä vuodessa, mikä vastaa puolta Suomen nykyisestä vedyn kulutuksesta. Tällä vety määrällä voitaisiin mm.

- sähköistää ja lämmittää 500 000 passiivitaloa polttokennomikro-CHP-tekniikkaa käyttäen
- kattaa 450 000 polttokennoauton vuotuinen polttoaineen tarve (20 000 km/a mikä kuluttaa 133 kg H<sub>2</sub>/a)

Laskelmien mukaan vetyä saataisiin 15 000 tonnia, jos koko Suomen biokaasutuotanto (630 GWh) reformoitaisiin vedyksi 80 % hyötysuhteella. Määdättämällä tuotetuksi biokaasupotentiaaliksi on arvioitu 7–18 TWh, josta pelto- ja metsäbiomassan osuus olisi 6 TWh (ruoantuotannon vaarantumatta). 10 TWh voitaisiin saada kaasuttamalla metsäbiomassaa tai turvetta. [34]

Vedyn avulla olisi mahdollista kehittää paitsi vetytaloutta myös niin kutsuttua metanolitaloutta. Vedyn ja hiilidioksidin välisellä reaktiolla voidaan valmistaa metanolia ja edelleen dimetyylieetteriä, jota mm. Volvo on käyttänyt raskaissa ajoneuvoissa dieselin korvaajana.



Hiilidioksidi voidaan ottaa ilmakehästä tai fossiilisia polttoaineita käyttävistä laitoksista, jotka on varustettu hiilidioksidin talteenottotekniikalla (CCS). Metanoli voidaan edelleen konvertoida hiilivedyksi (ks. kuva 21). Esimerkiksi Stuttgartissa ollaan ottamassa käyttöön 250 kW koelaitosta. Audi ja SolarFuels ovat suunnitelleet prosessin skaalauksen 1500 maakaasuauton tarpeisiin.

## C2. Ammoniakki ja ammoniumsulfaatti

Ammoniakki on tärkeä peruskemikaali, jota hyödynnetään mm

- lannoitteiden valmistuksessa
- pH:n säätämiseen monissa teollisuuden prosesseissa (ml. elintarviketeollisuus, kemian-teollisuus, metsäteollisuus, metallien valmistus, elektroniikkateollisuus)

Pääosa Suomessa käytetystä ammoniakista tuodaan Venäjältä ja on valmistettu tyypestä ja fossiilisesta vedystä. Teknologioita, joilla ammoniakkia voidaan valmistaa bioperäisistä raaka-aineista on esitetty taulukossa 6. On huomattava, että ammoniakki on melko edullinen peruskemikaali, jonka suuren mittakaavan teollinen valmistus Suomessa on vaikea saada taloudellisesti kannattavaksi.

**Taulukko 6. Tärkeimmät teknologiat, joilla voidaan tuottaa ammoniakkia bioperäisistä raaka-aineista.**

Bioraaka-aine ja teknologia	Raaka-aineen saatavuus	Teknologian kypsyyt	Edut huoltovarmuuden näkökulmasta	Kriittiset tekijät
Biovedystä ja ilmakehän tyypestä Haber-Bosch-synteesillä (H-B) $3 \text{H}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$	Biovedyn valmistus Suomessa vielä melko vähäistä.	H-B on teollisuudessa yleinen menetelmä, fossiilisen vedyn korvaaminen biovedyllä ei tuo muutoksia prosessiin.	Hyvin tunnettu teknologia.	Suomessa ei ole yhtään H-B laitosta. Vaatii rautakatalyytin.
Biomassoista ja -jätteistä mädättämällä tuotetun biokaasun valmistuksen sivutuotteena.	Hyvä	Pienimuotoista tuotantoa (Biotehdas).	Yhdistetty biokaasun tuotantoon.	Ammoniakkia ei prosessissa muodostu suuria määriä.
Turpeesta happi- ja höyrykaasutukseen perustuvassa HTW-kaasuttimessa.	Hyvä	Demonstroitu 1980-luvulla Oulussa Kemiran toimesta.	Teollisen toimijan testaama.	Prosessi ei koskaan päätynyt tuotantoon.

Envor Biotech käynnisti syksyllä 2014 Forssassa ammoniumsulfaatin tuotannon, jossa typen lähteenä on biokaasunvalmistuksen yhteydessä muodostuva liete. Tuotettu ammoniumsulfaattiliuoksen pitoisuus voidaan räätälöidä välillä 20-40 %, ja sitä käytetään sekä maataloudessa että teollisuuden raaka-aineena. Ammoniumsulfaatti sisältää kasveille tärkeää tyypeä ja rikkiä suhteessa 21N-24R. Tuotetta on hyödynnetty mm lannoituksessa kylvön yhteydessä sekä glyfosaattiruiskutuksen tehostajana.



### C3. Eteeni ja muut hiilivedyt

Merkittäviä kehityslinjoja hiilivetyjen valmistamiseksi biopohjaisista raaka-aineista on useita. Näistä esimerkkejä on esitetty kaaviokuvassa 20.

<p><b>Biosynteesikaasusta Fischer-Tropsch-synteesillä</b> Tuotteina suuri jakauma erilaisia hiilivetyjä. Tuoteseoksen koostumukseen voidaan vaikuttaa synteesikaasun koostumuksella, reaktio-olosuhteilla sekä katalyyttien avulla (s. 58 kuva 21). <b>Kypsyys:</b> Kehitysasteella</p>	<p><b>Kasviöljyistä ja rasvoista vetykäsittelyllä</b> Neste ja UPM valmistavat vetykäsittelyllä hiilivetyjen seoksia, joita hyödynnetään uusiutuvana dieselinä liikenteessä. Teknologia soveltuu myös biokemikaalien ja -liuottimien (ja niiden raaka-aineiden) valmistukseen. <b>Kypsyys:</b> Biokemikaalien osalta kehitysasteella.</p>
<p><b>Bioetanolista dehidrataatiorektiolla</b> Poistamalla bioetanolista vettä kemiallisen reaktion avulla saadaan bioeteeniä. <b>Kypsyys:</b> Suomessa ei ole eteenin valmistusta bioetanolista. Globaalisti suuri toimija on Braskem Brasiliassa.</p>	<p><b>Biometanolista MTO-menetelmällä</b> (methanol-to-olefins) Metanolista saadaan katalyyttien avulla useita kemian tuotteita (ks. s. 58 kuva 21). Metanolin raaka-aineena voidaan hyödyntää mm. bioperäistä synteesikaasua tai mustalipeää. <b>Kypsyys:</b> Kehitysasteella.</p>

**Kuva 20.** *Esimerkkejä hiilivetyjen valmistamisesta biopohjaisista raaka-aineista.*

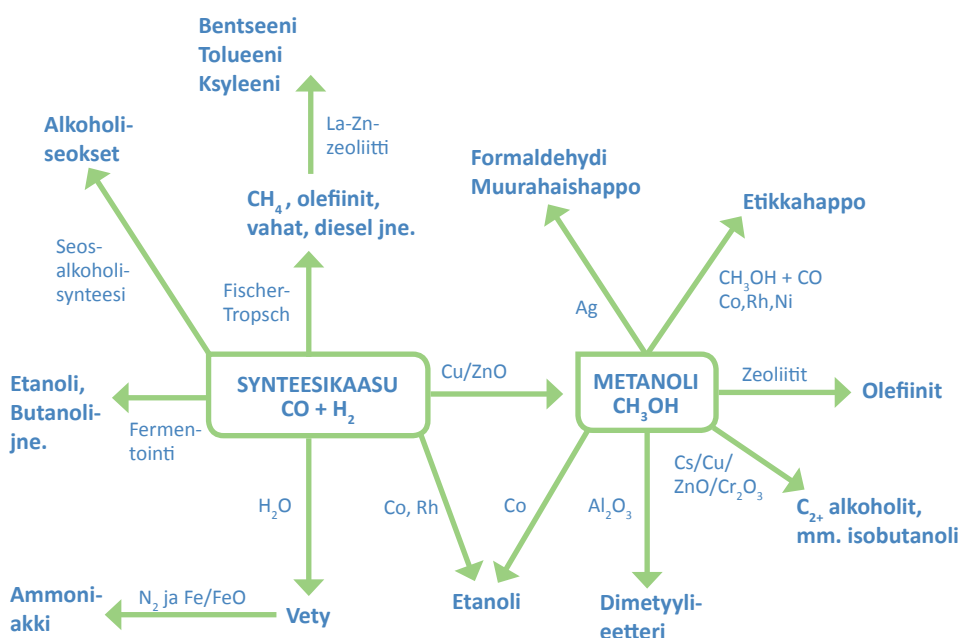
Kuvan 20 prosesseja ei toistaiseksi Suomessa hyödynnetä biopohjaisten kemikaalien valmistukseen, mutta esimerkiksi VTT ja Kokkolan yliopistokeskus tutkivat aktiivisesti puuperäisen synteesikaasun hyödyntämistä kemian tuotteiden valmistuksessa. VTT on esimerkiksi kehittämässä prosessia bentseenin, tolueenin ja ksyleenin valmistamiseksi (ks. s. 58 kuva 21). Seuraavana vaiheena on prosessin teollisen toteutuskelpoisuuden osoittaminen Bioruukin pilotointikeskuksessa. [24, 56]

Nesteen yhtenä strategisena suuntana on biopohjaisten kemikaalien tuotantoprosessien kehittäminen. Yhtiö on jo julkistanut käynnistävänsä biopropanin tuotannon NEXBTL-prosessilla Rotterdamin laitoksilla. UPM kehittää Suomessa ja ulkomailla sekä puupohjaisia peruskemikaaleja (chemical building blocks) että toiminnallisia kemikaaleja (performance chemicals). Monet UPM:n biokemikaaleista ovat esikaupallisessa vaiheessa. Myös mm. Stora Ensolla on kehityshankkeita, jotka liittyvät erilaisten kemian tuotteiden valmistukseen puun biomassasta. C5- ja C6-sokerien hydrolysointi irti lignoselluloosasta ja sokerien jatkojalostus ovat tärkeitä t&k-alueita. Stora Enso on keskittänyt sokerihin pohjautuvien tuotteiden ja niiden liiketoiminnan kehityksen Tukholmassa vuonna 2015 avattuun innovaatiokeskukseensa.

## C4. Alkoholit ja karboksyylihapot

Keskeisin bioalkoholi on bioetanoli. Sitä voidaan valmistaa monella menetelmällä. Suomessa St1 Biofuels valmistaa etanolia fermentoimalla sokereista, jotka on saatu pilkkomalla bioperäisen jäte- ja tähderaaka-aineen polysakkarideja Altia valmistaa Koskenkorvan tehtaallaan ohrasta etanolia, josta pääosa menee juomiin, mutta osa myös tekniseen käyttöön. Euroopan tasolla tärkeä bioalkoholi on myös glyseroli, jota muodostuu suurina määriä perinteisen FAME-biodieselin valmistusprosessin sivutuotteena.

Alkoholeja voidaan valmistaa myös jatkojalostamalla biosynteesikaasua (kuva 21). Teollista tuotantoa ei kuitenkaan ole vielä käynnissä. Keskeistä osaamista on optimoida jalostukseen sopivat katalyytit, joista monet ovat metalleja tai niiden yhdisteitä [24, 25, 56].



**Kuva 21.** *Esimerkkejä biosynteesikaasun ja biometanolin jatkojalostusmahdollisuuksista. Olefiinit on synonyymi yhdisteryhmälle alkeenit, joihin kuuluvat mm. eteeni ja propenei, jotka ovat polyeteeni- ja polypropreenimuovien raaka-aineita.*

Myös monimutkaisempia alkoholeja valmistetaan biopohjaisesti. Esimerkiksi DuPont valmistaa 1,3-propanidiolia (PDO), bioteknisesti fermentoimalla maissista saatuja sokereita ja Genomatica 1,4-butaanidiolia (BDO) niinkään sokereita fermentoimalla. Muita bio-BDO:n valmistajia ovat mm. BASF, BioAmber ja Metabolix. Suomessa ei teollisesti tuoteta muita biopohjaisia alkoholeja kuin bioetanolia ja pieniä määriä bioglyserolia. UPM käynnisti kesällä 2015 yhdessä ruotsalaisen Sekabin, ranskalaisen METabolic EXplorerin ja Darmstadtin teknillisen yliopiston kanssa ValChem-hankkeen, jonka yhtenä tavoitteena on luoda valmistusprosessi lignoselluloosapohjaiselle 1,2-propanidiolille.

Alkoholit voidaan edelleen hapettaa karboksyylihapoiksi, esimerkiksi etanoli etikkahapoksi ja metanoli muurahaishapoksi. Erilaisia karboksyylihappoja esiintyy myös mustalipeässä, joka on sellunkeiton sivuvirta. Karboksyylihappojen eristämistä mustalipeässä on tutkittu esimerkiksi FIBIC-shokin hankkeissa, mutta toistaiseksi lähinnä laboratoriomittakaavassa [40]. Tiettyjä karboksyylihappoja tuotetaan teollisesti myös biotekniikan avulla, esimerkiksi BASF, BioAmber ja Reverdia valmistavat fermentaatiolla meripihkahappoa. Suomessa ei ainakaan toistaiseksi ole käynnissä biopohjaisten karboksyylihappojen tuotantoa etikkahappoa lukuun ottamatta (Bernerin laitos Rajamäellä valmistaa etikkahapon vesiliuosta lähinnä elintarvikekäyttöön).

## C5. Liuottimet

Suomessa on vuosikymmeniä tuotettu puubiomassapohjaista, tärpättiliuotinta jota valmistetaan sellutehtaiden yhteydessä sivutuotteena. Myös bioetanolia voitaisiin käyttää liuottimena monissa prosesseissa, mutta Suomessa tuotettu bioetanoli menee tällä hetkellä liikenteen biopolttoaineeksi. Neste ja ranskalainen Total Fluids sopivat kesällä 2015, että Neste toimittaa uusiutuvaa NEXBTL-isoalkaania Total Fluidesille, joka kehittää ja valmistaa siitä liuottimia ja teknisiä kemikaaleja. Monia muitakin liuottimia, mm. tetrahydrofuraania, voitaisiin valmistaa biopohjaisista raaka-aineista. Teknologinen valmius valmistukseen on Suomessa olemassa, mutta teollinen toteutus puuttuu.

## C6. Muut peruskemikaalit

Monien peruskemikaalien teollinen valmistus bioperäisistä raaka-aineesta on Suomessa tutkimusasteella. Merkittäviä tutkimuskohteita ovat muun muassa mustalipeän ja metanolin hyödyntäminen kemikaalien raaka-aineena, kemikaalien erottaminen pyrolyysiöljystä sekä uusiutuvan dieselin valmistukseen käytettyjen teknologioiden hyödyntäminen kemian tuotteiden valmistuksessa. Keskeisiä toimijoita ovat mm. Neste, UPM, Fortum, VTT, Kokkolan yliopistokeskus Chydenia, Oulun yliopisto, Åbo Akademi ja Jyväskylän Yliopisto.

Mustalipeä on sellunkeitosta syntyvä vesipohjainen sivuvirta, joka sisältää ligniiniä, hemiselluloosia ja niiden erilaisia hajoamistuotteita sekä sellun keittokemikaaleja natriumsulfidia ja natriumhydroksidia. Nykyisissä sellutehtaissa mustalipeästä otetaan talteen keittokemikaalit ja loppu poltetaan soodakattilassa, jolloin saadaan höyryä ja sähköä. Ennen soodakattilaan siirtämistä mustalipeästä erotetaan erillisessä prosessissa mäntyöljy, josta tuotetaan erilaisia kemikaaleja sekä uusiutuvaa dieseliä. Aktiivisena tutkimuksen kohteena FIBIC-shokissa on ollut mustalipeän hyödyntäminen uusilla tavoilla, muun muassa peruskemikaalien kuten metanolin ja erilaisten orgaanisten happojen raaka-aineena. [40]

## D. ERIKOISKEMIKAALIT

Sekä Suomessa että globaalisti suurin osa erikoiskemikaaleista valmistetaan fossiilisista ja epäorgaanisista raaka-aineista. Valmistusvolumeiltaan suurimmat Suomessa teollisesti valmistettavat biopohjaiset erikoiskemikaalit ovat mäntyöljyalosteet, karboksimeetyliselluloosa, ksylitoli, teolliset entsyymit, betaiini sekä erilaiset tärkkelykset. Arvokkaita biopohjaisia tuotteita ovat myös Medix Biochemican Espoossa valmistamat vasta-aineet (erikoisreagenssit), joita käytetään lääketieteellisessä diagnostiikassa.

Mäntyöljyä tuotetaan havusellun valmistuksen rinnakaistutuotteena. Se erotetaan sellunkeiton yhteydessä muodostuvasta mustalipeästä erillisessä prosessiyksikössä ennen soodakattilavaihetta. Kemialliselta koostumukseltaan mäntyöljy on puun uuteaineiden seos, josta voidaan erottaa eri jakeita jatkokäyttöön. Suomessa Forchem Raumalla ja ArizonaChemical Oulussa tislavat mäntyöljyä ja valmistavat sen eri jakeista monenlaisia kemian tuotteita. Pääjakeet ovat mäntyöljyrasvahapot ja mäntyöljyhartsit, joista jatkojalostetaan tuotteita mm. kumi-, liima- ja maali- ja asfalttiteollisuuteen. Mäntyöljystä valmistettavan asfaltin kierrätystä edistävä aineen avulla 75 % vanhasta asfaltista voidaan käyttää uudelleen teiden pinnoituksessa. Mäntyöljypikeä puolestaan hyödynnetään suorassa energiakäytössä sekä polttoaineiden valmistuksessa (raakaöljyn korvaaminen). Neste aloitti v. 2013 ensimmäisenä maailmassa mäntyöljypien käytön liikennepolttoainetuotannon raaka-aineena TCC-prosessissaan (ThermoCatalyticCracking). Mäntyöljypikeä syntyy mäntyöljyteollisuudessa Suomessa vuosittain noin 100 000 tonnia.

Mäntyöljystä voidaan erottaa myös raaka-aineita kolesterolia alentavien steroli- ja stanoliesterien valmistukseen (funktionaaliset elintarvikkeet) sekä rehujen ainesosien valmistukseen (antimikrobiset ominaisuudet). Suomen Rehu on ensimmäisenä maailmassa kehittänyt ja tuonut markkinoille eläinrehun, joka sisältää mäntyöljyn pihka-aineita. Nämä toimivat luonnonmukaisia tulehdusta estäviä aineina, minkä ansioista siipikarjalihan tuotannossa voidaan vähentää antibioottien käyttöä, joka Suomessa on vähäistä, mutta monissa Euroopankin maissa huomattavan yleistä.

Moderni mäntyöljylaitos on biojalostamo, jonka tuotteiden kirjo on suuri ja kasvaa jatkuvasti. Yhteenvetona voidaan todeta, että jatkojalostuksen avulla saadaan mm

- alkydeja
- polyamideja
- hartsistereitä
- steroleja
- emulgaattoreita

Karboksimetyyliselluloosa eli CMC on monikäyttöinen yhdiste, jota valmistetaan sellusta jatkojalostamalla. CP Kelcon tehdas Äänekoskella käyttää sellun lisäksi raaka-aineinaan mm. monokloorietikkahappoa, natriumhydroksidia ja etanolia. CMC:n eri laatuja hyödynnetään esimerkiksi

- pyykinpesuaineissa (estää lian takaisin tarttumista tekstiileihin)
- paperin valmistuksessa (päällistyksessä side- ja voiteluaineena)
- öljynporauksessa (porausnesteen lisäaineena)
- elintarvikkeissa (jugurteissa sakeuttamisaineena)

Selluloosasta voidaan valmistaa myös apuaineita lääketeollisuuden tuotteisiin. JRS Pharman laitoksella Nastolassa tuotetaan selluloosapohjaisia aineita muun muassa lääketablettien apuaineiksi ja päällistykseen. Osassa näistä hyödynnetään mikrokiteistä selluloosaa mcc. Aalto-yliopiston tutkimusryhmä on vastikään patentoitunut menetelmän, jonka avulla mcc:tä pystytään valmistamaan nykyistä paljon edullisemmin. Jos hinta laskisi riittävästi, mcc:tä voitaisiin hyödyntää esimerkiksi erilaisten materiaalien raaka-aineena tai syöttää rehuna lehmille.

Monissa biomassojen jalostusprosesseissa hyödynnetään teollisuusentsyymejä. Suomessa teollisuusentsyymejä valmistavat Roal (AB Enzymes) Rajamäellä ja Genecor (DuPont) Hangossa, Jämsänkoskella, Jokioissa ja Vaasassa. Metgen Oy:lla on pilottilaitos Kaarinassa ja tuotantoa alihankintana eri puolilla Eurooppaa. Entsyymejä hyödynnetään muun muassa

- lignoselluloosapohjaisen biomassan jalostuksessa
- pesuaineissa
- tekstiiliteollisuudessa
- rehuissa
- elintarviketeollisuudessa

Entsyymejä valmistetaan bioteknisesti fermentaatiolla tai erottamalla mm. viljasta. Esimerkiksi ohra sisältää luonnostaan beta-amylaasia, joka Genecorin Jokioisten tehtaan prosessissa erotetaan ohrasta. Erotuksen jälkeen entsyymi puhdistetaan, väkevöidään ja formuloidaan valmiiksi lopputuotteeksi. Beta-amylaasi on entsyymi, jonka avulla mm. valmistetaan tärkkelyksestä maltoosisiirappia.

Naantalissa Du Pont -konserniin kuuluva Finnfeeds Finland valmistaa betaiinia ja inositolia sokeriteollisuuden sivuvirroista rehu-, kosmetiikka- ja elintarviketeollisuuden raaka-aineiksi. Betaiinien erotuksessa käytettävä kromatografinen erotustekniikka perustuu Suomen Sokerissa aikanaan tehtyyn tutkimus- ja kehitystyöhön. Naantalin tehtaan raaka-aineet tuodaan muualta Euroopasta ja valmiista tuotteista noin 97 % menee vientiin.

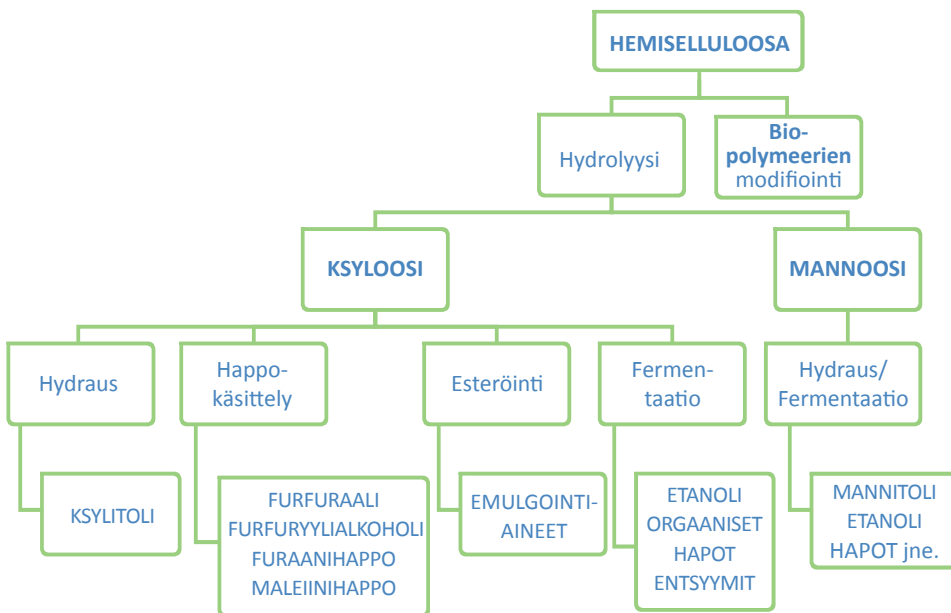
Tärkkelystä tai modifioitua tärkkelystä non-food käyttöön valmistavat Suomessa Finnmyl, Lapuan Peruna, Evijärven Peruna, Altia ja Chemigate. Tärkkelyksiä käytetään esimerkiksi paperi-, liima- ja tekstiiliteollisuudessa. Tärkkelyksellä on monia etuja verrattuna muihin kasvin tuottamiin polysakkarideihin. Tärkkelys, toisin kuin esimerkiksi selluloosa, on helposti pilkkottavissa oligosakkarideiksi ja glukoosiksi. Keski-Euroopassa tärkkelystä käytetään esimerkiksi raaka-aineena monien kemikaalien, kuten maitohapon, bioteknisessä tuotannossa sekä komposiittimateriaaleissa, joissa sitä on sekoitettu fossiilisiin polymeereihin.[41]

Puiden biomassa sisältää monia yhdisteitä, joita ei vielä juurikaan teollisesti hyödynnetä raaka-aineena vaan ainoastaan niiden energiasisältö hyödynnetään sivuvirtojen poltossa. Esimerkiksi puun sisältämiä hemiselluloosia, joiden osuus puusta on noin neljännes, ja ligniiniä, jota puusta on noin 20–30 %, käytetään toistaiseksi kemikaalien ja materiaalien raaka-aineena hyvin vähän. Koska hemiselluloosien lämpöarvo on melko matala 16,3 MJ/ kg, niiden hyödyntäminen raaka-aineena toisi merkittävästi lisäarvoa. Chemecilla (BLN Woods) on Smart Chemistry Parkissa (Raisio) kehitteillä puun jalostusteknologia, jossa selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini saadaan kaikki erotettua puhtaina jakeina.

Lehtipuiden pääasiallinen hemiselluloosa on glukuroniksyylaani. Havupuiden yleisin hemiselluloosa on puolestaan galaktoglukomannaani. Arabinogalaktaani on erityisesti lehtikuusesta runsaana löytyvä hemiselluloosa, jota muissa puulajeissa on vain vähän. Hemiselluloosat voidaan pilkkoa pienimolekyylisiksi sokereiksi, joita voidaan modifioida erilaisilla reaktioilla, mm. hapettamalla, esteröimällä, hydraamalla sekä bioteknisesti fermentoimalla. Näiden prosessien avulla tuotteina saadaan mm. mannitolia, sorbitolia, glyseriiniä, orgaanisia happoja, aminohappoja, antibiootteja, vitamiineja ja entsyymejä. Esimerkiksi fermentoinnin tärkeitä tuotteita etanolin ohella ovat mm. sitruunahappo ja maitohappo. Sitruunahappoa käytetään mm. pesuaineissa tehoaineena ja myös metallien puhdistuksessa. Maitohappo on monipuolinen peruskemikaali, josta voidaan edelleen valmistaa lukuisia tuotteita esimerkiksi polylaktidimuovia, jota hyödynnetään mm. pakkausmateriaalina ja kirurgisissa ruuveissa ja ompeleissa. Maitohappoestereitä voidaan käyttää mm. biohajoavina liuottimina (esim. elektroniikketeollisuudessa). [41, 42]

Esimerkkejä yhdisteistä, joita hemiselluloosasta voidaan valmistaa on esitetty kuvassa 22. Näistä teollisessa tuotannossa Suomessa on vain ksylitoli. Sitä tuottaa Du Pont konserniin kuuluva Danisco

Sweeteners Kotkassa Keski-Euroopasta tuodusta hemiselluloosasta jalostetusta ksyloosista. Tuonti-raaka-ainetta käytetään, koska Suomen sellutehtaista vain yhden sivuvirta soveltuisi ko. ksyloosiprosessiin (sulfiittisellunkeitto). Ksylitolia käytetään paitsi makeutusaineena ja hammasterveyden hoidossa, myös mm. shampoissa ja ihovoihteissa. Vuonna 2016 käynnistetty St1 Biofuelsin Kajaanin etanolilaitos, jonka raaka-aineena on sahanpuru, josta osa on hemiselluloosaa.



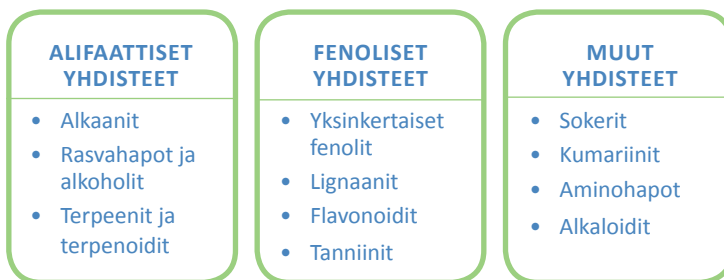
**Kuva 22. Esimerkkejä yhdisteistä, joita voidaan valmistaa hemiselluloosasta. [42]**

Ligniini on amorfinen, aromaattinen ja verkkomainen polymeeri. Sen prekursoreita ovat p-kumaryylialkoholi, koniferyylialkoholi ja sinapyylialkoholi. Suomessa ligniinin tuotanto saostamalla mustaliipeästä (Lingoboost-menetelmä) aloitettiin 2015 alussa Stora Enson Sunilan tehtailla. Nyt toiminnan alkuvaiheessa suuri osa ligniinistä menee energiakäyttöön (hyvä lämpöarvo, 26 MJ/kg), mutta ligniinillä on paljon potentiaalisia käyttökohteita raaka-aineena. Esimerkiksi VTT on tutkinut ligniinin hyödyntämistä mm. terveysvaikutteisena ravintokuituna sekä komposiiteissa ja liimoissa, joissa se voisi korvata fossiilisia raaka-aineita. Myös ligniinin hyödyntämistä aromaattisten kemikaalien raaka-aineena tutkitaan aktiivisesti [43]

Puussa on uuteaineita, joista on kooste kuvassa 23. Näitä uuteaineita on tutkittu monissa hankkeissa, mutta mäntyöljyä ja täppätiä lukuun ottamatta, niitä ei toistaiseksi hyödynnetä Suomessa teollisesti. Uuteaineiden pitoisuus on suurin puun kuoriaineksessa, joka tällä hetkellä metsäteollisuudessa poltetaan energiaksi.

VTT julkisti helmikuussa 2015 kehittäneensä prosessin tanniinin uuttamiseen kuumalla vedellä kuusen kuoresta. Tanniini on fenolinen yhdiste, joka voisi korvata öljypohjaista fenolia erilaisissa puunjalostustuotteisiin tarkoitetuissa liimoissa ja toimia eläinrehujen lisäaineena. Se myös parantaa eristevaahtojen palonkestävyyttä. Suomesta olisi saatavilla noin 130 000 tonnia tanniinia sahojen ja sellutehtaiden kuorivirroista.

Tanniinin ohella toinen paljon tutkittu uuteaine on koivun kuoren ja tuohen sisältämä betuliini. Se on pentasyklinen triterpeenialkoholi, joka voisi toimia raaka-aineena biokemikaaleille, polymeereille ja biologisesti aktiivisille yhdisteille. Betuliini saadaan muutettua helposti esimerkiksi betuloni- ja betulinihapoksi, joilla saattaa olla laaja biologinen ja farmakologinen käyttömahdollisuus [44]. Åbo Akademin tutkijat löysivät ja eristivät 2000-luvun alussa kuusenoksista hydroksimatairesinolin eli HMR-lignaaniin. Keksintöä tuotteistamaan lähti Hormos Medical. Vuonna 2005 Hormos myi HMR:n maailmanlaajuisen valmistus- ja myyntilisenssin sveitsiläiselle Linnea AG:lle, joka toi terveysvaikutteiset lignaanikapselit markkinoille vuonna 2006. Lääketeollisuus ei ole lähtenyt panostamaan lignaaniin, vaikka aineen potentiaali mm. rinta-, eturauhas- ja vatsasyövän estämisessä tunnetaan. [45] Kuusen uutteita tutkitaan Suomessa edelleen: Smart Chemistry Parkissa toimiva Montisera kehittää niistä aineita, joilla on terveysvaikutuksia.



**Kuva 23.** Esimerkkejä puussa esiintyvistä uuteainesta. [42]

Myös epäorgaanisten erikoiskemikaalien valmistusta biopohjaisista raaka-aineista tutkitaan aktiivisesti. Laboratoriomittakaavassa esimerkiksi elektroniikkateollisuudessa käytettäviä hiilinanomateriaaleja on valmistettu ligniinistä sekä sahanpurusta ja maali- ja kosmetiikkateollisuuden hyödyntämiä pigmenttejä kalojen ruodoista.

## E. VEDENPUHDISTUS

Modernissa jäte- ja juomavesien puhdistuksessa käytetään useita kemian tuotteita. Näistä suuri osa valmistetaan epäorgaanisista kemikaaleista, joista osan, kuten rautasulfaatin, valmistus Suomessa perustuu muun teollisuuden sivuvirtojen hyödyntämiseen. Mahdollisia biopohjaisia ratkaisuja etsitään aktiivisesti sekä yliopistoissa (mm. Oulun yliopisto, Lappeenrannan teknillinen yliopisto) että yrityksissä (mm. Kemira, Chemigate). Chemigate on tuonut markkinoille PrimePHASE – tuotteet, jotka ovat teollisuuden prosessi- ja jätevesien puhdistuksessa käytettäviä luonnon tärkkelyksiin pohjautuvia polymeerejä. PrimePHASE tuotteet ovat nestemäisiä ja niitä voidaan käyttää joko epäorgaanisten koagulanttien tai pitkäketjuisten flokkulanttien korvaajana tai yhdessä niiden kanssa.

Muita esimerkkejä biopohjaisista vedenpuhdistukseen soveltuvista aineista ovat aktivoitu biohiili ja modifioitu nanoselluloosa. Aktivoitua biohiiltä voidaan valmistaa esimerkiksi erilaisten biojalostamojen (mm. sellutehtaat, biosynteesikaasun valmistus) sivuvirroista ja se on suuressakin mittakaavassa potentiaalinen suodatuskemikaali. Toinen lupaava ryhmä ovat modifioidut nanoselluloosat. Niiden ominaispinta-ala on suuri, mikä mahdollistaa niiden ominaisuuksien räätälöinnin sopivaksi epäpuhtauksien saostukseen ja adsorptioon. Mikro- ja nanoselluloosapohjaisilla adsorptiomateri-

aaleilla on saatu hyviä tuloksia, mm tuoreessa väitöstutkimuksessa osoitettiin, että ne poistivat 55-90 % tutkituista haitta-aineista (raskasmetallit, arseeni, vetysulfidi, fosfaatit, nitraatit) [46]. Biohiilen lisäksi myös muiden sivu- ja jätevirtojen, kuten kumirengasrouheen, hyödyntäminen vedenpuhdistuksessa on aktiivinen tutkimusalue [47, 48].

Clewer Oy on patentoinut ja markkinoinut veden puhdistukseen prosessia, jossa jätevesi virtaa bioreaktorin läpi. Bioreaktorissa on suuri määrä kantoaineeseen kiinnitettyjä bakteereita, jotka puhdistavat vedestä epäpuhtauksia, kuten fosforia, typpeä ja orgaanista ainesta.

Usein jätevesien puhdistuksessa yhdistetään mekaanisia, kemiallisia ja biologisia prosesseja. Suuri osa asutuskeskusten ja teollisuuden jätevesistä puhdistetaan mekaanisen esikäsittelyn jälkeen biologisella aktiivilietemenetelmällä, jossa lietteen sisältämät mikrobit hajottavat veden orgaaniset epäpuhtaudet vaarattomiksi yhdisteiksi. Epäorgaanisten epäpuhtauksien erottamiseksi käytetään yleensä kemiallisia menetelmiä kuten saostusta alumiinisulfaatin tai rautasulfaatin avulla. Jätevesien puhdistusprosessissa syntyvä liete voidaan hyödyntää biokaasun ja lannoitteiden valmistukseen.

## F. LIIMAT, LAKAT JA MAALIT

Liimoissa, liistereissä, lakoissa ja maaleissa käytettiin aina 1950-luvulle asti runsaasti luonnonaineita, kuten tärkkelystä, pellavaöljyä, mäntyöljyä, maidon kaseiinia ja karboksimeetyyliselluloosaa. Syn-teettiset raaka-aineiden kehitys syrjäytti monet biopohjaiset aineet, mutta nyt selvänä teollisuuden trendinä on pyrkiä uudistamaan raaka-ainepohjia biopohjaiseen suuntaan.

Tärkkelys on säilyttänyt asemansa tärkeänä liisterien raaka-aineena, samoin mm. biopohjainen furfuryylialkoholi (tuontituote, mutta voitaisiin valmistaa Suomessakin puun hemiselluloosasta). Rakennusteollisuuden liimojen pääraaka-aineena ovat mäntyesterihartsit. Mahdollisia biopohjaisia uusia raaka-aineita liimoissa voisivat olla esimerkiksi maitohappo, erilaiset ligniinijohdannaiset, modifioitu ksylaani ja nanoselluloosa. [43]

Maaleissa käytetään mm. mäntyöljyjalosteita sekä muita biopohjaisia alkydejä. Nesteella on markkinoilla uusiutuva NEXBTL-isoalkaaniöljy, joka korvaa mineraaliöljyä ja soveltuu käytettäväksi mm. maaleissa, pinnoitteissa ja voiteluaineissa. Monia maalien apuaineita, kuten asetaldehydiä on saatavilla biopohjaisesti valmistettuna (mm. SEKAB, Ruotsi), mutta niiden hinta on usein fossiilipohjaisia korkeampi. Maalialalla on joitain biopohjaisiin tuotteisiin keskittyviä yrityksiä. Esimerkiksi Charcoal Finland valmistaa ja myy koivutislepohjaisia kelomaaleja ja lakkoja puun pintakäsittelyyn.





Tervaa on Suomessa käytetty perinteisesti puunsuoja-aineena. Terva oli Suomen ensimmäinen viennituote, jota vietiin jo 1500-luvulla Eurooppaan. Nykyään ammatikseen joko sivu- tai päätoimisesti tervaa valmistaa mm. Kainuun alueella vajaa kymmenen yrittäjää. Tervaa valmistetaan hitaalla pyrolyysillä ja raaka-aineena käytetään pääasiassa kantoja sekä tervaroson vaivaamia puita. Tervasta valmistetaan jonkin verran erilaisia oheistuotteita kuten hyttysöljyjä ja hajusteita, mutta tärkein käyttökohde on puurakenteiden (mm. kirkkojen kattojen) sekä puuveneiden ja laivojen ylläpito. Uhkana tervalle on EU:n kemikaaliasetus, eli REACH, jonka mukaan unionin alueella ei saa valmistaa eikä saattaa markkinoille kemiallisia aineita, jos niitä ei ole rekisteröity. Rekisteröinti koskee aineita, joita valmistetaan tai tuodaan unionin alueelle yksi tonni tai enemmän vuodessa valmistajaa tai maahantuojaa kohti. Arvioiden mukaan tervan rekisteröinti maksaisi yhteensä noin 200 000 euroa, joka on tervantuottajille kohtuuton kulu.

## G. MATERIAALIT

Puu on luonnon valmistama biopohjainen materiaali, jonka käyttöä esimerkiksi rakennusteollisuudessa pyritään lisäämään. Puun, hampun, puuvillan ja pellavan käyttö materiaalina ei kuitenkaan sisälly tämän selvityksen aihepiiriin.

Muovien raaka-aineena käytetään toistaiseksi pääasiassa fossiilisesta raakaöljystä valmistettavia monomeerejä. Valtaosa muovien valmistamiseen tarvittavista orgaanisista lähtöaineista tuotetaan siis öljynjalostamoilla. Suurin osa raakaöljystä menee kuitenkin energian tuotantoon ja liikenteen polttoaineiksi, sillä vain noin neljä prosenttia raakaöljyn määrästä käytetään kemikaalien valmistukseen.



Biopohjaisten muovien raaka-aineena voidaan käyttää muun muassa viljaa, sokeria, tärkkelystä, selluloosaa tai erilaisia rasvoja ja öljyjä. Raaka-aineita voidaan jalostaa joko kemiallisesti tai bioteknisesti. Vaikka teknologisia valmiuksia biopohjaisten muovien tuotantoon on runsaasti, niiden teollinen valmistus ei vielä ole kovin yleistä, koska bioperäinen tuotanto on yleensä fossiilista vaihtoehtoa huomattavasti kalliimpaa. Tällä hetkellä biomuovien tuotanto on noin 0,4 % koko muovialasta, mutta Euroopan tavoitteena on kasvattaa biopohjaisten osuus omasta muovituotannostaan jopa 50 %:iin vuoteen 2030 mennessä. Kaaviokuvassa 24 on esimerkkejä teollisesti tuotetuista biomuoveista eri maista. Suomessa ei ole biopohjaisten muoviraaka-aineiden teollista tuotantoa, mutta tuotteissaan niitä hyödyntävät esimerkiksi Plastiroll, Huhtamäki ja Amerplast.

<p><b>Biopolyteeni</b>          Brasiliassa tuotetaan sokeriruo'osta bioetanolia, jota käytetään bioeteenin valmistuksessa. Myös mm. Ruotsissa on vireillä biopolyteenin tuotannon kehittämishanke bioetanoliraaka-aineesta (Borealis, Stenungsund). Biopolyteeni vastaa kemialliselta koostumukseltaan ja ominaisuuksiltaan täysin fossiilisesta raaka-aineesta valmistettua polyeteeniä. Suomessa mm. Amerplast käyttää brasilialaista biopolyteeniä valmistamissaan pakkausmateriaaleissa.</p>	<p><b>Biopolylaktidi</b>          Kun tärkkelyksestä valmistetaan hydrolyysin ja fermentaation avulla maitohappoa, joka polymeroidaan, saadaan polylaktidia. Suomessa ei valmisteta polylaktidia, mutta jotkut muovituotteita valmistavat yritykset, kuten Plastiroll, käyttävät sitä raaka-aineenaan pakkausmateriaaleissa. Biopolylaktidi on sekä bioperäistä että biohajoavaa. Pakkausten lisäksi sitä käytetään mm. lääketieteen ruuveissa ja ompeleissa.</p>
<p><b>Biopolytetrahydrofuraani ja biopolyuretaanit</b>          BASF aloitti maaliskuussa 2015 Saksassa biopohjaisen polytetrahydrofuraanin (polyTHF) tuotannon fermentoimalla valmistetusta 1,4-butaanidiolista. PolyTHF:ää käytetään mm. polyesterien polyuretaanikuitujen kuten Spandexin tuotannossa. Myös espanjalainen Merquinca on tuonut markkinoille vihreitä polyuretaanityyppejä nimellä Pearlthane Eco, joissa osa raaka-ainepohjasta on bioperäistä (max 90%). Polyuretaanin keksi jo vuonna 1937 Otto Bayer. Yksien ensimmäisistä sovellutuksista oli Saksan armeijan laivaston pelastusliivi. 1960-luvulla polyuretaani syrjäytti muut eristeet kylmäkalusteissa ja mahdollisti kylmäketjun rakentamisen. Polyuretaanit ovat tällä hetkellä yksi tärkeimmistä polymeerien ryhmistä, sillä edellä mainittujen lisäksi sovelluskohteita ovat mm. rakennuseristeet, autojen osat, liimat, vuodevaatteet ja lääketieteen laitteet. Riihimäellä BASF valmistaa epoksi- ja polyuretaanipinnoitteita, sekä betonin korjaamiseen, suojaamiseen ja sen ominaisuuksien parantamiseen kehitettyjä tuotteita.</p>	<p><b>Bio-PET (polyeteenitereftalaatti)</b>          Coca-cola company kehittää aktiivisesti bio-PETin valmistusta juomapulloihin. PET-muovin valmistuksen toinen pääraaka-aine, etyleeniglykoli, voidaan jo nykyisin valmistaa bioetanolista teollisessa mittakaavassa. Näin tuotteena saadaan n. 30 % biopohjaista PET-polymeeria, jota käytetään mm. virvoitusjuomapullojen valmistukseen. Kemialliselta rakenteeltaan, toimivuudeltaan ja kierrätettävyydeltään kyseiset pulloet vastaavat täysin perinteisiä, öljystä jalostettuja PET-pulloja. Sataprosenttisesti biopohjaisen PET-muovipullon tuotanto edellyttää, että myös toinen PET:in komponentti, tereftaalihappo, valmistetaan bioraaka-aineista, mikä prosessi on kehitysvaiheessa.</p>
<p><b>Mater-Bi®</b>          Italialainen Novamont on kehittänyt biopohjaisen ja biopohjoavan Mater-Bi® -polymeerien tuoteperheen, jonka raaka-aineina käytetään tärkkelystä, selluloosaa ja kasviöljyjä. Sovelluskohteina ovat mm. jätteenkeräyksen materiaalit, elintarvikepakkaukset, maatalous- sekä hygieniatuotteet.</p>	<p><b>Sorona®</b>          Sorona® on DuPontin tuotenimi triextra (polytrimetyleenitereftalatti) -materiaaleille. Tuoteperhe tuli Yhdysvalloissa markkinoille vuonna 2000. Sorona on biopohjaisen fermentoimalla valmistetun 1,3-propaanidiolin ja fossiilista raaka-aineista valmistetun tereftaalihapon (tai sen johdannaisen) muodotama kopolymeeri. Soronassa biopohjaisena raaka-aineena on maissista saatu glukoosi ja sen osuus on 37 % massasta.</p>
<p><b>Biopolyamidit</b>          DuPont on lanseerannut PA610 ja PA1010 polyamidit, joissa bioraaka-aineen osuus on noin 40 %. Kyseinen bioraaka-aine on peräisin risiiniöljystä.</p>	

**Kuva 24. Esimerkkejä teollisesti tuotetuista biomuoveista Euroopasta, Yhdysvalloista ja Brasiliasta.**

Plastroll valmistaa mm. polylaktidista biohajoavia muovimateriaaleja elintarvikepakkauksiin, maatalouskalvoiksi ja roskapusseiksi. Esimerkiksi Bioska-maatalouskalvoa on valmistettu jo vuodesta 2003 lähtien. Sen avulla maan lämpötila kohoaa nopeammin ja se myös estää rikkaruohojen kasvua, ja vähentää näin kasvinsuojeluaineiden tarvetta. Kalvoa ei tarvitse kasvukauden jälkeen kerätä pois viljelyksiltä, vaan se voidaan kääntää mullan sekaan, jossa se kompostoituu. Huhtamäki käyttää useita erilaisia biopolymeerejä, mm. polylaktidipohjaisia biohajoavia muoveja juomalaseissa sekä kylmäruokarasioissa. Amerplast ilmoitti maaliskuussa 2015 alkavansa hyödyntää brasilialaista biopolyeteeniä osassa yhtiön tuottamia pakkausmateriaaleja.

Myös kumituotteet ovat yksi Suomen biotalouden tärkeä materiaaliaryhmä. Lähes kaikissa tuotteissa osa kumiraaka-aineesta on luonnon kumia. Lisäksi mm Nokian renkaiden kumiseoksissa käytetään rypsiöljyä ja mäntyöljyjaloiteita.

2000-luvulla Suomessa on panostettu erityisesti puuperäisten biopolymeerien, biokomposiittien ja kuitutuotteiden tutkimukseen. Biokomposiitit ovat yhdistelmäateriaaleja, joissa ainakin toinen ainesosa on biopohjainen. Oikeastaan puukin on biokomposiitti, jonka rakenneaineena on selluloosa ja sidosaaineena ligniini. Esimerkkejä markkinoilla olevista tai pilot-vaiheen komposiittituotteista on taulukossa 7.

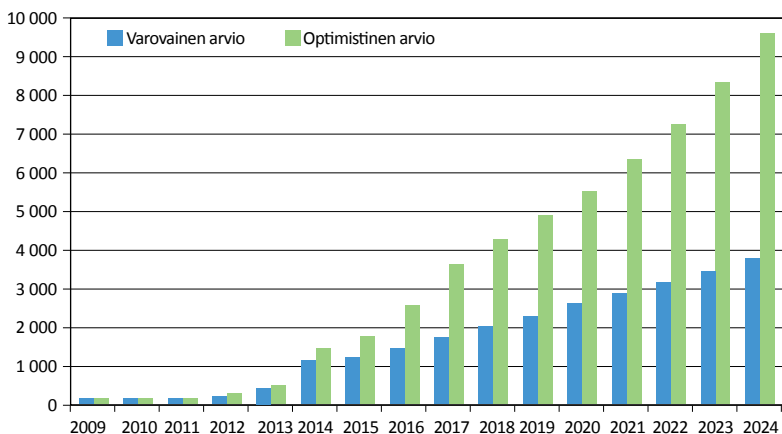
**Taulukko 7. Esimerkkejä biokomposiiteista, joita tuotetaan Suomessa teollisesti (poikkeuksena Elastopolin komposiitti, jonka kehitys on pilot-vaiheessa).**

Komposiitti	Raaka-aineet ja tuotanto	Käyttö
Novofrux® luonnonkuitu- komposiitti	Termoplastinen, biohajoava luonnonkuitukomposiitti, jota Novoplastik valmistaa Uudessakaupungissa.	Asiakkaana mm. autoteollisuus (ajoneuvojen sisäosat).
ForMi sellu-muovi- komposiitti	Ruiskuvalussa käytettävät pellettimäiset granulaatit on valmistettu sellukuidusta ja fossiilista polymeereistä, kuten polypropreenista. Uusiutuvan kuidun osuus on 20–50 %. ForMin tuotanto käynnistyi UPM:n tehtaalla Lahdessa tammikuussa 2012.	Korvattu perinteisiä raaka-aineita lastulevystä perus- ja teknisiin muoveihin, mm. kovaäänisissä, ruokailu- ja keittiötarvikkeissa, huonekaluissa, pienelektroonikassa ja keittiörakenteissa.
ProFi- sellumuovi- komposiitti.	Vähintään puolet raaka-aineesta tulee kierrätettynä tarralaminaattituotannon hukkamateriaalista (ylijäämämuovi ja -paperi). ProFi-komposiitteja tuotetaan UPM:n tehtailla Suomessa, Saksassa ja Yhdysvalloissa.	Korvattu perinteisiä raaka-aineita rakentamisen ulkokäyttökohteissa (ulkoverhoilu, terassit, parvekelaatat)
LunaComp- puumuovi- komposiitti	Raaka-aineina ovat lämpöpuuhöyläyksessä syntyvä puru ja (fossiiliset) peruspolymeerit, kuten polyeteeni, polypropreeni ja polyvinyylikloridi. Tuotanto alkoi lissalnessa vuonna 2011.	Terassilaudat, laiturit ym. ulkorakenteet. Voidaan jalostaa myös 50% muovipitoisuuden granulaatti-jyviksi, joista voidaan tehdä lähes mitä tahansa kappaletavaroita, (ruiskuvalamalla) sekä ekstruusiolla lähes mitä tahansa isoja tai pieniä muoto- profiileja.
Woodcast® -komposiitti	Raaka-aineena puuhake ja synteettiset biohajoavat polymeerit. Komposiittia valmistuttaa ja markkinoi Onbone Oy, joka on perustettu v. 2012.	Käyttö lääketieteessä kipsausmateriaalina. Komposiitti on myrkytön ja biohajoava.

Elastopolin sellu-muovi-komposiitti	Elastopoli Oy:lla käynnissä koelaitos Sastamalassa. Neuvoteltu tuotantomahdollisuudesta mm MetsäFibren Äänekosken tehdasalueella. Raaka-aineena märkä sellu & fossiiliset polymeerit (mm. polyeteeni, polypropeeni).	Potentiaalinen käyttö mm. autoteollisuudessa.
Destaclean® puukivi, eli puukuidun ja betonin muodostama komposiitti.	Raaka-aineena käytöstä poistettu rakennus- ja pakkauspuu, joka työstetään puukuiduksi ja sekoitetaan betoniin (puun osuus komposiitissa 20-25 m%). Tuotanto käynnistyi 2015 Destamaticin tehtaalla Hyvinkäällä.	Käyttö mm. ympäristörakentamisessa pihakivinä kävely- ja liikealueilla sekä terasseilla.

Ligniinin ominaisuuksia voidaan räätälöidä ja parantaa muuntelemalla sen rakennetta kemiallisesti tai entsyymien avulla. VTT:llä on saatu aikaan termoplastisia eli lämmön avulla muovattavia yhdisteitä esteröimällä ligniiniä rasvahapoilla. Näitä yhdisteitä voidaan käyttää öljyperäisten muoviraaka-aineiden korvaajina tai tehdä niistä esimerkiksi kosteutta eristäviä pinnoitteita kartonkipakkauksiin. Lupaava tutkimuslinja on myös ligniinimassan hydroterminen hiiltäminen (HTC), jonka tuotteen saadaan aktiivista bioperäistä hiiltä esimerkiksi nanomateriaalisovelluksiin. [43]

Nanoselluloosat ovat yksi tärkeimmistä tulevaisuuden biopohjaisista materiaaliyryhmistä. Suurin osa nanoselluloosan käyttökohteista on kuitenkin vielä tutkimusasteella. Suomessa on paljon alan tutkimusta, muun muassa metsäteollisuuden yrityksissä, VTT:lla ja yliopistoissa. Kaupallisessa valmistuksessa on vasta muutama sovellus, kuten UPM:n BiofibrilsTM ja Growdex®. Ensinnäkin käsitteä selluloosamikro- ja nanofibrillituotteet, joita voidaan käyttää viskositeetin säätämiseen suspensioissa sekä barrier-materiaaleina. Growdex® puolestaan on nanoselluloosahydrogeeli, jota hyödynnetään biolääketieteessä solujen kasvatusten alustoina. Esimerkiksi Helsingin yliopiston biofarmasian laitoksessa kehitetään nanoselluloosasta kasvualustaa kantasoluille tähtäimessä ihmisen varaosien tuottaminen. [49]



**Kuva 25. Arvio nanoselluloosan globaalin tuotannon kehityksestä.**

Lähde Kangas, H., Opas selluloosananomateriaaleihin, VTT julkaisu 199, Espoo (2014). [49]  
(Luvut lähteestä Future Markets Inc. The Global Market for Nanocellulose to 2024.)

Valmistusmenetelmänsä perusteella nanoselluloosat voidaan jakaa kolmeen ryhmään, jotka ovat selluloosananofibrillit (NFC), selluloosananokiteet ja bakteeriselluloosa. Raaka-aineena voidaan käyttää puuta, kasveja tai eläinperäisiä yhdisteitä. Bakteeriselluloosa tuotetaan glukoosista bioteknisesti. Nanoselluloosien mahdollisia käyttökohteita ovat

- viskositeetin säätö maali-, paperi- elintarvike ja lääketeollisuudessa
- lujuuden säätö papereissa, kartongeissa ja komposiiteissa
- aineosana kevyissä liikennevälineiden komposiiteissa
- aineosana sotateollisuuden komposiiteissa (ballistinen lasi, läpinkyvät panssarit)
- suodatinmateriaaleina (NCF)
- hygienia tuotteiden absorbenttimateriaaleina (vaipat, terveysiteet), aerogeelien materiaalina (mm. orgaanisten epäpuhtauksien, kuten öljyn, keräys vedestä) (NCF)
- kudosisplanttien kuten verisuonien materiaalina, haavasiteiden materiaalina (bakteeriselluloosa)
- kantasolujen kasvatuksen runkona: NFC:n ja veden muodostama hydrogeeli on hyvä kasvatusalusta soluille. Siitä voidaan valmistaa myös runko kantasolujen kasvatukseen 3D-tulostuksella. Soluja voidaan kasvattaa hydrogeelissä muodostamaan rungon rakenteen mukaisia implantteja.

Helsingin yliopisto ja Aalto-yliopisto ovat yhdessä kehittäneet valmistusmenetelmän, jonka avulla voidaan tuottaa uutta selluloosaperäistä kuitua esimerkiksi vaateteollisuuden tarpeisiin. Kyseessä on loncell-menetelmä, jossa hyödynnetään ioneja liuottimia. Loncell-kuidut vastaavat lujuusominaisuuksiltaan hampua eli ne ovat hyvin vahvoja. Kuidut karstataan ja kehrätään langaksi Boråsin yliopistossa Ruotsissa. Tähän saakka tuotanto on ollut koeluontoista, mutta lähivuosina loncell-kuitu voi edetä kaupallisen mittakaavan tuotantoon. [50].

Aiemmin Suomessa valmistettiin viskoosikuitua kankaisiin ja hygienia tuotteisiin, mutta nykyään viskoosikuitua ei valmisteta. Sen sijaan maassamme on viskoosituotteiden valmistajia, kuten ViskoTeepak, jonka tuotteet liittyvät elintarvikkeiden pakkaamiseen (makkarankuoret, kalvot jne). Viskoosikuitujen raaka-ainetta liukosellua valmistaa Suomessa Stora Enson Enocell-tehdas. Liukosellu on vientituote, jonka päämarkkina-alue on Kiina.

Spinnova Oy Jyväskylässä kehittää teknologiaa, jolla puukuidusta kehrätään lankaa ilman puukuidun kemiallista pilkkomista. Se on maailman ensimmäinen menetelmä, jolla voidaan valmistaa lankaa suoraan puukuidusta. Spinnovan suunnitelmassa on kehittää pienen mittakaavan tuotantoympäristö 2–3 vuoden sisällä. Spinnovan-lanka voisi korvata puuvillan ja synteettisten kuitujen käyttöä tekstiiliteollisuudessa. [57]

Perinteiset kuitupohjaiset pakkausmateriaalit, kuten paperi ja kartonki, ovat sekä biopohjaisia että biohajoavia. Ne eivät kuitenkaan sellaisenaan tarjoa esimerkiksi elintarvikkeille suojaa vesihöyryn- tai hapenläpäisyä vastaan, vaan edellyttävät suojakalvojen liittämistä pakkausratkaisuihin. Suojakalvoja voidaan valmistaa sekä fossiilisista että biopohjaisista raaka-aineista. Pakkausmateriaalien lisäksi biopohjaisilla kalvoilla ja kuiturakenteilla on sovellusmahdollisuuksia myös mm. aero- ja hydrogeelissä sekä elektroniikassa. Esimerkkejä kehitteillä olevista biopohjaisista kalvoista on taulukossa 8.

**Taulukko 8. Esimerkkejä kehitteillä olevista biopohjaisista kalvoista.**

Kalvo ja sen raaka-aine	Kalvon ominaisuudet	Teknologian kypsyyssaste ja mitä tuotteita voisi korvata
Koivutisleestä valmistetut kalvot [51]	Sopii kalvoksi paperipohjaiseen katemateriaaliin. Maan pintaan levitettynä kate estää rikkaruohojen kasvaa, jolloin kemiallisesta rikkaruohontorjunnasta voidaan luopua. Katteen biohajoavuus mahdollistaa sen kynnön maan sisään viljelykauden jälkeen.	Tuotteistettu nimellä Agripap, joka on testivaiheessa (Stora Enso, Luke, HY, VTT). Kate on tuotannossa noin kahden vuoden sisällä ja korvaa fossiilisesta polyeteenistä valmistettua muovikalvoa.
Hemiselluloosista valmistetut kalvot (galaktoglukomaanani, ksylaani, jne) [43]	Laboratoriomittakaavan tutkimuksissa GGM-ja ksylaanikalvot osoittautunteet tehokkaiksi hapen, rasvan ja arominläpäisyn estäjiksi.	Tutkimusasteella; mahdollista käyttöä fossiilisten kalvojen korvaajina elintarvikkeiden pakkauksissa sekä pillerien kalvoina.
Selluloosanofibrilleistä (NFC) valmistetut kalvot [49]	HDPE filmin kaltaisia, eivät sähköisty, biohajoavia, painatettavia (myös älykäs painaminen elektroniikassa).	Tutkimusasteella; potentiaalisia käyttökohteita ovat elintarvikkepakkaukset, painettu elektroniikka, taipuisat näytöt, lääkeaineiden kontrolloitu annostelu.
Ligniiniikalvot [43]	Rasvahapoilla esteröidystä ligniinistä valmistettu kosteutta ja hapetta eristäviä kalvoja.	Tutkimusasteella; mahdollista käyttöä fossiilisten raaka-aineiden korvaajina mm. elintarvikkeiden pakkauksissa.



## H. LÄÄKEAINEET, DESINFIOINTI- JA PUHDISTUSAINEET

Biopohjaiset lääkeaineet voidaan jakaa kahteen ryhmään, jotka ovat biologiset lääkkeet ja erilaiset luonnosta eristettävät aineet.

Biologinen lääke tarkoittaa valmistetta, joka sisältää elävien solujen tuottamaa materiaalia, yleensä valkuaisainetta. Biologista lääkettä voidaan tuottaa bioteknologian avulla eri isäntäorganismeissa. Näitä voivat olla esimerkiksi bakteerit, hiivat ja nisäkäs- ja hyönteissolut. Globaalisti noin viidennes markkinoilla olevista lääkkeistä ja suuri osa vitamiineista tuotetaan bioteknisesti. Noin kolmannes kehitteillä olevista lääkkeistä on biologisia. Ennusteiden mukaan geenitestaukseen perustuva yksilöllinen lääketiede yleistyy lähitulevaisuudessa, mikä lisää bioteknologian painoarvoa lääketieteessä.

Biologisia lääkkeitä käytetään tällä hetkellä etenkin nivelreuman, muiden tulehduksellisten reumasairauksien, psoriasiksen, kroonisten suolistosairauksien ja syöpätautien hoitoon. Yksi niiden haittoista on se, että lääke pilaantuu helposti sekä valmistuksen että käytön aikana. Turvallisuuden kannalta on tärkeää tarkkailla jatkuvasti raaka-aineiden hankintaa, valmistusta, jakelua ja säilytystä. Toinen huomattava seikka on, että usein biologiset lääkeaineet ovat proteiineja ja siksi huomattavasti suurikokoisempia ja rakenteellisesti monimutkaisempia kuin tavanomaiset lääkeaineet.

Biologiset lääkkeet ovat yleensä rakenteeltaan proteiineja, minkä vuoksi niitä ei voida annostella suun kautta tabletti- tai kapselimuodossa, vaan ne annostellaan injektioina laskimoon tai ihon alle tai joissakin tapauksissa inhaloidaan hengityselimistön kautta. Proteiinipohjaisia lääkkeitä, kuten insuliinia tai kasvuhormonia, on ennen bioteknologian kehittymistä saatu lääkekäyttöön eristämällä niitä jostakin sopivasta lähteestä. Esimerkiksi insuliinia on eristetty teurastamojätteen seasta porsaiden haimoista, ja kasvuhormonia kerätty kuoilleiden ihmisten aivoja preparoimalla. Tällaisiin menetelmiin liittyy kuitenkin useita ongelmia.

Geenitekniikan kehittyminen on mullistanut biologisten lääkkeiden tuotannon, sillä geenitekniikan avulla voidaan tuottaa kontrolloiduissa olosuhteissa suuria määriä ihmisperäisiä proteiineja. Ideana on, että tuotettavaa proteiinia koodaava geeni siirretään sopivaan tuottajaorganismiin, jota kasvatetaan laboratorio-olosuhteissa. Tyypillisiä tuottajaorganismeja ovat *Escherichia coli* -bakteeri, leivinihiiva (*Saccharomyces cerevisiae*) sekä erilaiset viljelminä kasvavat nisäkässolulinjat. Tuottajaorganismien kasvaessa viljelmässä se tuottaa siirtogeenin koodaamaa proteiinia, joka voidaan eristää ja puhdistaa suoraan viljelmästä.

Suomeen on syntynyt 1990-luvun loppupuolelta lähtien useita lähinnä terveydenhoitoon, kuten diagnostiikkaan ja lääkekehitykseen erikoistuneita biotekniikkaa hyödyntäviä start-up yrityksiä. Monet niistä pohjautuivat yliopistoissa tehtyyn biolääketieteelliseen tutkimukseen. Tällaisia yrityksiä ovat esimerkiksi Biotie Therapies Oy, Forendo Pharma Oy, Herantis Pharma Oy ja FIT Biotech. [53]

Ennen synteettisen kemian kehittymistä kaikki lääkkeet saatiin luonnosta joko suoraan tai esimerkiksi uuttamalla, jauhamalla tai kuivaamalla. Fytoterapiassa eli kasvilääkinnässä käytetään yleensä mietoja rohdoskasveja tai niiden osia kokonaisina. Esimerkiksi valkosipulilla, inkiväärillä, pakurikävällä, mustikalla ja mintulla on tutkitusti terveydellisiä vaikutuksia (taulukko 9). [52]

Taulukko 9. *Esimerkkejä kasvien ja luonnonaineiden terveydellisistä vaikutuksista.*

Kasvi tai muu luonnonaine	Esiintyminen/kasvatus Suomessa	Terveydelliset vaikutukset ja käyttö
Hunaja	Mehiläiset valmistavat hunajaa kukkien medestä tai kirvojen mesikasteesta.	Hunaja sisältää yli 200 biologisesti aktiivista ainetta, kuten vitamiineja, mineraaleja, entsyymejä ja aminohappoja. Hunajaa voidaan käyttää mm. haavojen hoidossa (teho perustuu mm antibakteerisuuteen ja vetyperoksidin tuotantoon) ja flunssan hoidossa (vaikuttaa mm. joihinkin flunssan jälkitauteja aiheuttaviin bakteereihin).
Mintut	Suomessa kasvavat pipar-, kähärä-, viher- ja kissanminttu.	Piparmintulla on todettu mm antiviraalisia vaikutuksia ja sen on osoitettu toimivan myös jonkin asteisena kipulääkkeenä ja puudutusaineena.
Mustikka	Mustikan kasvualue kattaa koko Suomen. Satoa tulee vuosittain yli 160 miljoonaa kiloa, josta vain muutama prosentti poimitaan.	Mustikat sisältävät antosyaaneja, joiden käytön on todettu pienentävän mm. sydän- ja verisuonisairauksien, silmäsairauksien, ja syövän riskiä. Mustikoiden sisältämät flavonoidit ja tanniinit toimivat antioksidanteina, joille on tyypillistä vähentää tulehduksia.
Inkivääri	Inkivääri menestyy suosijaisissa paikassa puutarhassa tai parvekkeella Etelä-Suomessa	Inkivääri sisältää monia ainesosia, kuten kapsaisiinia, beta-karoteenia, kurkumiinia, salisylaattia ja kaffeinihappoa, jotka vähentävät kipua ja tulehdusta. Inkivääriä käytetään myös mm. reuman tukihoitona ja erilaisiin vatsavaivoihin (mm. matkapahoinvointi).
Koivun mahla	Koivu tuottaa keväisin mahlaa keskimäärin viisi litraa vuorokaudessa (haasteena mahan huono säilyvyys)	Mahla sisältää muun muassa ksylytolia, proteiineja, aminohappoja, vitamiineja ja mineraaleja. Ksylytolin terveysvaikutukset on osoitettu kliinisesti, muiden mahan ainesosien kliininen tutkimus vähäisempää, todennäköisiä vaikutuksia maksan ja munuaisten terveyteen ja ihottumiin sekä akneen.
Pakurikääpä	Pakurikääpä on Suomessa yleinen koivun ja eräiden muiden lehtipuiden lahotajasieni (tutkimuksen kohteena pakurin viljely).	Pakurikääpä sisältää lukuisia terveydelle hyviä ainesosia, mm. betuliinia, flosteroleja, beetaglukaaneita, lanostanoidi tripenoideja, melaniinia ja germaniumia. Käytetään mm. teenä tai alkoholiuutteina. Laboratorio-olosuhteissa ainesosat ovat tuhonneet influenssa A- ja B-viruksia sekä erilaisia syöpäsoluja (kliinisiä tutkimuksia ei ole tehty)



Pihka	Havupuista voidaan valutamalla kerätä pihkaa. Myös teollisista mäntyöljytislaamoista saadaan yhtenä tuotteena pihkamaista pikeä.	Pihka on eteeristen öljyjen ja hartsien seos. Sillä on antimikrobisia vaikutuksia ja sitä käytetään mm. haavojen hoidossa. Pihka käytetty antimikrobisesti myös hankalasti hoidettuja sairaalabakteereja, kuten MRSA:ta ja VRE:tä kohtaan. Suomen rehu hyödyntää mäntyöljystä jalostettuja pihka-ainesia siipikarjan rehussa.
Valkosipuli	Tärkeimpiä valkosipulin tuottajamaita ovat Kiina, Korea, Intia ja Espanja, pienimuotoista viljelyä myös Suomessa, mutta sato jää usein huonoksi.	Yksi terveysvaikutteisista yhdisteistä on rikkipitoinen alliini-aminohappo, joka muuttuu allinaasi-entsyymin vaikutuksesta allisiiniksi. Allisiinilla on kyky estää bakteereiden, hiivojen, sienten ja virusten lisääntymistä (luonnon antibiootti). Valkosipuli sisältää myös mm. sitraalia, geraniolia, linaloolia, alfa- ja beta-fellandriinia, fosfolipidejä, flavonoideja, fenoleja, glutationia, B-vitamiineja, folaattia ja kaliumia. Todennäköistä on, että valkosipuli heikentää mahahaavaa ja -syöpää aiheuttavan helikobakteerityypin kasvua ja että se vahvistaa ihmisen omia puolustusmekanismeja (ei kuitenkaan kliinisesti todistettu).

Kasveista voidaan myös erottaa aktiivisia yhdisteitä. Esimerkiksi oopiumiunikon maitiaisneste sisältää muun muassa oopiumia, morfiinia ja kodeiinia. Myös hampun luontainen kannabinoidipitoisuus on tunnettu vuosisatoja ympäri maailmaa. Hampun pääasiallinen psykoaktiivinen yhdiste on tetrahydrokannabinoli, mutta siitä on myös eristetty noin 60 muuta kannabinoidia, joista suurin osa ei ole päihdyttäviä.

Koivun kuori ja tuohi sisältävät runsaasti, jopa 30 % kuivapainostaan, betuliini nimistä triterpeeniä. Betuliinin eristämistä kuoresta ja potentiaalisia käyttökohteita on tutkittu Suomessa aktiivisesti, mm. VTT:llä. Betuliinia voidaan käyttää sellaisenaan tai lähtöaineena muille tuotteille, erikoiskemikaaleille ja lääkeaineille. [44]

Betuliini on aseptinen, mikrobeja tappava aine. Käynnissä on tutkimuksia betuliinin hyödyntämistä mm. syövän hoidossa, bakteerien ja sienitautien torjunnassa ja tulehduslääkkeenä. Esimerkiksi HIV-virusta vastaan on kehitetty lupaavia betuliinipohjaisia lääkeaihoita. Betuliinin on osoitettu alentavan veren kolesterolitasoa kolesterolilääkkeiden veroisesti. Betuliinia on tiivistyneessä muodossa koivun rungolla kasvavassa pakurikäävässä. Laboratorio-olosuhteissa käävän betuliinilla on todettu syövältä suojaava vaikutus. Saksalainen Birken AG on patentoinut menetelmän betuliinin erottamiseksi koivun tuohesta ja valmistaa sitä sisältäviä emulsiovoiteita. [44]

Luonnonvarakeskuksen tutkijat ja Tampereen yliopiston lääketieteen tutkijat ovat löytäneet lupaavia lääkeaihoita suomännyn juurisienistä ja rungon sisäoksista. Endofyyttisienestä voi löytyä apu silmänpohjan ikärappeuman hoitoon. Kyseisestä sieniuutteesta voi olla apua myös tulehdusperäisen nivelrikon ja nivelreuman hoidossa.

Myös hyönteisiä voidaan hyödyntää terveydenhuollossa. Esimerkiksi kärpäsen toukkien käyttö haavanhoidossa on uudelleen keksitty ikivanha menetelmä. Steriilisti viljeltyt kärpäsen toukat pakataan hoitopusseihin, joiden annetaan olla haavassa 2–3 päivää. Sinä aikana toukkien tuottamat proteolyttiset entsyymit hajottavat nekroottista kudosta ja bakteereita mutta eivät vahingoita tervettä kudosta.

Jos biotalous käsitetään laajasti, myös ilmakehä voidaan lukea sen raaka-ainevarastoksi, sillä ilmakehän aineet ovat osallisina typen, hapen ja hiilen kierrossa. Lääkkeellisillä kaasuilla tarkoitetaan lääkkeeksi luokiteltavaa kaasua tai kaasuseosta, jonka käyttö perustuu farmakologiseen vaikutukseen, ja joka on tarkoitettu annosteltavaksi potilaalle terapeuttiseen, diagnostiseen tai profylaktiseen tarkoitukseen. Tärkeimmät lääkekaasut ovat happi ja dityppioksidi eli ilokaasu. Happea valmistetaan teollisesti pääasiassa ilmasta tislamalla, ja ilokaasua kuumentamalla ammoniumnitraattia. Happea saadaan myös toisena tuotteena valmistettaessa vetyä vedestä elektrolyyttisesti (Woikoski, Kokkola). Ruoan säilyvyyttä parantavana suojaakaasuna elintarviketeollisuudessa yleisesti käytettävää tyyppiä saadaan niin ikään ilmasta tislamalla.

Desinfointiaineet ovat huoltovarmuuden kannalta keskeinen aineryhmä. Desinfointi on menetelmä, jossa mikrobeja tuhoetaan elottomasta materiaalista kemiallisilla menetelmillä tartunnan estämiseksi. Modernissa yhteiskunnassa desinfioinnin kohteita on lukuisia, mm. osa maatalouden ja elintarviketeollisuuden laitteista ja koneista, kirurgiset välineet, saniteetitilat sekä talousvesi. Kun mikrobeja tuhoetaan ihmisen tai eläimen iholta, puhutaan antiseptikasta.

Desinfiointiaineina käytetään muun muassa etanolia, klooriyhdisteitä, otsonia, vetyperoksidia, perhappoja, kvarternäärisiä ammoniumyhdisteitä ja fenolijohdannaisia. Esimerkiksi peretikkahappoa käytetään desinfointiin ja sterilointiin elintarvike- ja muussa prosessiteollisuudessa, maataloudessa ja terveydenhuollossa. Teollisessa mittakaavassa peretikkahappoa valmistetaan asetaldehyydin auto-oksidaatiolla hapen avulla. Asetaldehydiä on mahdollista valmistaa bioetanolista. Vetyperoksidia valmistetaan yleensä vedystä ja hapestä 2-etyyliantirakiniini-katalyytillä niin sanotussa Riedl-Pfleiderer-prosessissa. Vetyperoksidi on voimakas ja ympäristöystävällinen hapetin, jota käytetään esimerkiksi jäteveden käsittelyssä, desinfointiaineena lääketeollisuudessa ja elintarviketeollisuudessa, puhdistusliuoksissa sekä haavojen desinfioinnissa. Vetyperoksidin valkaisu- ja desinfiointikyky perustuu sen hajoamisreaktiossa muodostuvaan erittäin reaktiiviseen happeseen.

Biopohjaisia puhdistusaineita on käytetty vuosisatoja. Esimerkiksi saippua on kemialliselta koostukseltaan rasvahappojen natrium- tai kaliumsuolaa, jota perinteisesti tehdään luonnon rasvoista tai öljyistä keittämällä niitä emästen (kuten natriumhydroksidin) kanssa 80–100 °C:n lämpötilassa. Ennen vanhaan emäksenä käytettiin potaskaa, jota saatiin tuhkaamalla lehtipuita tai esimerkiksi saniaisten lehtiä. Perinteinen, edelleen käytössä oleva suomalainen pesuaine on mäntysuopa. Suovan perusraaka-aine on mäntyöljy, jota tuotetaan sellunkeiton sivutuotteena, ja päävalmistaja Henkel Norden, joka tuottaa myös mäntyöljykalipohjaista tolu-yleispuhdistusainetta. Solmaster Oy valmistaa teollisuuskäyttöön kasviöljypohjaisia käsienpesuaineita, jotka puhdistavat öljyä, rasvoja ja nokea.

Saippuat ja suovat ovat esimerkkejä tensidistä eli pinta-aktiivisista aineista. Lähes kaikissa pesuaineissa on jonkun tyyppisiä tensideja, sillä ne alentavat veden pintajännitystä, parantavat veden kostutuskykyä sekä irrottavat ja pilkkovat likaa. Tensidien pesuvaikutusta voidaan tehostaa myös entsyymeillä tai mikrobeilla (mm. ureaa tuhoavat mikrobit). Myös erilaisia biopohjaisia happoja

hyödynnetään pesuaineina. Esimerkiksi tavallista etikkaa eli etikkahapon vesiliuosta käytetään teräsastioiden, ikkunoiden ja kaakelien pesuun.

Tensidien raaka-aineena voidaan käyttää monenlaisia synteettisiä raaka-aineita luonnon rasvojen ja öljyjen sijasta tai vaikkapa pitkän hiilivetyketjun sisältäviä alkoholeja. Aktiivisen tutkimuksen kohteena ovat myös biopinta-aktiiviset aineet, joilla tarkoitetaan elävien solujen tuottamia tensidejä. Monet hiivat ja bakteerit voidaan saada tuottamaan tensideja, joiden käyttöä tutkitaan paitsi pesuaineissa myös mm. kasvinsuojeluaineissa, kosmetiikassa, pilaantuneiden maa-alueiden puhdistuksessa sekä sellu-, paperi- ja tekstiiliteollisuudessa.



## 6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Selvityksen ydinkysymykseen on tulosten perusteella helppo vastata: biotalouden kehittyminen tulee parantamaan kemian poolin alueen huoltovarmuutta monella tavalla. Riippuvuus fossiilisista raaka-aineista vähenee sekä energian tuottamisen että kemian tuotteiden osalta. Raaka-aineiden lisäksi muutoksia tapahtuu toiminnan tavoissa: syntyy uudenlaista osaajien yhteistyötä, osaamisten yhdistelyä ja ekosysteemejä, mikä luo uusia arvoverkostoja ja myös osaltaan parantaa huoltovarmuutta. Ympäristöön, luonnonvarojen riittävyteen ja talouteen liittyvien tekijöiden ohella huoltovarmuuden parantamista voidaan pitää jopa yhtenä biotalouden ajureista.

Kotimaisten biomassojen hyödyntämisen lisäksi on tärkeää turvata tuontibioraaka-aineiden saatavuus. Bioperäisten raaka-aineiden käyttö ylipäättään vähentää riippuvuutta fossiilisista lähteistä, ja edistää kemianteollisuuden uudistumista. Tuontiraaka-aineiden käyttö voi joillain tuotannon aloilla olla ainoa tapa kasvaa globaalisti tärkeäksi toimijaksi. Osa kemianteollisuuden biopohjaisista raaka-aineista, kuten liiste-reissä käytettävä tärkkelys ja valimohartseissa käytettävä furfuryylialkoholi ostetaan ulkomailta. Kriisitilanteessa olisi kuitenkin mahdollista enenevästi hyödyntää kotimaan tuotantoa ja tuotantovalmiutta.

Kemian etuja on, että tiettyjen peruskemikaalien avulla pystytään tuottamaan suuri kirjo erilaisia muita kemikaaleja. Kriisitilanteessa sellutehtaat pystyttäisiin modifioimaan ja peruskemikaalien tuotanto käynnistämään arvioiden mukaan noin kuuden kuukauden sisällä. Myös osalla biopoltto-aineiden valmistajista on osaamista (mm. Fischer-Tropsch, metanolisynteesi) ja laitteistovalmiutta esimerkiksi vedyn, metanolin ja hiilivetyjen tuotannon käynnistämiseen puuhakkeesta.

Huoltovarmuuden kannalta on keskeistä, että Suomen biotaloutta kehitetään kokonaisuutena. Vaikka yksi Suomen suurimmista haasteista on energian saannin turvaaminen, biotaloudessa on energian tuottamisen lisäksi huomioitava myös muut tuotteet. Suomen kaltaisen maan on panostettava erityisesti korkean lisäarvon tuottavaan biojalostukseen.

Keskeisiä toimenpiteitä biotalouden kehittämisessä ovat

1. Luonnonvara-, jäte-, kemikaali- sekä energia- ja ilmastopolitiikan koordinointi holistisesti
2. Biotalousaine- ja energiavirtojen arviointi kokonaisuutena sekä resurssitehokkuuden kehittäminen
3. Digitaalisten tietoverkkojen, alustojen ja mallien kehittäminen ja hyödyntäminen
4. Monipuolisuuteen, korkeaan teknologiaan ja tuotantoprosessien joustavuuteen panostaminen
5. Paikallisen jalostuksen edistäminen keskitettyjen biojalostamojen rinnalla ja yhteistyökumppaneina.
6. Kansalaisten aktivoiminen bio- ja kiertotalouden kehittämiseen
7. Bio- ja kiertotalouteen liittyvän yhteistyön kehittäminen erityisesti niiden maiden kanssa, joiden kanssa tehdään yhteistyötä myös maanpuolustuksessa

Biotalousvirrat ovat toisistaan riippuvaisia ja yksittäisten potentiaalien laskemisen lisäksi olisi keskeistä selvittää ja saada kartalle virtojen kokonaisuus. Holistisuus ja asioiden välisten yhteyksien hahmottaminen ovat edellytyksiä sille, että pystytään optimoimaan biomassojen käyttö kestävästi ruoan, energian ja erilaisten tuotteiden valmistuksessa. Resurssitehokkuuden ja aine- ja energiavirtojen käyttökohteiden optimoinnin merkitys korostuu etenkin kriisitilanteissa.



Huoltovarmuuden näkökulmasta on tärkeää tietää, missä resurssit ja osaaminen sijaitsevat ja kuinka paljon niitä on, jos jonkin poikkeustilanteen vuoksi pitäisi arvioida riittävyyttä ja/tai ottaa käyttöön korvaavia materiaaleja ja energialähteitä. Biomassavarannoista ollaan maa- ja metsätalousministeriön vetämässä Biomassa-atlas-hankkeessa luomassa paikkatietoon pohjautuvaa tietopankkia biomassojen hyödyntäjien käyttöön. Biotalous kehittyminen vauhdittuisi, jos sen lukuisat eri toimijat ja hankkeet saataisiin entistä tiiviimmin liimattua yhteen ja kokonaisuus hahmotettaisiin ”yhteisellä kartalla”. Ensimmäinen askel voisi olla tuotannon, toimijoiden, hankkeiden, selvitysten, tutkimusten ja alueellisten strategioiden kokoaminen yhteen [biotalous.fi](http://biotalous.fi) -sivustolle.

Metsäbiomassojen lisäksi Suomessa on suhteellisen paljon myös esimerkiksi peltobiomassoja ja erilaisia bioperäisiä jätteitä. Pienen maan on valittava fokusalueita, mutta toisaalta lisääntyvän ennakoinnattomuuden vuoksi on varauduttava erilaisiin tulevaisuuksiin ja kyettävä toimimaan joustavasti. Parhaimmillaan biojalostamojen raaka-ainepohja on laaja ja ne kykenevät tuottamaan kirjon erilaisia tuotteita, joiden osuuksia pystytään vaihtelemaan tarpeen mukaan. Teollinen biotekniikka on Euroopan kemianteollisuudessa vallannut alaa viime vuosina, ja se tarjoaa paljon mahdollisuuksia myös Suomen kemianteollisuudelle.

Biotalous kehittäminen on tärkeää saada mukaan suuria ja pieniä toimijoita sekä luoda yhteistyötä erikokoisten toimijoiden välille. Hajautetun jalostuksen etuja huoltovarmuuden kannalta ovat muun muassa biomassojen kuljetukseen käytettävän energian minimoituminen sekä se,

että hajautetun toiminnan haavoittuvuus häiriötilanteissa on pienempi kuin keskitetyn, jossa yksi toimintahäiriö voi pysäyttää suurten erien tuotannon. Paikallisesti kehitetyt toimintamallit ovat usein monistettavissa muillekin alueille, ja näin voidaan saada jalostuksen tuotantomäärät merkittäviksi kriisitilanteissa.

Noin kolmasosa Suomessa toimivista kemianalan yrityksistä hyödyntää uusiutuvia raaka-aineita. Kemianteollisuuden toimijat ovat mukana biomassojen koko kierrossa alkaen biomassojen kasvatukseen tarvittavien lannoitteiden valmistamisesta aina biojätteen jalostamiseen. Tuotantomääriltään suurimpia Suomessa kemian prosesseilla tällä hetkellä valmistettavia biojalosteita ovat biopolttoaineet, mäntyöljy- ja tärkkelysjalosteet, karboksimeetyyliseluloosa, ksylitoli, teollisuusentsyymit, betaiini, sellu ja tärpähti. Materiaalien tuotannossa kumituotteet ovat merkittävä ryhmä, ja nousevia aloja ovat esimerkiksi erilaiset komposiitit ja kuitutuotteet.

Monia uusia ratkaisuja ja prosesseja on kehitteillä, jotka toteutuessaan muuttavat koko toimialaa. Tehdasinvestointeja Suomessa ovat jonkin verran hidastaneet yleinen talouden epävarmuus, öljyn alhainen hinta, tempoileva ja monimutkainen sääntely sekä raaka-aineen saatavuuteen liittyvät epävarmuustekijät. Huoltovarmuuden kannalta on merkittävää, mihin maahan yritykset sijoittavat uutta tuotantoa. On myös huomattava, että osa kemian tuotteista kuten vedenpuhdistuksen kemikaalit, lannoitteet, tietyt hapot, emäkset, katalyytit sekä ioninvaihtohartsit ja vetykaasu, eivät välttämättä ole itsessään biopohjaisia, mutta ne ovat silti biotalouden kehittämisessä kriittisessä roolissa, koska niitä tarvitaan biomassojen jalostuksessa tai kasvatuksessa.

Biotalous on voimakkaassa kehitysvaiheessa: suurin osa biotalouden potentiaalista kemian alalla ei ole vielä toteutunut. Myös toimialojen rajat hälvenevät, sillä esimerkiksi kemian-, metsä- ja energiateollisuus hyödyntävät jo nyt osin samoja raaka-ainevirtoja ja valmistavat sekä kehittävät tuotteita samoille markkinoille. Suomessa on vireillä kolme uutta sellutehdashanketta (Äänekoski, Kuopio, Kemi), jotka kaikki tähtäävät monipuolisempaan biotuotteiden kirjoon kuin perinteiset sellutehtaat.

Kemianteollisuus ei seuraavan vuosikymmenen aikana muutu sataprosenttisesti biopohjaiseksi vaan todellisuutta on fossiili-, mineraali- ja biotalouden rinnakkaiselo. Kaikki merkit viittaavat kuitenkin siihen, että bioperäisten raaka-aineiden ja bioteknologisten menetelmien osuus kasvaa jo lähivuosina. Biotalous on tärkeä osa laajaa kehitysmässä olevaa kiertotalouden kokonaisuutta, jossa kaikki aine- ja energiavirrat, sekä uusiutuvat että uusiutumattomat, pyritään hyödyntämään mahdollisimman kestävästi ja älykkäästi.

# Lähteet

## Kirjallisuus

1. Suomi kestävän luonnonvaratalouden edelläkävijäksi 2050. Valtionneuvoston luonnonvaraselonteon ”Älykäs ja vastuullinen luonnonvaratalous” linjausten päivitys eduskunnalle 2014. TEM julkaisuja 24 (2014)
2. Häkkinen, E.-L., Merilehto, K. ja Salmenperä, H. Valtakunnallisen jätesuunnitelman seurannan 2. väliraportti. Ympäristöministeriön raportteja 6 (2014). <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/43010>
3. Kestävää kasvua materiaalitehokkuudella. Työ- ja elinkeinoministeriön sekä ympäristöministeriön asettaman työryhmän ehdotus, TEM julkaisuja 33 (2013).
4. Metsätalastollinen vuosikirja 2013, Metla, luku 9 Energia [http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2013/vsk13\\_09.pdf](http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2013/vsk13_09.pdf)
5. Lehtonen, E., Anttila, P., Haapanen, A., Huopana, T., Joensuu, I., Juntunen, R., Kolehmainen, M., Kymenvaara, M., Lehtinen, H., Leskinen, P., Lilja-Rothsten, S., Merilehto, K., Myllymaa, T., Myllyviita, T., Nousiainen, R., Rasi, S., Sikanen, L., Stocker, M. ja Valpola, S., Biomassa-atlas, biomassojen kestävän käytön työväline: esiselvityksen loppuraportti, MTT raportti 176 (2014).
6. Hemptrefine Oy: <http://www.hemptrefine.fi/>
7. Fortum Oy: <http://www.fortum.com/fi/energiantuotanto/aaltovoima/pages/default.aspx>
8. Lunkka-Hytönen, M., Lohtander-Buckbee, K. ja Ruohonen-Lehto, M., Biotekniikan neuvottelukunta, Biotekniikan mahdollisuuksia ja sovelluksia, tapaustutkimus levistä, BTNK julkaisuja 5, Helsinki (2013).
9. Ritala, A., Koivistoinen, O., Jäntti, J., Ahteensuu, M. ja Ruohonen-Lehto, M., Biotekniikan neuvottelukunta, Synteettinen biologia, BTNK julkaisuja 6, Helsinki (2013).
10. Kiertotalouden mahdollisuudet Suomelle, Sitran selvityksiä 84 (2014). Työryhmä: Jyri Arponen (Sitra), Anna Granskog (McKinsey), Mari Pantsar-Kallio (Sitra), Martin Stuchtey (McKinsey), Antti Törmänen (McKinsey), Helga Vanthournout (McKinsey).
11. Naturvention Oy: <http://www.naturvention.com/fi/>
12. Plantui Oy Uusiutuutisissa: <http://www.tekes.fi/globalassets/global/ohjelmat-ja-palvelut/ohjelmat/green-growth/aineistot/juttuja-mediassa/gg-day---uusiutuutiset-2-2015.pdf>
13. Kestävää kasvua biotaloudesta, Suomen biotalousstrategia, TEM, MMM, YM, Edita (2014).
14. Rautavirta, M. ja Jääskeläinen S. (siht.), Tulevaisuuden käyttövoimat liikenteessä, työryhmän loppuraportti, Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 15/ 2013.
15. Clark, J and Deswarte, F., (Eds.), Introduction to Chemicals from biomass, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Singapore (2015).
16. Huttunen, M.J. ja Kuittinen, V., Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17, Reports and Studies in Natural Sciences n:o 19, Itä-Suomen yliopisto, Joensuu (2014).
17. Audipek Oy, Motiva Oy ja Luostarinen, J., Metener Oy, Biokaasun tuotanto maatilalla, opas. Motiva Oy (2013).
18. Seppälä, A., Kässi, P., Lehtonen H., Aro-Heinilä E., Niemeläinen, O., Lehtonen E., Höhn J., Salo T., Keskitalo M., Nysand M., Winqvist E., Luostarinen S. ja Paavola, T., Nurmesta biokaasua liikennepolttoaineeksi, Bionurmi-hankkeen loppuraportti, MTT raportti 151, Jokioinen (2014).
19. Kahiluoto, H. ja Kuisma, M (toim.), Elintarvikeketjun jätteet ja sivuvirrat energiaksi ja lannoitteiksi. Jalojäte tutkimushankkeen synteisiraportti, MTT Kasvu-sarjan raportti n:o 12 (2010).
20. Huopana, T., Song H., Kolehmainen, M. ja Niska H., A regional model for sustainable biogas electricity production: A case study from a Finnish province.; Applied Energy 102 (2013) 676-686.

21. Kitti, L., Ovaska, U. ja Wuori, O. (toim.), Vihreän talouden toimintamalli, tapaustutkimus Sodankylästä, MTT raportteja 168 (2014).
22. Lassi, U ja Wikman, B. (toim.), Biomassan kaasutus sähköksi, lämmöksi ja biopolttoaineiksi, HighBio-projektijulkaisu, Jyväskylän yliopisto, Kokkola yliopistokeskus Chydenius, Kokkola (2011).
23. Lassi, U, Lempiäinen, H. ja Wikman, B. (eds.), Biomass to Energy and Chemicals, HighBio 2 Project Publication, University of Jyväskylä, Kokkola University Consortium Chydenius, Kokkola (2013).
24. Tuuttila, T., Biomassan kaasutuksessa muodostuvan synteetikaasun katalyyttinen konvertointi kevyiksi olefiineiksi (C2-C4), Selvitys, Kokkolan yliopistokeskus Chydenius (2010).
25. Tuuttila, T., Alkoholipolttoaineiden valmistus katalyyttisesti teollisista sivuvirroista, Selvitys, Kokkolan yliopistokeskus Chydenius (2010).
26. Siitonen, J., Biomassan nesteytys synteetikaasumenetelmällä, aine- ja energiataseet, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, LUT kemia, Kandidaatintyö (2010).
27. Luukkanen, S., Mustalipeän kaasutus, kandidaatintyö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto (2010).
28. Flyktman, M, Kärki, J., Hurskainen, M., Helynen, S. ja Sipilä, K., Kivihiilen korvaaminen biomassoilla yhteistuotannon pölypolttokaltiloissa, VTT tiedotteita 2595 (2011).
29. Pohjakallio, M, Suomen kemianteollisuus ja biotalous -selvityksen päätulokset, Kemianteollisuus ry (2013) <http://www.kemianteollisuus.fi/fi/tietoa-alasta/biotalous/kemianteollisuus-ja-biotalous/>
30. Hukkinen, L., EU:n energiaturvallisuus. Kriisitilanteiden vaikutus Euroopan unionin energiaturvallisuuteen ja energiapolitiikkaan, harjoitustyö, Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Energiateollisuus ry:n julkaisuja (2014).
31. Motiva Oy: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/bioenergian\\_kaytto](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_kaytto)
32. Puolet suomalaista, Bioenergiayhdistys ry:n esimerkinomainen skenaario ja Gaia Consulting selvitys (2015) <http://www.epressi.com/media/userfiles/37658/1426667606/puolet-suomalaista-bioenergia-ryn-skenaario.pdf> [http://www.epressi.com/media/userfiles/37658/1426667606/lehdistolle\\_metsahakkeen-energiakayton-alue-ja-kansantaloudelliset-vaikutukset\\_17032015.pdf](http://www.epressi.com/media/userfiles/37658/1426667606/lehdistolle_metsahakkeen-energiakayton-alue-ja-kansantaloudelliset-vaikutukset_17032015.pdf)
33. Patronen, J. (Pöyry Oy), Uusiutuvan energiakäytön lisäämisen vaikutus öljy- ja maakaasusektorin huoltovarmuuteen, Selvitys., Huoltovarmuusorganisaation öljypooli, Öljyalan keskusliitto, Huoltovarmuuskeskus (2013).
34. Kauranen, P., Solin J., Törrönen, K., Koivula J. ja Laurikko J., Vetytielkartta- vetyenergian mahdollisuudet Suomelle, VTT raportti VTT-R-02257-13, Espoo (2013).
35. Knuuttila, M, Vatanen, E., Jansik, C., ja Niemi, J., Elintarviketuotannon ja elintarvikemarkkinoiden riippuvuus tuonnista, MTT raportti 61 (2012).
36. Känkänen, H., Suokannas, A., Tiilikkala, K. ja Nykänen A., Biologinen typensidonta fossiilisen energian säästäjänä, MTT raportti 76 (2012).
37. Normilanta-hanke: <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/hankkeet/normilanta>
38. Matilainen, M., Pisto, S., Rinnepelto, P ja Kinnunen N., Metsäteollisuuden ravinteet, Metsäteollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen lannoitevalmisteina, Apila Group Oy, Joensuu (2014).
39. Tiilikkala, K. ja Segerstedt, M., (toim.), Koivutisle - kasvinsuojelun uusi innovaatio, MTT raportteja 143, Jokioinen (2010).
40. Future Biorefinery Joint Research 2, Programme Report 2011-2014, Finnish Bioeconomy Cluster FIBIC (2014).
41. Sankari, H., Pellolla viljeltävän non food -raaka-aineen saatavuus, laatu ja hyödyntäminen kemian teollisuuden tarpeisiin kriisitilanteissa. Tuotannon ja jalostuksen mahdollisuudet Suomessa, MTT tiedote 13 (1995).
42. Ollikainen, I., Hemiselluloosan erotus sulfaattisellutehtaalla, Kandidaatintyö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto (2013).
43. Harlin, A., Quintus, P., Poppius-Levlin, K., Nättinen, K., Heikkilä, P. ja Vähä-Nissi, M., , Research highlights in industrial biomaterials 2009-2012, VTT Research highlights 5 (2013).



44. Alakurtti, S., Synthesis of betulin derivatives against intracellular pathogens, Doctoral thesis. VTT publications, Dissertation 39 (2013).
45. Lignaani (Holmbom, B. ja Eckerman, C.): [http://www.kemia-lehti.fi/wp-content/uploads/2013/03/kem408\\_kuusi.pdf](http://www.kemia-lehti.fi/wp-content/uploads/2013/03/kem408_kuusi.pdf)
46. Hokkanen, S., Modified nano- and microcellulose based adsorption materials in water treatment, väitöskirja, Lappeenranta teknillinen yliopisto (2014).
47. Rengasrouhe vedenpuhdistuksessa: <http://www.uusiouutiset.fi/UU315rengasrouhe.pdf>
48. Bhatnagar, A ja Sillanpää, M., Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment – A review, Chemical Engineering Journal, Volume 157, Issues 2–3, p 277-296 (2010).
49. Kangas, H., Opas selluloosanomateriaaleihin, VTT julkaisuja 199, Espoo (2014).
50. Future Biorefineries, Products from Dissolved Cellulose, FuBio Cellulose Programme Report 2011-2014, Finnish Bioeconomy Cluster FIBIC (2013)
51. Agripap-viljelykate: <http://www.uusipuu.fi/ratkaisu/biohajoava-viljelykate-on-ymparistoystavallinen-vaihto-eto-muovi>
52. Sankelo, T. ja Siivari J, Bioteollisuuteen soveltuvia Lapin erikoiskasveja, Luonnosta teolliseen tuotantoon -hanke, MTT Rovaniemen tutkimusasema (2001-1003).
53. Lääketeollisuus biotaloudessa: <http://www.biotalous.fi/laaketeollisuus-on-osa-biotalous/>
54. Peatec Oy: <http://www.uusiouutiset.fi/UU314renkaat.pdf>
55. Biohiilen käyttö maataloudessa.: <http://www.ilmase.fi/site/alueelliset-esimerkit/biohiili-lisatiestia-maaseutuyrittajalle-ja-ymparistovaikutusten-kestavampaa-hallintaa-2/>
56. Thomas, D., Reinikainen, M., Hienokemia tarvitsee biopohjaisia aromaatteja., VTT-impulssi 1/2015.
57. Spinnova Oy: <http://www.paperijapuu.fi/lankaa-sellusta/>

## Asiantuntijahaastattelut

Fröberg-Niemi Linda, Smart Chemistry Park/ TurkuSciencePark

Harju Pasi, CP Kelco

Harkki Anu, Luonnonvarakeskus

Ilvespää Heikki, UPM

Kariniemi Arto, Metsäteho

Knuuttila Marja, Luonnonvarakeskus

Kolehmainen Mikko, Itä-Suomen yliopisto

Lassi Ulla, Oulun yliopisto/ Kokkolan yliopistokeskus Chydenia

Lehtonen Eeva, Luonnonvarakeskus

Luostarinen Sari, Luonnonvarakeskus

Matilainen Leena, Neste

Purho Sauli, Enocell, Stora Enso

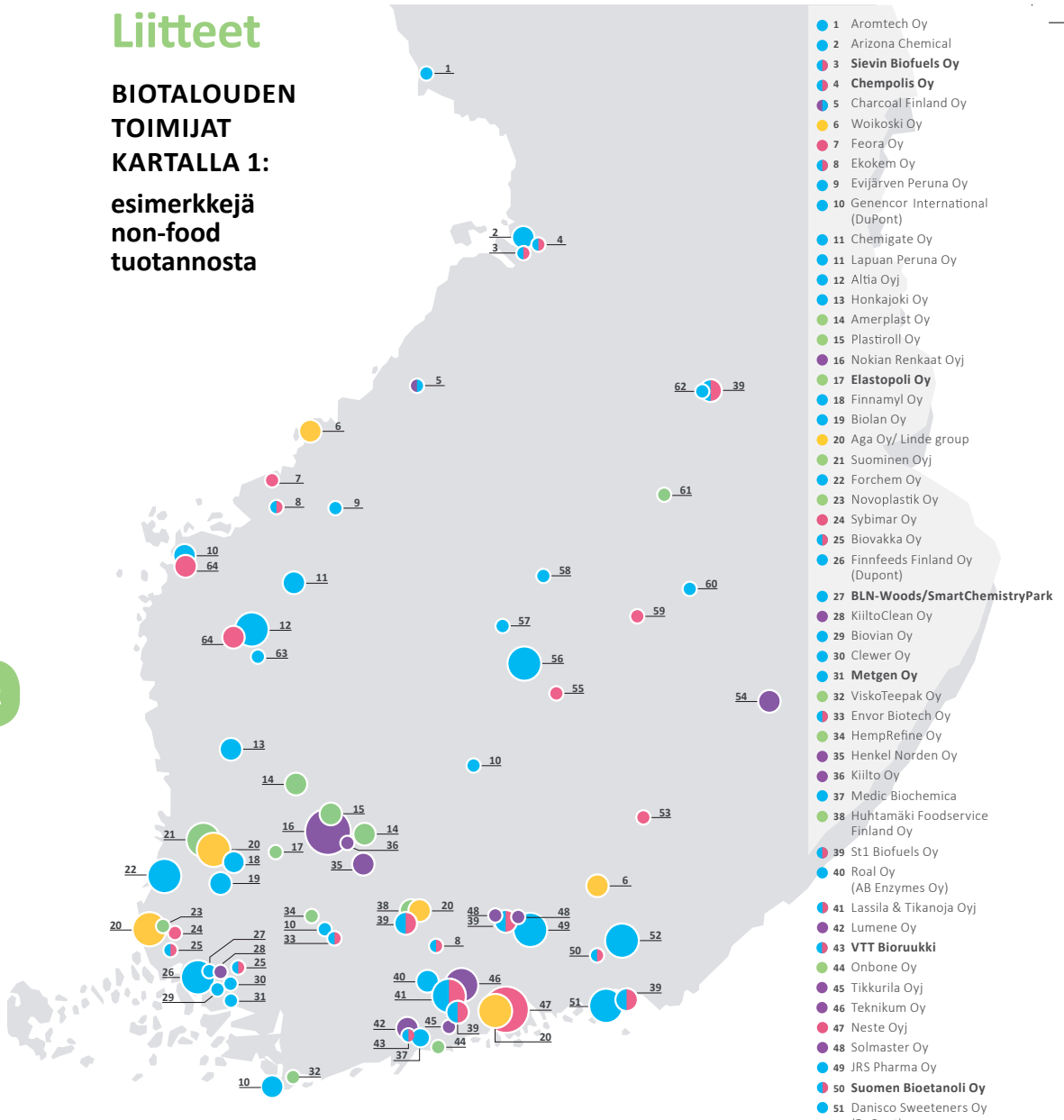
Viljanmaa Mikko, Kiilto

Von Weymarn Niklas, Metsä Fibre

Taustaryhmänä toimi selvityksen ohjausryhmän lisäksi myös Kemianteollisuus ry:n biotalousvaliokunta, jossa ovat mukana seuraavat yritykset: Arizona Chemical, Borealis Polymers, CP Kelco, Danisco Sweeteners/ DuPont, Ekokem, Enviro Group, Forchem, Gasum, Kemira, Neste, Roal/ AB Enzymes, Suez (ent. Sita Suomi), St1 Biofuels, Yara Suomi.

# Liitteet

## BIOTALOUDEN TOIMIJAT KARTALLA 1: esimerkkejä non-food tuotannosta



- 1 Aromtech Oy
- 2 Arizona Chemical
- 3 Sievin Biofuels Oy
- 4 Chempolis Oy
- 5 Charcoal Finland Oy
- 6 Woikoski Oy
- 7 Feora Oy
- 8 Ekokem Oy
- 9 Evijärven Peruna Oy
- 10 Genencor International (DuPont)
- 11 Chemigate Oy
- 11 Lapuan Peruna Oy
- 12 Altia Oyj
- 13 Honkajoki Oy
- 14 Amerplast Oy
- 15 Plastiroll Oy
- 16 Nokian Renkaat Oyj
- 17 Elastopoli Oy
- 18 Finnamyl Oy
- 19 Biolan Oy
- 20 Aga Oy/ Linde group
- 21 Suominen Oyj
- 22 Forchem Oy
- 23 Novoplastik Oy
- 24 Sybimar Oy
- 25 Biovakka Oy
- 26 Finnfeeds Finland Oy (Dupont)
- 27 BLN-Woods/SmartChemistryPark
- 28 KiiltoClean Oy
- 29 Biovian Oy
- 30 Clewer Oy
- 31 Metgen Oy
- 32 ViskoTeepak Oy
- 33 Envor Biotech Oy
- 34 HempRefine Oy
- 35 Henkel Norden Oy
- 36 Kiilto Oy
- 37 Medie Biochemia
- 38 Huhtamäki Foodservice Finland Oy
- 39 St1 Biofuels Oy
- 40 Roal Oy (AB Enzymes Oy)
- 41 Lassila & Tikanoja Oyj
- 42 Lumene Oy
- 43 VTT Bioruukki
- 44 Onbone Oy
- 45 Tikkurila Oyj
- 46 Teknikum Oy
- 47 Neste Oyj
- 48 Solmaster Oy
- 49 JRS Pharma Oy
- 50 Suomen Bioetanol Oy
- 51 Danisco Sweeteners Oy (DuPont)
- 52 CH-Polymers Oy
- 53 Torrec Oy
- 54 Berner Oy
- 55 BioGTS Oy ja BioMpower Oy
- 56 CP Kelco Oy
- 57 Hartikainen (terva)
- 58 FA Forest Oy
- 59 Turos Team Oy
- 60 Finnofflag Oy
- 61 LunaComp Oy
- 62 Kainuun terva (ProAgria Kainuu)
- 63 Fenola
- 64 Vaskiluodon Voima

## ESIMERKKEJÄ BIOTALOUDEN NON-FOOD TUOTANNOSTA

### TUOTANTO

- Biopolttoaineiden tuotanto
- Biokemikaalien tuotanto (ml. lannoitteet ja biotekniikka)
- Biomateriaalien tuotanto
- Teollisuus- ja lääkekaasujen tuotanto
- Biojakeiden ja -jalosteiden käyttö tuotteissa

### LIIKEVAIHTO

0-10 / 10-100 / 100-1000 / yli 1000 miljoonaa euroa

Pilot- ja koelaitokset merkitty lihavoidulla tekstillä. Metsäteollisuuden listaamat laitokset erillisellä kartalla (liite 2), biokaasulaitoksista olemassa oma kansallinen rekisteri [16].

- 1 **Aromtech:** valmistaa arktisten marjojen siemenöljyä ja bioaktiivisia uutteita
- 2 **Arizona Chemical:** mäntyöljyn tislauk ja jakeiden jatkojalostus kemian tuotteiksi
- 3 **Sievin Biofuels:** suunnitelmassa rakentaa bioetanolin tuotantolaitos (sivutuotteina etikkahappo, furfuraali, biohiili; raaka-aineena mm. olki, puuhake)
- 4 **Chempolis:** biojalostusteknologian kehitys ja pilot-laitos
- 5 **Charcoal Finland:** valmistaa koivutislepohjaisia tuotteita mm. kelomaaleja, maanpannushiiltä, parmaöljyä, shampoota
- 6 **Woikoski:** mm. ilmakehästä erotettavien kaasujen valmistus (happi, typpi, argon), vedyn valmistus
- 7 **Feora:** bioöljyjen valmistus eläinjätterasvoista (dieselmoottorit, kiinteistöjen lämmitys)
- 8 **Ekokem:** bio- ja jäteperäistä raaka-ainetta hyödyntävä voimala (integroitu hiomatuotteita valmistavan KWH Mirkan Jepuan tehtaaseen); Riihimäelle rakenteilla muovi- ja biojalostamot, joiden raaka-aineena yhdyskuntajäte (biojalostamo tuottaa biokaasua ja lannoitteita ja sen rakentaa Biotehdas Oy)
- 9 **Evijärven Peruna:** perunatärkkelyksen tuotanto (sivutuotteina mm. lannoitteita)
- 10 **Genencor International (DuPont):** entsyymien tuotanto
- 11 **Chemigate:** modifioitujen tärkkelysten valmistus
- 11 **Lapuan Peruna:** perunatärkkelyksen tuotanto (sivutuotteina mm. lannoitteita)
- 12 **Altia:** ohratärkkelyksen tuotanto, bioetanolin tuotanto (juomiin ja tekniseen käyttöön)
- 13 **Honkajoki:** valmistaa mm. lannoitteita ja valkuaisrehuja teurastamoiden ja elintarviketehtaiden eläinperäistä jätteistä. Tuotannon osana syntyy rasvaa uusiutuvan dieselin raaka-aineeksi.
- 14 **Amerplast:** valmistaa pakkausmateriaaleja mm. biopolyeteenistä
- 15 **Plastiroll:** valmistaa tärkkelyspohjaisia, biohajoavia muovimateriaaleja mm. elintarvikepakkauskiiniin, maatalouskalvoiksi, roskapusseiksi
- 16 **Nokian Renkaat:** valmistaa autonrenkaita, joiden raaka-aineista osa on biopohjaisia
- 17 **Elastopoli:** sellumuovikomposiitin pilot-tuotanto
- 18 **Finnamyl:** perunatärkkelyksen tuotanto (sivutuotteina mm. lannoitteita)
- 19 **Biolan:** lannoitteiden ja mullan raaka-aineiden valmistus bioperäisestä jätteestä (mm. broilerin- ja hevosenlannasta)
- 20 **Aga (Linde group),** mm. ilmakehästä erotettavien kaasujen valmistus (happi, typpi, argon), hiilidioksidin talteenotto teollisuusprosesseista
- 21 **Suominen:** valmistaa luonnonkuitukankaita pyyhintä- ja hygienia tuotteisiin sekä terveydenhuollon sovelluksiin
- 22 **Forchem:** mäntyöljyn tislauk ja jakeiden jatkojalostus kemian tuotteiksi
- 23 **Novoplastik:** valmistaa luonnonkuitukomposiittimateriaaleja mm. autoteollisuuteen
- 24 **Syblimar:** bioöljyn tuotanto polttoaineeksi (laivat) kalanperkuu- ym. jätteistä
- 25 **Biovakka:** lannoitteiden, mullan raaka-aineiden ja biokaasun valmistus biohajoavista jätteistä
- 26 **Finnfeeds Finland (Dupont):** valmistaa betaiinia ja inositolia sokeriteollisuuden sivuvirroista kosmetiikka -, rehu- ja elintarviketeollisuuden raaka-aineiksi
- 27 **BLN-Woods/Chemec:** kehittää ja testaa **Smart Chemistry Parkissa** (pk-yritysten yhteisö) puubiomassaa jalostavaa uutta teknologiaa (tuotteina selluloosa, hemiselluloosa, ligniini)
- 28 **KiiltoClean:** valmistaa hygienia- ja puhdistustuotteita, joissa mukana biopohjaisia raaka-aineita (mm. entsyymejä, kasvipohjaisia öljyjä)
- 29 **Biovia:** biologisten lääkkeiden biotekniikkaan perustuva sopimusvalmistus
- 30 **Clewer:** tuotteena vedenpuhdistusprosessi, joka hyödyntää puhdistavia bakteereja
- 31 **Metgen:** entsyymien pilot-tuotanto (laajempi tuotanto ostetaan alihankkijoilta ympäri Eurooppaa)
- 32 **ViskoTeepak:** luonnonkuitupakkausmateriaalien (mm. viskoosi) valmistus elintarviketeollisuuteen

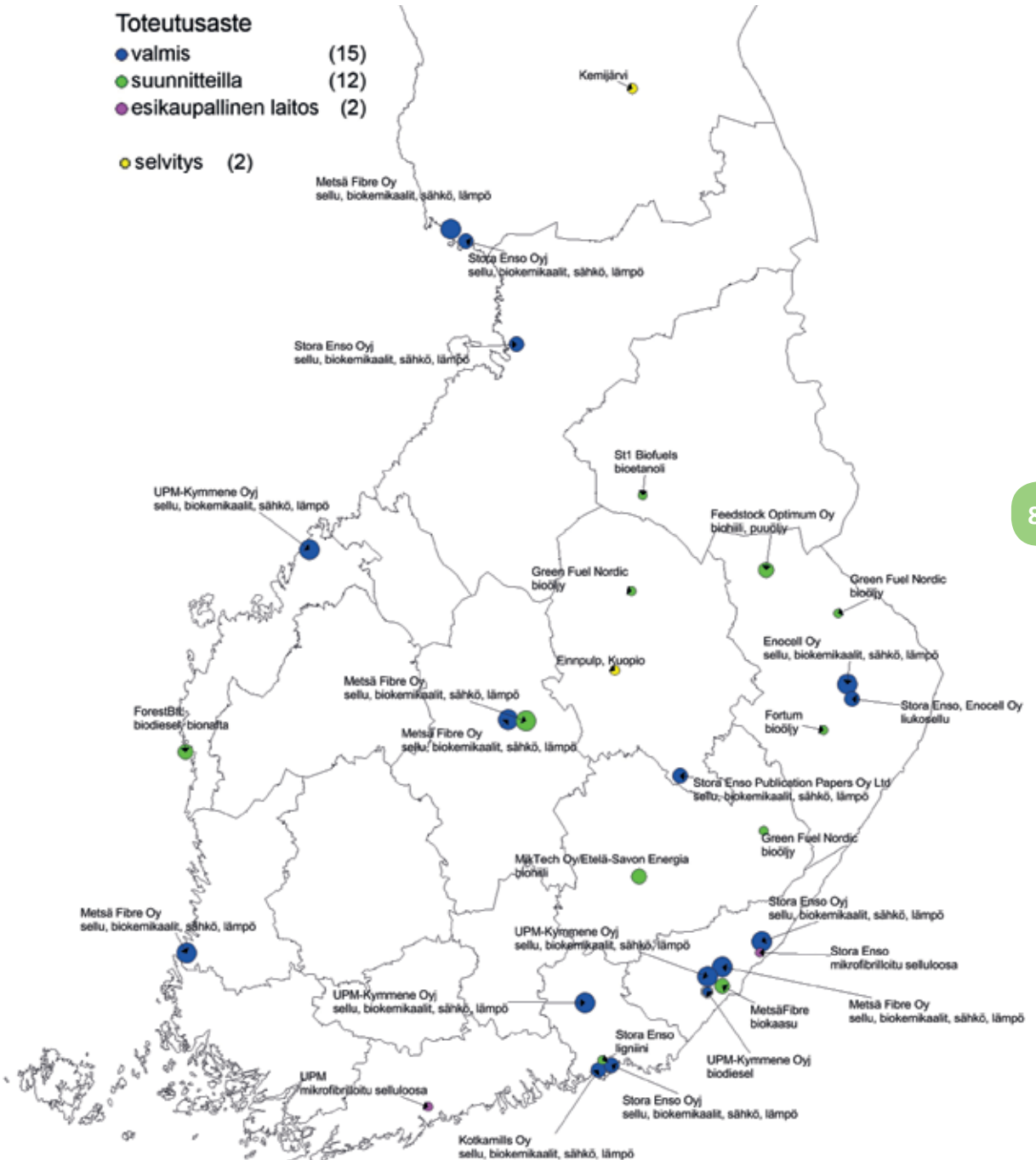
- 33 Envor Biotech:** valmistaa erilaisia bioperäisistä jätteistä jalostettuja tuotteita, mm. ravinne- ja multatuotteita, ammoniumsulfaattia, biokaasua
- 34 HempRefine:** kuituhampun jalostus materiaaliksi
- 35 Henkel Norden:** mm. mäntysuovan ja tolupesuaaineiden valmistus
- 36 Kiilto:** valmistaa mm. liimoja, liistereitä ja puun pintakäsittelyaineita, joissa mukana biopohjaisia raaka-aineita (mm. tärkkelys, rypsiöljy, furfuryylialkoholi)
- 37 Medix Biochemica:** valmistaa bioteknisesti vasta-aineita (erikoisreagensseja) lääketieteelliseen diagnostiikkaan.
- 38 Huhtamäki Foodservice Finland:** kartonki-, kuitu- ja joustopakkausten valmistus
- 39 St1 Biofuels:** valmistaa jätteistä ja tähteistä bioetanolia liikennepolttoaineeksi, sivutuotteina mm. lannoitteita
- 40 Roal (AB Enzymes):** entsyymien biotekninen tuotanto
- 41 Lassila & Tikanoja:** kerää, lajittelee ja jalostaa jätteitä (ml. bioperäiset jätteet) uusiuraaka-aineeksi teollisuudelle ja tekee osasta kierrätyspolttoainetta voimalaitoksiin
- 42 Lumene:** valmistaa kosmetiikkaa, joka sisältää biopohjaisia raaka-aineita, mm. marjojen siemenöljyjä
- 43 VTT Bioruukki:** koelaitteistot biomassojen teollisen jalostuksen testaamiseen
- 44 Onbone:** kehittänyt ja tuonut markkinoille biohajoavan puumuovi-materiaalin kipsaukseen
- 45 Tikkurila:** valmistaa maaleja, joista osassa käytetään biopohjaisia raaka-aineita, mm. kasviöljypohjaisia si-deaineita
- 46 Teknikum:** valmistaa kumituotteita, joiden raaka-aineista osa on biopohjaisia
- 47 Neste:** valmistaa uusiutuvaa dieseliä liikenteen polttoaineeksi
- 48 Solmaster:** rypsiöljypohjaisten hydrauliöljyjen ja muottiöljyjen tuotanto
- 49 JRS Pharma:** valmistaa selluloosasta apuaineita lääketeollisuuden tablettituotteisiin
- 50 Suomen Bioetanoli:** suunnitelmissa rakentaa bioetanolin tuotantolaitos (raaka-aineena olki)
- 51 Danisco Sweeteners (DuPont):** ksylitolin tuotanto selluteollisuuden sivuotteena syntyvästä hemiselluloosasta valmistetusta ksyyloosista
- 52 CH-Polymers:** valmistaa paperi-, kuitukangas- ja maaliteollisuuteen sideaineita, joissa osassa hyödynnetään bioperäisiä raaka-aineita
- 53 Torrec:** puubiomassoja raaka-aineena käyttävä biohiiltä valmistava koelaitos
- 54 Berner:** biopohjaisten raaka-aineiden hyödyntäminen monissa hygieniatuotteissa, biopohjaisen etikkahapon tuotanto (elintarvikekäyttöön)
- 55 BioGTS ja BioMpower:** integroitu biodieselin ja biokaasun tuotanto bioperäisestä jätteestä
- 56 CPKelco:** valmistaa karboksimeetyyliselluloosaa mm. paperi- ja elintarviketeollisuuteen, pesuaineisiin ja öljynporaukseen
- 57 Hartikainen:** tervan valmistus
- 58 FA Forest:** valmistaa lannoitteita, joiden raaka-aineena bioenergian tuotannon tuhka
- 59 Tuross Team:** teknologiakehitystä (mm. CHP) & koelaitos biodieselin tuotantoon jätteistä
- 60 Finnoflag:** biokemikaalien pilottituotanto jätteestä hajautetusti konteissa
- 61 LunaComp:** puumuovikomposiitin valmistus
- 62 Kainuun terva (ProAgraria Kainuu):** kymmenkunta yksittäistä tervanvalmistajaa
- 63 Fenola:** valmistaa luonnonaineista, kuten marjoista, bioaktiivisia uutteita ja jauheita mm. kosmetiikkaan
- 64 Vaskiluodon voima:** valmistaa biosynteetikaasua, ja käyttää sitä sähkön- ja lämmöntuotantoon

## BIOTALOUDEN TOIMIJIAT KARTALLA 2: metsäteollisuuden listaamat biojalostamot

Kuvalähde: Metsäteollisuus ry

### Toteutusaste

- valmis (15)
- suunnitteilla (12)
- esikaupallinen laitos (2)
- selvitys (2)







Suomen valtionhallinnossa biotalous on nostettu yhdeksi kärkialueeksi. Sen kehittämiseen on laadittu oma strategia, joka julkaistiin toukokuussa 2014. Strategian visiona on, että vuonna 2025 biotalouden kestävät ratkaisut muodostavat koko maan hyvinvoinnin ja kilpailukyvyn perustan.

Biotaloudella tarkoitetaan taloutta, joka käyttää uusiutuvia luonnonvaroja ravinnon, energian, tuotteiden ja palvelujen tuottamiseen. Sille on ominaista ympäristöä säästävän puhtaan teknologian käyttö sekä materiaalien tehokas kierrätys.

Biotalous yhdistää eri toimialoja. Maa- ja metsätalous luovat perustan ja prosessiteollisuuden eri alat, kuten kemian-, metsä-, energia- ja elintarviketeollisuus jalostavat biomassoja eteenpäin. Biomassaa käytetään perinteisten sovellusalueiden lisäksi enenevässä määrin tuotannossa, jossa raaka-ainepohja on perinteisesti ollut uusiutumaton, kuten liikennepolttoaineiden tuotannossa. Biopohjaisia vaihtoehtoja on ja kehitetään koko ajan lisää myös esimerkiksi kemikaaleissa, lääkkeissä, kosmetiikassa, pinnoitteissa, liimoissa ja materiaaleissa kuten muoveissa ja komposiiteissa.

Tällä hetkellä kehitetään myös muita biopohjaisia materiaaleja mm. rakentamisen, pakkauksiin sekä tekstiiliteollisuuteen, lääketieteeseen ja hygieniatuotteisiin. Biotalouden perinteisiä osa-alueita, puutuoteollisuutta, paperin- ja kartonginvalmistusta sekä ihmisten ja eläinten ravinnontuotantoa tarkastellaan vain kemian tuotantopanosten näkökulmasta.

Suomen maa-alueella ja vesistöissä on runsaasti luonnonvaroja joita voidaan hyödyntää laajasti tarkasteltaessa Kemian poolin eri toimialojen huoltovarmuutta. Keskeisiä tuotteita ovat polttoaineet, maatalouden, vedenpuhdistuksen ja terveydenhuollon kemian tuotteet, liimat ja maalit sekä perus- ja erikoiskemikaalit.

Selvityksessä arvioidaan huoltovarmuuden näkökulmasta niitä mahdollisuuksia, joita biotalouden kehittäminen mahdollistaa maamme väestön ja talouselämän selviytymiseksi mahdollisten kriisien ja niistä johtuvien vakavien tuotannollisten häiriöiden aikana.

