SATAKUNNAN BIO- JA KIERTOTALOUDEN KASVUOHJELMA, Osahanke: Kiertotalouden symbioosien mallin luominen biokaasulaitosten ympärille

LOPPURAPORTTI

Toteutus: 01.03.2018–28.02.2019

Rahoittaja: Työ- ja elinkeinoministeriö, Valtionavustus, Satakuntaliitto

Kokonaisbudjetti: 150 000€, Pyhäjärvi-instituutin osuus 32 000€

Hankkeen toteuttaja: Pyhäjärvi-instituuttisäätiö

Pekka Maijala, Asiantuntija, Pyhäjärvi-instituutti

Teija Kirkkala, Toiminnanjohtaja, Pyhäjärvi-instituutti

Marko Jori, Kehittämispäällikkö, Pyhäjärvi-instituutti

Pyhäjärvi-instituutin julkaisuja Sarja B nro 42

ISBN 978-952-9682-87-4

Pyhäjärvi-instituutti Puhdas vesi, paremmat eväät

Työ- ja elinkeinoministeriö
Arbets- och näringsministeriet

SATAKUNTALIITTO

0 Yhteenveto hankkeesta

Biokaasun tuotanto vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista. Biokaasun raaka-aineena olevat biomassat ovat kasvavan biotalouden keskiössä. Eri biomassojen arvojakeiden kustannustehokasta talteenottoa tarkasteltiin tässä hankkeessa Satakunnassa keskeisten elintarvikealan tuotantoalojen osalta. Arvojakeiden talteenotto vähentää jätteen syntyä ja voi lisätä yritysten kannattavuutta ja luoda uutta liiketoimintaa alueelle. Ruoantuotannon sivuvirtojen hyötykäyttö biokaasun tuotannossa lisää ruokaliiketoiminnan ekologisuutta ja eettisyyttä sekä lisää toiminnan kannattavuutta. Syntyvän biokaasun ja lannoitteen käyttö lisäävät huomattavasti vähähiilisyyttä ja ravinteiden kierrätystä. Ravinteiden tehokas kierto vähentää valumia vesistöihin.

Satakunnassa syntyy runsaasti biomassoja, joita tällä hetkellä hyödynnetään huonosti. Satakunnassa merkittävä osa vajaasti hyödynnetyistä biomassoista on nurmibiomassaa. Biologisten sivuvirtojen tehokas hyötykäyttö alkutuotannossa ja elintarviketeollisuudessa koko ruokaketjun osalta vaativat usean toimijan hyvää yhteistyötä, Materiaalien älykäs hyödyntäminen vaatii osaamista ja eri alojen toiminnan koordinointia, jotta eri teollisuudenalojen symbioosimainen, kaikille hyötyä tarjoava toiminta mahdollistuisi. Raaka-aineiden laaja kirjo ja monimutkainen kemia tarjoavat haasteellisen kentän materiaalien kustannustehokkaalle hyödyntämiselle. Innovaatiot syntyvät tyypillisesti yhteistyönä teollisuuden ja akateemisen asiantuntijakentän välillä.

Teknologioita on olemassa paljon eri yhdisteiden eristämiseen, mutta usein menetelmät ja siten arvonlisä päätyy hyödyntämättä taloudellisen kannattamattomuuden johdosta. Teollisten symbioosien avulla tätä taloudellista kannattavuutta on mahdollista parantaa. Parhaimmillaan biokaasulaitokset toimivat oleellisena osana nykyaikaista bio- ja kiertotaloutta, missä ravinteet, energia, innovaatiot ja osaaminen kiertävät sekä luonnollisissa että eri teollisissa ekosysteemeissä niin ekologista, sosiaalista kuin taloudellistakin kestävää kehitystä ylläpitäen ja vahvistaen.

1 Sisällysluettelo

0 Yhteenveto hankkeesta 2
1 Sisällysluettelo 3
2 Hankkeen tavoitteet 5
3 Biokaasu, sen tuotanto ja sivuvirrat 6
3.1 Biokaasu on kestävää energiaa 6
3.2 Tuotanto 7
3.3 Biokaasulaitoksen tuottama sivuvirta ja hyödyntäminen 9
3.3.1 Mädäte 9
3.3.2 Hiidioksidi ja lämpö 10
3.3.3 Metaanista moneksi: lämpöä, sähköä, liikennepolttoainetta, proteiineja 10
4 RESURSSIVIISAUS KESTÄVÄN AGROBIOTALOUDEN KULMAKIVENÄ 11
4.1 Arvojakeita vai bioenergiaa? 11
4.2 Biokaasun tuotanto maatalousmaiseman monipuolistajana 11
4.3 Peltoalojen kestävä käyttö 14
4.4 Peltonurmet arvojakeiden lähteenä 15
4.5 Peltojen vihreä biomassa 17
5 UUSI MATERIAALITALOUS, AGROBIOMATERIAALIT 19
5.1 Tärkkelys 19
5.2 Proteiinit 20
5.3 Muut polymeerit 22
5.4 Kuidut materiaalien kestävyysominaisuuksien lisääjänä 24
5.5 Väriaineet, polyfenolit, alkaloidit ja muut arvojakeet 26
6 PROSESSIEN SIVUVIRROISTA SIVUTUOTTEIKSI 27
6.1 Sivuvirtojen tyypit ja sijoittuminen 27
7 KATSAUS TUOTANTOALOITTAIN 30
7.1 Kasvistuotanto 30

7.2 Kalastus ja kalanjalostus 32
7.3 Liha- ja siipikarjateollisuus 35
7.4 Meijeriteollisuus 37
7.5 Sienimöteollisuus 38
7.6 Muut kasvavat tuotantoalat (hyönteistuotanto, SCP) 39
8 ERI TEKNOLOGIOIDEN TARKASTELU SIVUVIRTAMATERIAALIEN HYÖDYNTÄMISESSÄ 42
9 TAPAUSTARKASTELUT 44
9.1 Bioteolliset yhteenliittymät 44
9.2 Malli 45
9.3 Tapaus 1: ACRRES Wageningen Energierijk biojalostamo (Lelystad, Hollanti) 48
9.4 Tapaus 2: Säkylän bioteollisuusalue 51
10 Koontia ja toimenpide-ehdotuksia 52
11 Kirjallisuus 53

2 Hankkeen tavoitteet

Osana työ- ja elinkeinoministeriön Satakuntaliitolle myöntämää bio- ja kiertotalouden kasvuohjelma-hankerahoitusta Pyhäjärvi-instituutti on valmistanut selvityksen kiertotalouden symbiooseista. Koska Satakunnan bio- ja kiertotalouden kasvuohjelma-hankkeen tarkoituksena oli laaja-alaisesti selvittää Satakunnan alueella erilaisten elintarviketeollisuuden sivuvirtojen laatua ja soveltuvuutta biokaasun tuotantoon, tarkasteltavat kiertotalouden symbioosit painottuvat alueellisesti biokaasulaitosten läheisyyteen. Hanke toteutti osaltaan erityisesti Satakunnan maakuntaohjelman 2018-2021 toimintalinjaa 2 (Puhdasta elinvoimaa) lisäämällä tietoa ja osaamista sekä uusia mahdollisuuksia elinkeinotoiminnan kehittämiseen sekä yrittäjyyteen ja yritysyhteistyömallien kartoittamiseen.

Hanke on toiminnallaan toteuttanut maaseutuohjelman strategisia painopisteitä 1. (Edistetään biotaloutta ja sen osana maataloutta harjoitetaan taloudellisesti, sosiaalisesti ja ekologisesti kestävällä ja eettisesti hyväksyttävällä tavalla) ja 2. (Monipuolistetaan maaseudun elinkeinoja ja parannetaan työllisyyttä kehittämällä yritysten kilpailukykyä, uutta yrittäjyyttä ja yritysten verkostoitumista). Hanke on myös toteuttanut Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelman 2014 – 2020 tavoitteita 1) osaaminen, tiedonvälitys, innovaatiot ja yhteistyö maaseudulla lisääntyvät, 2) ilmastonmuutoksen hillintä ja sopeutuminen ilmastonmuutokseen tehostuvat, 3) luonnon monimuotoisuus lisääntyy, vesistöjen tila ja maatalouskäytössä olevan maaperän tila paranevat, 4) maaseudun yritystoiminta monipuolistuu ja työllisyys, palvelut sekä vaikuttamisen mahdollisuudet paranevat ja 5) maataloustuotannon kilpailukyky vahvistuu. Hankkeen toimenpiteet ovat tukeneet prioriteettien 1 – 4 toteutumista ja erityisesti prioriteetin 5 (Voimavarojen tehokkaan käytön sekä vähähiiliseen ja ilmastoa säästävään talouteen siirtymisen edistäminen maatalous-, elintarvike- ja metsäsektoreilla) kohdealat 5B ja 5C.

Hanke toteutti myös Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelman *Maaseutuohjelman vesiensuojelun ja ravinteiden kierrätys* -osion toimenpiteitä, sillä hanke edistää ravinteiden kierrätystä erityisesti elintarviketuotannon sivuvirtojen ja peltobiomassojen osalta ja samalla tuetaan uutta liiketoimintaa. Uudet käytännöt ravinteiden ja sivuvirtojen kierrätyksessä biotalouden uusiksi raaka-aineiksi lisäävät

Satakunnan ravinneneutraaliutta ja synnyttävät uusia yhteistyömuotoja ja uutta liiketoimintaa alueen kiertotaloudessa.

Hankkeen avulla toteutettiin myös Satakunnan alueellista maaseudun kehittämisstrategiaa 2014 – 2020 ja sen Visio 2020:ssa mainittua aloituslausetta ”Satakunnan maaseutu on monipuolinen ruuan ja energian tuottaja.” Hanke toteuttaa kehittämisstrategian painopisteitä 2) Uudet ratkaisut ja innovaatiot (vihreä talous, uudet innovaatiot) ja 3) Dynaaminen yrittäjyys (bioenergian käytön lisääminen, uusien teknologisten ratkaisujen hyödyntäminen, biopohjaisten kiertotalouden materiaalien toimitusvarmuuden ja logistiikan kehittäminen) sekä erityisesti strategian läpileikkaavia teemoja yhteistyö, kumppanuudet ja ympäristön kestävä käyttö.

Satakunnan Tulevaisuuskäsikirja 2035 listaa kolme kantavaa rakennetta hyvälle elämälle: kannustava yhteisöllisyys, puhdas elinvoima ja ihmislähtöiset ratkaisut. Biotalous ja energia-ala ovat Satakunnan elinkeinoelämän kärjet. Biotaloudessa työpaikkoja ja kasvua syntyy biologisten resurssien kehittämisestä, jalostamisesta ja käytöstä ympäristöllisesti kestävällä tavalla. Osahankkeessa biomateriaaleja on tarkasteltu niiden mahdollisimman suuren arvopotentiaalin kannalta. Arvojakeiden kustannustehokas talteenotto vähentää jätteen syntyä. Ruoantuotannon sivuvirtojen hyötykäyttö biokaasun tuotannossa lisää ruokaliiketoiminnan ekologisuutta ja eettisyyttä sekä lisää toiminnan kannattavuutta. Syntyvän biokaasun ja lannoitteen käyttö lisäävät huomattavasti vähähiilisyyttä ja ravinteiden kierrätystä. Ravinteiden tehokas kierto vähentää valumia vesistöihin.

3 Biokaasu, sen tuotanto ja sivuvirrat

3.1 Biokaasu on kestävää energiaa

Suomen Tiekartta kiertotalouteen 2016-2025 (Sitra, 2016) listaa kestävän ruokajärjestelmän keskeisenä politiikkatoimena maatalouden biokaasujärjestelmien tukemisen. Myös orgaanisten kierrätysravinteiden markkinat listataan keskeisenä politiikkatoimena. Biokaasun tuotanto vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista. Biokaasun raaka-aineena olevat biomassat ovat kasvavan

biotalouden keskiössä. Biokaasun tuotannossa syntyvä orgaaninen lannoite ja sen sisältämät runsaat ravinteet on saatava kiertämään takaisin kasvien ravinteina uusien biomassojen tuotantoon.

Biokaasuteknologia on kehittyvää teollisuutta. Biokaasun tuotantoon on yhdistettävissä sähkön ja lämmön tuotanto (CHP), ja esimerkiksi tämän raportin tapaustarkastelukohteen 2 hollantilaisessa järjestelmässä CHP:n tuotannolla on saavutettu hyvin kustannustehokkuutta. Anaerobinen, hapeton orgaanisen aineksen hajottaminen tuottaa metaanista ja hiilidioksidista koostuvaa biokaasua sekä lietettä prosessin lopputuotteina. Biokaasu voidaan käyttää yhdistetyn sähkön- ja lämmön tuotannossa (Combined heat and power, CHP) tai se voidaan puhdistaa edelleen liikennekäyttöön soveltuvaksi. CHP:n on ajateltu toimivan avainteknologiana uusiutuviin energianlähteisiin liittyvän kausi- ja olosuhderiippuvuuden tasaamisessa, koska biokaasulaitoksen syötteet voivat olla helposti hajotettavia aineksia, kuten ruoantähteitä, sokerijuurikkaan prosessointijätteitä ja viljaa, tai hitaammin hajoavia aineksia, kuten olkea. Hitaasti hajotettavia aineksia voidaan esikäsitellä biologisesti, kemiallisesti tai mekaanisesti, ja esikäsittelyt nopeuttavat biokaasun muodostumista (Hochloff & Braun, 2014). Biokaasulaitoksessa käytettävän syötteen laadulla voidaan vaikuttaa biokaasun tuotantonopeuteen ja sitä kautta CHP:n tuotantoon joustavasti.

Suomessa luonnonvarakeskuksessa kehitettyä ja patentoitua teknologiaa edustaa Qvidja Kraftin käytössä ja edelleen kehittelyssä toimiva, biometanointiin perustuva biokaasujärjestelmä: vedystä ja hiilidioksidista tuotetaan mikrobiston avulla matalan lämpötilan reaktorissa metaania. Tarvittavaa vetyä mikrobisto tuottaa esimerkiksi korkean lämpötilan ja matalan happipitoisuuden pyrolyysiprosessista syntyneestä hiilimonoksidista eli häkäkaasusta. Qvidjassa poltossa hyödynnetään metsänhoidon risuja ja puujätettä (www.qvidjakraft.fi). Biokaasulaitoksen hyötysuhdetta parantava järjestelmä on yhdistettävissä perinteiseen biokaasulaitokseen.

3.2 Tuotanto

Biokaasu on biologisen hajoamisprosessin tulos. Biokaasun metaanin syntyminen jakautuu neljään vaiheeseen, joista ensimmäisessä vaiheessa mekaanisesti pilkottu aines alkaa hajota mikrobien entsyymien ansiosta. Biomateriaalin hiilihydraatit, proteiinit ja rasvat pilkkoutuvat liukoisiksi yhdisteiksi nopeasti muutamissa tunneissa

tässä hydrolyysivaiheessa, mutta puupohjaisen materiaalin selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini hajoavat epätäydellisemmin, ja hajoaminen voi kestää useita päiviä. Tällaisen materiaalin käsittelyä voidaan nopeuttaa eri esikäsittelyillä (Hendriks & Zeeman, 2009).

Seuraavassa asidogeneesivaiheessa mikrobisto muuttaa sokerit, aminohapot ja rasvat eri orgaanisiksi happoyhdisteiksi. Myöhemmin asetogeeniset bakteerit muuttavat lyhytketjuiset orgaaniset hapot asetogeneesivaiheessa asetaatiksi, hiilidioksidiksi ja vedyksi. Nämä yhdisteet taas toimivat viimeisessä, täysin hapettomissa olosuhteissa tapahtuvassa metagoneneesivaiheessa raaka-aineina metaanin muodostumiselle.

Biokaasulaitokseen syötettävän biomateriaalin kemiallinen koostumus vaikuttaa merkittävästi syntyvän biokaasun määrään. Kasvimassa koostuu pääosin selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä. Näiden lisäksi kasvimateriaalissa on pektiinejä, vahoja, sokereita, typpiyhdisteitä, klorofylliä ymv, sekä epäorgaanisia mineraaleja. Kasvukauden aikana kasvien kemiallinen koostumus lisäksi vaihtelee. Taimivaiheen kasvissa on huomattavan paljon proteiinia verrattuna täysikasvuiseen kasviin, jossa taas mm. selluloosan ja ligniinin määrä voi olla huomattava.

Kasvipohjaisten sivuvirtojen lisäksi biokaasun valmistukseen kelpaavat eri eläinperäiset sivuvirrat teurastamo- ja prosessointilaitoksista tai kalanperkausyksiköistä. Erilliskerätty biojäte soveltuu myös hyvin raaka-aineeksi. Mikäli laitoksessa valmistetaan biokaasun ohella biodieseliä, eläinperäiset elintarviketeollisuuden sivuvirrat soveltuvat erityisen hyvin rasvapitoisina materiaaleina laitokseen syötteiksi. Reaktoriin menevät eläinperäiset sivutuotteet sekä esimerkiksi erilliskerätty biojäte on käsiteltävä ennen reaktoriin syöttämistä lainsäädännön (Sivutuoteasetus (EY) N:o 1069/2009) vaatimusten mukaisesti. Kaikenlaiset rasvapitoiset ainekset, myös rasva-vesiseokset ja eri jäterasvat soveltuvat raaka-aineeksi biodieselin valmistukseen. Yhteislaitoksessa rasvat erotellaan muusta biomateriaalista ja käsitellään toisessa laitosyksikössä ylikriittisellä alkoholilla, ja edelleen prosessoidaan biodieseliksi.

Mahdollinen hygienisointikäsittely nopeuttaa biomassan hydrolysoitumista ja jatkoprosesseja. Jos materiaalin proteiinipitoisuus on hyvin korkea, vaarana on prosessia estävä ammoniakin syntyminen (Prochnow ym. 2009). Energiarikkaiden raaka-aineiden käyttö yleisesti nopeuttaa selvästi prosessia. Lannan käyttö laitoksen

syötteenä on myös mahdollista. Lannassa ei enää eläimen suoliston läpi kuljettuaan ole paljon hiilihydraatteja tai proteiineja, mutta lanta voi tarjota biokaasuprosessiin tarpeellisia ravinteita ja puskurointikykyä. Erityisen helposti prosessiin voi tulla puutetta hivenaineista, joita lannan käyttö turvaa. Lannan ja kasvibiomassan yhteiskäytöstä löytyy runsaasti tutkimustietoa. Lannan lisäksi mahdollista hivenainepuutosta voidaan välttää riittävän monipuolisella syötevalikoimalla (Schattauer ym., 2011).

3.3 Biokaasulaitoksen tuottama sivuvirta ja hyödyntäminen

3.3.1 Mädäte

Biokaasulaitokset tuottavat runsaasti mädätettä, joka sisältää parhaimmillaan runsaasti ravinteista ainesta uudelleen hyödynnettäväksi ravinteiksi pelloille viljelyskasvien käyttöön. Mädätteen koostumus on riippuvaista mädätettävästä materiaalista, biokaasutusprosessista ja mädätysajasta. Esimerkiksi karjan lannan mädättäminen on edullista, koska lannan hajoaminen biokaasutusprosessissa muuttaa lannan helposti vesistöihin huuhtoutuvaa typpeä kasveille hyvin sopivaksi ammoniumtypeksi. Mädätysjäännöksen kuiva-ainepitoisuus on alhaisempi kuin syötteillä ja se on tasalaatuista. Märkämädättämöstä mädäte voidaan levittää samalla tekniikalla kuin lanta. Kuivamädättämöstä kiinteässä muodossa oleva mädätysjäännös voidaan levittää samoin kuin kiinteä lanta. Ennen mädätteen suoraa hyödyntämistä se voidaan prosessoida lannoitevalmisteeksi. Jos biokaasulaitos vastaanottaa yhdyskuntajätteestä syntynyttä ainesta, lietteen hyötykäyttö peltojen lannoitteeksi voi olla rajoitettua, ja tällä hetkellä useat elintarvikevalmistajat ovat kieltäytyneet vastaanottamasta raaka-ainetta, jonka tuotannossa olisi hyödynnetty esimerkiksi jätevedenpuhdistamojen mädätettä. Biokaasulaitoksen mädätteen sekä syntyvän rejektiveden jatkojalostus vaatii tutkimus- ja T&K-panoksia. Suurin haaste on rejektiveden käsittely. Eräät biokaasulaitokset kehittävät parhaillaan mädätteen ja rejektiveden jatkokäsittelyjä (mm. typen talteenottoa strippaus- ja haihdutusmenetelmillä). Rejektiveden käsittelyprosessien lopputuloksena on väkevöityä ravinnetta sekä jätevedenpuhdistuksen jälkeen puhdasta vettä. Mädätteen jatkojalostusprosesseina tutkitaan myös pyrolyysiä ja biohiilen valmistusta.

Mädätteen ravinnekäyttö ei ole ainoa vaihtoehto sen hyödyntämiselle. Mädatteestä voidaan valmistaa sitä uudelleen mikrobiologisesti fermentoimalla biologisesti hajoavaa muovia, polyhydroksialkanoaattia (Zhang ym., 2015; Kpl.5.3). Tällöin myös yhdyskuntajätteen käsittelystä syntynyt ravinnerikas materiaali saataisiin hyödynnettyä esimerkiksi erilaisiin ei-elintarviketeollisiin käyttökohteisiin.

3.3.2 Hiidioksidi ja lämpö

Biokaasun tuotannossa syntyy hiilidioksidia ja lämpöä. Hiilidioksidi on kasvihuonekaasuihin luettava kaasu, ja sen talteenotto biokaasulaitoksissa on tärkeää. Biokaasulaitosten ympärille on syntynyt jonkin verran kasvihuonetiloja vaativien elintarvikkeiden kasvatusta. Esimerkiksi pohjois-Satakunnan Honkajoella salaatintuotanto hyödyntää paikallisen biokaasulaitoksen lämpöä.

Katettu erikoiskasvien tuotanto hyötyy voimakkaasti kohotetusta hiilidioksidista kontrolloiduissa kasvuolosuhteissa. Mikäli biokaasulaitoksen ympäristössä on esimerkiksi teollisuuden jätevesiä, voisi olla mahdollista puhdistaa erikoiskasvien avulla ravinnepitoisia teollisuusvesiä eri vesiviljelymenetelmillä. Kyseeseen voisivat tulla esimerkiksi levät, vesikasvit tai energiakasvit. Kasvibiomassa voidaan siirtää biokaasulaitoksen raaka-aineeksi tai myydä korkeamman lisäarvon tuotteiksi.

3.3.3 Metaanista moneksi: lämpöä, sähköä, liikennepolttoainetta, proteiineja

Metaani voi tarjota merkittävän energianlähteen, mutta metaania pystytään nykyisin hyödyntämään myös maailmalla kasvavan proteiinin tuotannon raaka-aineena. Esimerkiksi Kalundborgissa Tanskassa metaanin tuotannon ympärille on kehittynyt alkujaan DTU:n yliopistossa kehitetyn 1-soluproteiinin tuotannon ympärille teollinen symbioosi, jossa eri teollisuudenalojen sivuvirrat saadaan hyödynnettyä tehokkaasti (www.Unibiogroup.com). Tuotettu luomu-hyväksytty proteiinivalmiste on käytössä eläinten rehuna. Yksisoluproteiinin tuotantoon soveltuu hyvin myös biokaasulaitoksesta saatava hiilidioksidi. Tuotantotapoja esitelty tarkemmin kappaleessa 7.6.

4 RESURSSIVIISAUS KESTÄVÄN AGROBIOTALOUDEN KULMAKIVENÄ

4.1 Arvojakeita vai bioenergiaa?

Yhteiskunnallisen ja poliittinen keskustelu biotaloudesta keskittyy Suomessa voimakkaasti metsäpohjaisen bio- ja kiertotalouden ympärille, ja tämä heijastuu myös alan tutkimukseen, ja usea suomalainen puupohjainen innovaatio on saamassa jalansijaa erityisesti pakkausmateriaaleina. Metsävarantojen käytön voimakas lisääminen bioenergian tai biopohjaisten materiaalien tuottajana ei tule kattamaan kaikkea EU:n asettamia uusituvan energian käytön tavoitteita. Euroopan tasolla biomassasta kilpailu on alkanut näkyä yhä lisääntyvänä biomassan tuontina Eurooppaan muualta maailmasta (EEA Report 8/2018). Suomessakin joudutaan entistä huolellisemmin punnitsemaan metsien käytettävyyttä paitsi raaka-aineen tuottajana rakennus-, puu- ja paperiteollisuuteen, myös sosiaalisen, ympäristön ja taloudellisen kestävyyden kannalta – uhkana on metsien monimuotoisuuden vähentyminen. Kasvavan biomassan kysynnän helpottamiseksi kiertotalouden tarjoamat ratkaisut ovat oleellisen tärkeitä. Maatalouden ja elintarviketeollisuuden sivuvirtojen tarkka hyödynnys ja biojätteiden käyttö uusien materiaalien raaka-aineena vähentää neitseellisten biomassojen hyödyntämistä ja tarvetta kasvattaa pelloilla ja metsissä uutta biomassaa. Biopohjaiset sivuvirrat eivät enää ole jätteitä, vaan ne on hyödynnettävä EU.n jätehierarkiakolmion mukaisesti mahdollisimman tehokkaalla tavalla.

4.2 Biokaasun tuotanto maatalousmaiseman monipuolistajana

Biokaasulaitokset voivat käyttää syötteenä hyvin monipuolisesti eri biomassoja. Etäisyys biokaasulaitoksesta määrittää pitkälle peltoviljelyyn pohjautuvien biomassojen käytettävyyden. Lisäksi energiakäytön tarkoituksenmukaisuus riippuu peltoalojen ominaisuuksista. Lainsäädäntö ja tukipolitiikka toimivat tärkeinä ohjauskeinoina.

Peltojen reunuksilta esimerkiksi maisemallisten ja luonnon monimuotoisuusperiaatteiden takia viljeltävien ja vesistöjen suojavyöhykkeiltä

kerättävät biomassat voivat olla sekä osa biokaasulaitoksen syötemateriaalia, että raaka-ainetta arvojakeiden tuotantoon. Pääosin varsinaiseen energiatuotantoon kasvatettavat energiakasvit ovat monivuotisia, syväjuurisia kasveja. Ne ovat edullisia kasvattaa ja muokkaavat maaperän fysikaalista ja mikrobiologista rakennetta parantaen kasvuedellytyksiä esimerkiksi tuleville viljelykasveille. Energiakasvien viljely mahdollistaa orgaanisten maanparannusaineiden, kuten maanparannuskompostin, lantaseosten, tuorekompostin, kasvijätekompostin, hapotetun stabiloidun puhdistamolietteen, ja maanparannuslahotteen käytön ilman elintarviketuotantoon liittyviä rajoituksia.

Stabiloitujen puhdistamolietteiden ja biokaasutuotannossa käytettyjen, puhdistamoperäisten mädätteiden käyttö energiakasvien kasvatuksessa esimerkiksi turvetuotannosta vapautuvilla alueilla saattaa tarjota mielenkiintoisen tavan hyödyntää tehokkaasti, mutta turvallisesti yhdyskunnissa syntyviä ja sieltä puhdistusprosessin jälkeen vapautuvia ravinteita (Aro / Hytönen, 2011 ym.). Pajut soveltuvat hyvin näille alueille, sitovat hyvin ilmakehän hiiltä ja nopeakasvuisina mahdollistavat tehokkaan puun tuotannon. Nopeakasvuisten bioenergiakasvien lisääntyvä käyttö voisi vaikuttaa edullisesti maatalouden ravinnekierrätyksen tehostamiseen. Pajuista on mahdollista tuottaa mm. biohiiltä, jonka käyttöön on jatkuvasti kasvavaa mielenkiintoa mm. jätevesien puhdistuksessa ja orgaanisena maanparannusaineena. Pyhäjärvi-instituutin tekemään selvitykseen (Mikkilä & Kirkkala, 2018) perustuen Satakunnan ympäristölupien (tilanne kesällä 2016) mukaan turvetuotannossa olevista soista poistuu vuoteen 2035 mennessä noin 81%. Lisää tutkimustietoa kuitenkin tarvitaan, jotta puhdistamolietteiden ja puhdistamoperäisten biokaasulaitosmädätteiden ravinnekäyttö bioenergiakasvien kasvatuksessa voidaan taata turvalliseksi sekä ihmisille sekä ekosysteemeille niin maalla kuin vesistöissäkin.

Optimoitua tilakohtaista ravinteiden kierrätystä, optimoitua kasvinvuorottelua ja maanmuokkausta sekä metsänkasvatuksen ja peltoviljelyn yhdistämistoimia eli peltometsäviljelyä (agroforestry) on toteutettu Suomessa vielä vähän. Puuston ja pellon yhteiskasvatus-ajatukselle on perusteltua paikoin pohjoisissakin ilmasto-olosuhteissa, vaikka pääosa tähänastisesta asiaan liittyvästä tutkimuksesta ja pilotoinnista on muualta Euroopasta ja trooppiselta ilmastovyöhykkeeltä (www.agroforesterie.fr/agroforestry-in-france.php). Peltometsäviljelyn on todettu mm. kasvattavan laiduneläinten tuotantoa, kohentavan maaperän kuntoa sekä

lisäävän ympäristön luontaista monimuotoisuutta. Metsäpeltoviljelyä voitaisiin hyödyntää energiakasvien lisäksi esimerkiksi hedelmäpuiden ja tyrnin viljelyssä. Peltometsäviljely nurmentuotannossa (rehu, biokaasun tuotanto; Ehret ym., 2015) tarjoaisi bioenergiatuotannon lisäksi yhä tärkeämmäksi tunnustettua ekosysteemipalvelujen tuottoa, mukaan lukien sosiaalisen ulottuvuuden (esteettinen merkitys, virkistysarvot) ja ympäristön hyvinvoinnin (ympäristön monimuotoisuus, maaperän kunto).

Biokaasuprosessi lisää ravinteiden liikkuvuutta tuottaen samalla energiaa. Ravinteiden näkökulmasta on oleellista, että mädätteen ravinteet palautetaan takaisin pellolle. Hajautetut ratkaisut voivat olla taloudellisesti kannattavia, mutta toiminnan kannattavuus edellyttää koko ketjussa toimintojen modularisointia, standardisointia ja eri yritysten toimintojen teollista, vuorovaikutteista toimintaa (Bramsiepe ym., 2012). Biomassoista on mahdollista ottaa talteen arvojakeita ja prosessien sivuvirrat ovat edelleen hyödynnettävissä mm. biokaasun tuotantoon (Kuvio 1). Kustannustehokkuuden kannalta on toimijan osattava arvioida käytettävissä olevan biomassan potentiaali halutun yhdisteen tuotantoon. Mitä vähäisempi prosessointitarve, sitä taloudellisemmaksi toiminta muodostuu. Teollisen symbioosin loppupäässä biokaasulaitokset toimiessaan ravinteiden keskittäjinä helpottavat mädätteen jatkojalostusta ravinnevalmisteiksi (ravinteet eivät enää hajallaan pitkin maakuntaa), lannoitetehdas voisi sijoittua biokaasulaitoksen yhteyteen tai läheisyyteen. Tällainen toimintakonsepti onkin kehittymässä esimerkiksi Säkylän VSS Biovoima Oy:n biokaasulaitoksen yhteyteen, missä Biolan Oy on kiinnostunut mädätteen jatkokehittämisestä lannoitekäyttöön.

Parhaimmillaan biokaasulaitos toimii alueen ravinteiden tehokkaana kierrättäjänä. Biokaasulaitoksen ympäristövaikutuksia on pystyttävä seuraamaan ja mallintamaan. Vesistö- ja ympäristövaikutusten osalta mallintaminen on toiminto, josta hyödytään vaikutusten seurannassa. Mallintamistyössä tulee päästä lähemmäs maatilaa ja kehittää lohkokohtaisia malleja. Vesistö- ja valuma-aluemallien jatkokehittämisessä olisi tarpeen saada käyttöön havaintoja ja tilakohtaisia tietoja myös koskien ravinteiden poistumaa pelloilta. Maaperän fosforivarantojen seuraaminen pitäisi saada pysyväksi. Tämä olisi keskeinen toimenpide ravinteiden kierrätyksen tuloksien ja vaikutusten seurannassa. Yleisesti ottaen on tarvetta seurantajärjestelmien kehittämiselle. Toimenpiteiden vaikuttavuutta ei tiedetä. Maanviljelyn ympäristötoimenpiteille ja ravinteiden kierrätystä edistäville menetelmille tulisi

kehittää arviointikriteerit, joita voitaisiin soveltaa uusien hankkeiden, ohjelmien ja strategioiden tulosten ja vaikutusten arvioinnissa.

4.3 Peltoalojen kestävä käyttö

Taloudellisesti kannattava ja ympäristöllisesti kestävä peltojen käyttö johtaa myös sosiaalisesti hyväksyttyyn ruoan tuotantoon ja maaseudun elinvoimaisuuden ylläpitämiseen. Peltolohkojen tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluvat tuottokyky, lohkon koko, muoto, yhtenäisyys, kaltevuus ja maalaji sekä peltojen etäisyys talouskeskuksista ja sijainti vesistöön nähden (Alakukku ym. 2017). Peltojen käyttöä optimoimalla pystytään varmistamaan hyvien lohkojen tuotantokyky ja parantamaan heikompien lohkojen tilaa. Heikompituottoisia lohkoja voidaan asettaa luonnonhoitopeltonurmiksi tai viherkesannoiksi ja ajan myötä palauttaa näitä lohkoja hyvin tuottaviksi lohkoiksi. Viljelijän osaamisella ja kattavalla tietämyksellä peltolohkojen ominaisuuksista lohkoja voidaan hyödyntää myös ympäristö- ja ilmastohyötyjä tarjoaviksi alueiksi sekä biomassan kasvattamiseen biokaasulaitosten tarpeisiin. Pölyttäjähyönteis- ja maaperän eliöstökantaa monipuolistavat toimenpiteet mahdollistavat turvallisemman elintarviketuotannon ruoantuotantoon tarkoitetuilla peltolohkoilla. Monipuolinen maatalouden peltojen hyödyntämisen tuotantorakenne tuo sekä taloudellista että ympäristönhoidollista vakautta muuttumassa oleviin ilmasto-oloihimme.

Kasvintuotantojärjestelmän monipuolistaminen lisää samalla koko ympäristön tilan ja maiseman monimuotoisuutta. Riista- ja maisemapellot lisäävät luonnon monimuotoisuutta. Riista- ja maisemapeltojen perustaminen on tällä hetkellä mahdollista osana ympäristökorvauksen peltoluonnon monimuotoisuus-toimenpidettä. Vaihtoehtoisesti viherkesantosäädösten pohjilta voidaan pelloilla kasvattaa niille hyvin soveltuvia seoskasveja. Yhteistyö paikallisen riistanhoitoyhdistyksen kanssa on suositeltavaa riistanhoitopeltojen perustamisen yhteydessä.

Apila-seosnurmi on hyvä korjata pelloilta vähintään kolme kertaa kasvukauden aikana, jotta vältettäisiin nurmimateriaalin biokaasun tuotantopotentiaalia laskevien mineraalitasojen ja ligniinipitoisuuden nousu. Biokaasun tuotannossa merkittävin potentiaali on ruohovartisella peltobiomassalla, joka käytännössä tarkoittaa

nurmimassaa. Suomessa arvioidaan olevan n. 250 000 hehtaaria biokaasun syötteiden tuotantoon soveltuvaa, rehun tuotantoon käyttämätöntä nurmialaa. Vaihtoehtoisesti nurmia voitaisiin hyödyntää tehokkaammin ns. vihreän biojalostamo-konseptin (kpl. 3.4) tavoin.

4.4 Peltonurmet arvojakeiden lähteenä

Satakunnassa merkittävä osa vajaasti hyödynnetyistä biomassoista on nurmibiomassaa. Sen tarjoamat biomassan tuotantomäärät Satakunnassa ovat LUKE:n biomassa-atlaksen (2017) perusteella yli 35 000 tonnia (k.a.), ja yksistään Tapausalueella 1 (Euran, Säkylän ja Köyliön alue) yli 3600 tonnia (k.a.) vuodessa (Taulukot 1 ja 2). Nurmimassa on hiili/typpi-suhteeltaan ihanteellisen biokaasutusmateriaalin yläpuolella, mutta tarjoaa vihreänä kasvimassana muita hyödyntämistapoja eläinrehukäytön lisäksi. Biomassa-atlakseen (2017) perustuvien tietojen mukaan Säkylän (mukaan lukien Köyliön tiedot) ja Euran (Pyhäjärviseutu) alueen sivuvirtapotentiaalitiedot pelloilta tulevasta biomassasta on esitetty Taulukossa 2 (Ryömä ym., 2018).

Taulukko 1. Satakunnan sivuvirtoina syntyvä nurmibiomassa biomassa-atlaksen (2017) mukaan.

Biomassan tyyppi	t (k-a)/a
Viherlannoitusnurmien mahdollinen alkusato	3443
Kesantonurmi	26994
Suojavyöhykenurmi	5065

Taulukkoon 2 on koottu tapausalueen 1 peltolähtöisen sivuvirran määriä tyyppikohtaisesti. Nykyisin nämä materiaalit tyypillisesti jätetään pelloille parantamaan maan kasvukuntoa seuraavia viljelyksiä varten. Vihreä lehtimassa ja varret olisi periaatteessa ajateltavissa myös osaksi ”vihreä biojalostamo”-konseptia. Sokerijuurikkaan naatteja syntyy Satakunnassa vuosittain 17 500 tonnia (k.a.), kun valkuaiskasvien varsia yli 20 kertaa vähemmän. Sen sijaan perunan varsia syntyy 1,5 kertaa enemmän kuin sokerijuurikkaan naatteja (biomassa-atlas, 2017).

Taulukko 2. Pelloilla syntyvän sivuvirtapotentiaalin määrä tapausalueella 1.

Kunta	Biomassan tyyppi	t (k-a)/a
Eura	Olki	36 030
	Valkuaiskasvien varret	90
	Perunan varret	1 569
	Sokerijuurikkaan naatit	1 984
	Viherlannoitusnurmien mahdollinen alkusato	208
	Nurmen siemenen olki	199
	Kesantonurmi	2 223
	Suojavyöhykenurmi	244
	Öljykasvien korsi	890
Säkylä	Olki	7 877
	Valkuaiskasvien varret	
	Perunan varret	2 407
	Sokerijuurikkaan naatit	1 606
	Viherlannoitusnurmien mahdollinen alkusato	25
	Nurmen siemenen olki	5,78
	Kesantonurmi	505
	Suojavyöhykenurmi	44
	Öljykasvien korsi	97
Köyliö	Olki	9 933
	Valkuaiskasvien varret	14
	Perunan varret	8 129
	Sokerijuurikkaan naatit	3 226
	Viherlannoitusnurmien mahdollinen alkusato	36
	Nurmen siemenen olki	142
	Kesantonurmi	549
	Suojavyöhykenurmi	99
	Öljykasvien korsi	171
Yhteensä		78 302,78

4.5 Peltojen vihreä biomassa

Vaihtoehtoisessa nurmen hyödyntämisskenaariossa vihreä biomassa prosessoidaan arvonlisää tuottaviksi yhdisteiksi, kuten proteiinituotteiksi tai kuiduiksi monen eri teollisuudenalan käyttöön. Tätä voidaan kutsua ”vihreä biojalostamo”-konseptiksi. Kuvion 1 esittämästä vihreän biomassan prosessointikaaviosta käy hyvin selville, että mahdollisuuksia lukuisten eri tuotteiden valmistamiseen on olemassa. Vihreä lehtibiomassa voi sisältää runsaasti kuitua (esimerkiksi heinät), tai vain vähän (esimerkiksi sokerijuurikkaan lehdet, pinaatti ymv.) Materiaalin laatu määrittelee osaltaan sen, mitä yhdistettä/yhdisteitä ko. kasvista kannattaa lähteä prosessoimaan.

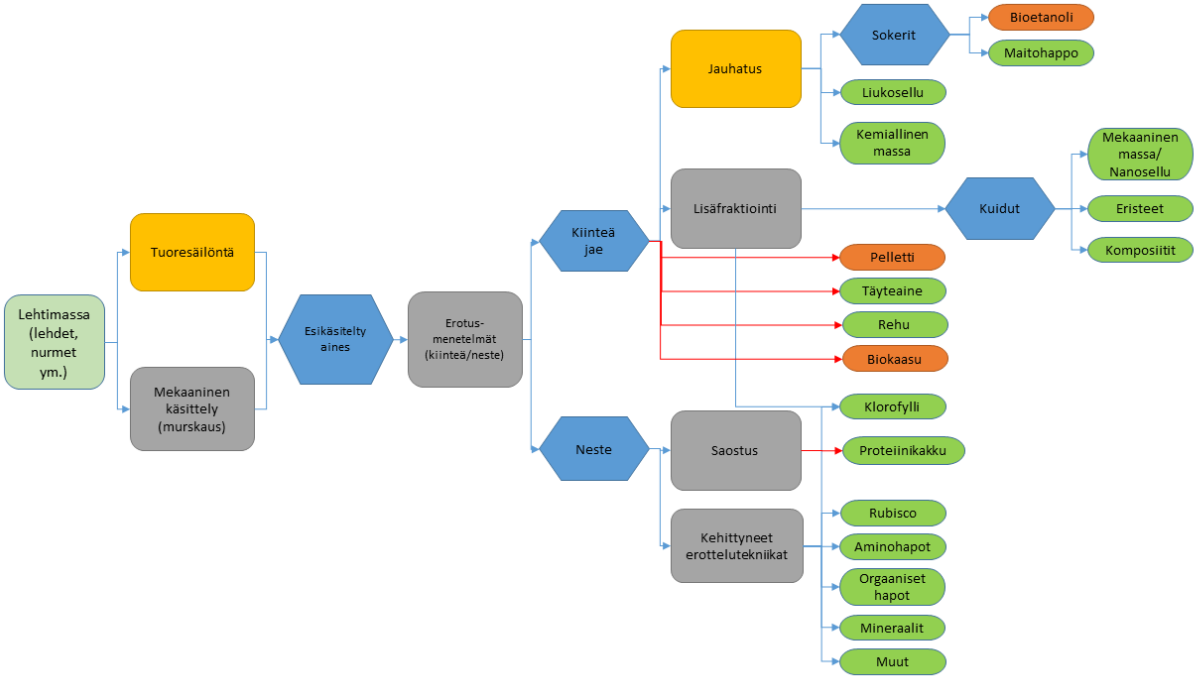
Hollantilaisissa selvityksissä (Dijk ym., 2013) sokerijuurikkaan naattien käyttöä eri prosessointiskenaarioilla tarkasteltiin. Laboratorio- ja pilot-mittakaavan tutkimuksissa kävi ilmi, ettei ”alhaiset kustannukset, vähäarvoiset tuotteet” –periaate tuottanut sokerijuurikkaan naattien kohdalla taloudellista kannattavuutta. Tarkasteltuina konsepteina olivat lehden kylmäpuristetusta mehusta saostetun proteiinikakun tuotanto, lämmitys & puristus-periaatteella uutetusta mehusta valmistettu proteiiniseos sekä lämmön ja energian tuotanto säilötyn lehtimassan biokaasuprosessista. Mikään kolmesta konseptista ei ollut taloudellisesti kannattavaa johtuen osittain liian työläästä lehtien murskausvaatimuksesta. Lisäksi menetettiin lehtimassan maan kasvukuntoa parantava vaikutus (mineraalit, typpi). Positiivisena vaikutuksena lehtimassan keräämisessä oli pienempi typen oksidien vapautuminen ilmakehään maaperään jätettyjen lehtien toimesta talven aikana. Hyödyt maaperän kasvukuntoon olivat kuitenkin kiistattomat.

Toisella lehtimassalla ja korkeamman lisäarvon proteiinilla (rubisco) saatiin taloudellisesti kannattavampia tuloksia (Keijsers, 2017). Esimerkki kuvastaa hyvin toisaalta pitkäjänteisen tutkimustyön ja koulutuksen merkitystä prosessien optimoinnissa, myös rohkeutta ja tarvetta suunnitella prosesseja kasvimassakohtaisesti, jotta myös taloudellinen kannattavuus saavutettaisiin.

Tuoreen lehtibiomassan esikäsittely määrittää pitkälle massasta saatavat tuotemahdollisuudet. Esikäsittely voi olla joko mekaanista, tai biomassa voidaan säilöä tuorerehutekniikoilla lisäämällä materiaaliin esimerkiksi orgaanista happoa. Tällainen säilötty materiaali soveltuu käytettäväksi ympäri vuoden, mutta on laadultaan sopivaa erityisesti eläinten rehuksi ja joihinkin kuitusovelluksiin, johtuen

hapon aiheuttamasta kasvimassan polymeerien pilkkoutumisesta. Tuoreena prosessoitu materiaali sen sijaan soveltuu esimerkiksi rubisco-proteiinin ja klorofyllien eristämiseen. Rubisco-proteiini on yksi maailman yleisimmistä proteiineista. Se sitoo kasvin lehdessä ilman hiilidioksidia orgaaniseksi hiileksi. Proteiinilla on todettu hyviä toiminnallisia ominaisuuksia, sen aminohappokoostumus on erinomainen, se on maultaan neutraali eikä sen tiedetä aiheuttavan allergioita.

Kuva 3 esittää vihreän lehtimassan prosessointia Keijsersin (2017) pohjalta. Kaavioon on lisätty punaisella värillä energian tuotantoon liittyvät tuotteet.



Kuva 3. Vihreän lehtimassan prosessointi.

5 UUSI MATERIAALITALOUS, AGROBIOMATERIAALIT

Uuden materiaalitalouden perustan muodostavat biomassapohjaisten, biohajoavien materiaalien kehitys ja kierrätettävyyteen perustuva tuotesuunnittelu. Biomassapohjaiset alkutuotannon materiaalit ovat agrobiomateriaaleja. Agrobiomateriaaleihin voidaan lukea siten muu kuin metsien hyödyntämiseen keskittyvä materiaaliperusta (Rouilly & Rigal, 2002). Edellä kappaleessa 4 kuvattu vihreän lehtimassan prosessointi on esimerkki agrobiomateriaalitaloudesta, jossa materiaalin kemiallisista ominaisuuksista riippuen voidaan tuottaa hyvin monenlaisia uusia tuotteita. Biomassojen mädättämisellä tuotetaan biokaasua, mutta ensisijaisesti biomassoja tulee pyrkiä hyödyntämään muita reittejä käyttäen. Biomassat ovat vedestä johtuen usein joustavia. Veden sitoutuminen materiaaliin määrittelee tyypillisesti agrobiomateriaalin käytettävyyden uusissa tuotteissa. Veden sitoutumista voidaan kemiallisesti säädellä. Biomassojen hyödyntämisessä keskeiset yhdisteet ovat tärkkelys, proteiinit, erilaiset kuidut sekä kirjava joukko muita, mm. lääkinnällisiä, molekyylejä.

5.1 Tärkkelys

Tärkkelys on yksi tavallisimmista kasvien varastoravintopolymeereistä, ja runsaasti sitä löytyy perunasta, monista juureksista ja viljojen siemenistä. Tärkkelys on kasveissa jyväsinä, jotka ovat yksinkertaisesti eroteltavissa muusta biomateriaalista. Tärkkelyksen käyttökelpoisuus ja plastisuus-käsite ilmenevät tavalliselle kuluttajalle esimerkiksi kiisselin valmistuksessa kotikeittiössä: tärkkelysjauhon kuumentuessa vedessä syntyy liisteriä, kun jyväset rikkoutuvat.

Tärkkelystä on jo pitkään hyödynnetty mm. biopohjaisten ja biohajoavien muovipussien valmistuksessa. Esimerkkinä kompostoituvasta tärkkelysmuovituotteesta käy hyvin myös hollantilaisen Rodenburg Biopolymersin tärkkelyspohjainen, perunateollisuuden sivuvirrasta valmistettu, polylaktidi-aineella vahvistettu Solanyl-kalvo, jota on käytetty v. 2015 alkaen Mars-suklaapatukoissa. Tärkkelyspohjainen, savimateriaalilla vahvistettu terveysside on esimerkki toisen tyyppisestä, saniteettipuolelle suunnatusta uudesta tuotekehityksestä (www.tno.nl).

Edellä kuvatun pakkauskalvokäytön lisäksi tärkkelyksen käytettävyydestä biohajoavina materiaaleina on paljon esimerkkejä. Koska tärkkelyksen plastiset ominaisuudet tulevat esiin kuumennettaessa, ekstruusioteknologiaan pohjaava termomekaaninen käsittely on eniten hyödynnetty teollinen tapa eri tärkkelyspohjaisten materiaalien valmistukseen. Tärkkelyspitoista sivuvirtaa ei ole välttämätöntä prosessoida tärkkelyksen puhdistamiseksi, vaan materiaali voidaan yksinkertaisesti kuivata ja jauhaa jauhomaiseksi tuotteeksi, lisätä seokseen mahdollisesti pehmenninainetta ja ekstruusiotekniikalla valmistaa pelleteiksi, raaka-aineiksi muuhun tuotantoon. Tuotteet voisivat soveltua esimerkiksi puutarha- ja taimituotantoon maatuviksi taimipurkeiksi tmv. (Jan ym. 2015) korvaamaan muovimateriaaleja. Tätä käyttöaluetta lähellä olevat teollisuudenalat ovat erityisesti perunanjalostusteollisuus ja eri juureskuorimot ymv. Biohajoavat taimipurkit olisivat yksi hyvin helposti käyttöön otettava biomateriaalisovellus sekä yksityisille henkilöille että julkiselle sektorille ja yrityksiin. On arvioitu, että biopohjaisen PLA-purkin ilmastojalanjälki on vain 70% vastaavasta petrokemiallisesta materiaalista (polypropyleeni tai polyetyleeni) valmistetusta purkista (EU Commission Report ET-02-18-886-EN-N). Komission raportti kuvaa, kuinka organisaatiot voivat julkisissa näitä purkkeja koskevissa tarjouspyynnöissä huomioida mm. ilmastonäkökohdat. Vastaavia selontekoja tarvittaisiin laajasti eri tuotteille ja tuoteryhmille, myös suomenkielisinä.

5.2 Proteiinit

Proteiinit ovat aminohapoista koostuvia polypeptidiketjuja. Varastoravintona ja lukuisissa solujen eri toiminnoissa proteiinit ovat oleellisen tärkeitä molekyylejä sekä eläin- että kasvikunnassa. Kuten tärkkelys, proteiinit ovat korkealle lämpötilalle herkkiä, ja niiden rakenne muuttuu lämpötilan noustessa. Proteiinipitoista materiaalia voidaan tärkkelyksen tavoin pehmentää eri tavoin olosuhteita muokkaamalla (lämpötila, kosteus, lisäaineet ymv.). Materiaalien lopulliset ominaisuudet riippuvat paljon itse proteiinista. Parhaiten proteiinien ominaisuuksia ja käyttöä eri biomateriaaleissa on selvitetty viljojen varastoproteiineista (soija, auringonkukka ymv.), viljojen prosessoinnin sivutuotteista (zeiinit, gluteeni ymv.) sekä erilaisista eläinkudosperäisistä proteiineista (kollageeni, keratiini ymv.).

Eläinperäiset proteiinit. Liivate on proteiinivalmiste, jonka raaka-aineena on tavallisesti sian nahasta tai sian tai naudan luuytimistä, suolista ja jänteistä saatu kollageeni. Liivatteelle on tyypillistä hyvin suuri vedensidontakyky. Vedessä liivate turpoaa ja kuumennettaessa yli 50 asteen sen kiteisyys häviää ja syntyy homogeeninen seos. Liivatetta käytetään elintarviketeollisuudessa sakeutusaineena, ja myös tärkkelysseoksissa biomateriaaleissa ja terveysteknologian sovelluksissa. Kemiallisilla menetelmillä muokattuna liivatteesta saadaan veteen liukenemattomia tuotteita. Kollageenia saadaan eläinperäisten lähteiden lisäksi kaloista. Kalateollisuuden sivuvirrat, perkuujätteet ymv. tarjoavat kanavan kalaperäisen liivatteen valmistukseen. Kalaperäisen liivatteen ominaisuudet poikkeavat jonkin verran eläinperäisestä liivatteesta. Kollageenin eristäminen biomateriaaleista on verraten yksinkertaista. Materiaali liuotetaan kuumassa vedessä, jolloin kollageenin rakenne muuttuu ja säiemäinen proteiini depolymeroituu liuokseen, mistä se voidaan uudelleen saostaa.

Palkokasvien ja öljysiementen proteiinit. Maailman laajuisesti tärkein palkokasvi on soija, johon liittyvä öljyn ja rasvan tuotanto merkitsee myös suurta proteiinimäärää käytettäväksi esimerkiksi biohajoaviin materiaaleihin. Proteiineja voidaan muokata kemiallisesti, ja näin vaikuttaa mm. tästä raaka-aineesta valmistettujen materiaalien biohajoavuuteen. Proteiineja lisätään tärkkelyspitoisiin materiaaleihin lisäämään vedenpitävyyttä tai parantamaan ligniinipitoisten materiaalien rakennetta (Rouilly & Rigal, 2002). Suomessa härkäpavun lisääntyneen prosessoinnin kautta käytettäväksi soveltuvaa palkokasvisivuvirtaa saattaa olla tulossa markkinoille. Öljysiementen puristejäämänä syntyy proteiinipitoista materiaalia, ns. siemenkakkua. Siemenkakkujen (esimerkiksi pellava) proteiinien eristäminen ei ole erityisen helppoa, lisäksi siemenkakuissa saattaa olla mukana runsaasti ruoansulatusta heikentäviä yhdisteitä, joista on vaikea päästä eroon. Tutkimusta on tehty mm. materiaalin mikrobiologisella fermentoinnilla (sienet ja bakteerit). Siemenkakkujen soveltuvuutta esimerkiksi eläinten rehukäyttöön on saatu parannettua.

Viljan prosessoinnin proteiinit. Viljan tärkkelyksen puhdistuksessa syntyy proteiinipitoista sivuvirtaa, esimerkiksi vehnässä gluteenia. Näillä proteiineilla on ominaisuuksia, jotka ovat käyttökelpoisia elintarviketeollisuudessa, esimerkiksi kalvo- tai pakkausmateriaaleina. Gluteenin puhdistaminen on suoraviivaista, vehnäjauhosta tms. sivuvirtamateriaalista lämpimällä vedellä tärkkelyksen pois huuhtomista.

Maidon proteiinit. Maidon pääproteiini on kaseiini, jota yhdessä litrassa on 25-27 g. Juuston valmistuksessa maidon kaseiini saostetaan entsymaattisesti juoksuttimella tai kemiallisesti kuumentamalla ja/tai happokäsittelyllä. Saostamisen jälkeen muodostuu heraa (n. 40 g/litra), joka sisältää edelleen saostumattomia proteiineja sekä laktoosia. Kaseiinin käyttö muuhun kuin elintarvikkeisiin on ajateltavissa silloin, kun maito ei kelpaa esimerkiksi antibioottijäämien tmv. syyn takia elintarvikkeeksi. Eri sovelluskohteita kaseiinille on runsaasti, muun muassa vedenpuhdistuksessa, maaleissa tai muovien osana. Heraproteiineille on lukuisia eri käyttösovelluksia myös elintarviketeollisuuden ulkopuolella, ja hyvien emulsio-ominaisuuksien takia käytettävyyttä on osoitettu luonnonmukaisissa shampoissa ja voiteissa. Maidon proteiineista on mahdollista lisäksi valmistaa vaatteisiin soveltuvaa, hapatettuun, rasvattomaan maitoon perustuvaa maitokuitua. Kuidun tuotannossa maidon kaseiinikuidun vahvikkeeksi käytetty formaldehydi on paljolti korvattu samalla tavoin myrkyllisellä akrylonitriilillä (jonka käyttö on yleistymässä mm. 3D-tulostimissa käytettävien kovetinaineiden seassa; vrt. ns. ABS-polymeeri (akrylonitriili-butadieeni-styreeni). Maitokuidun tuotannossa on raportoitu kuitenkin myös ekologisesta, biohajoavasta tuotantotavasta: kompostoituvan kaseiinikuidun tuottajia ovat mm. saksalainen Qmilk (https://www.qmilkfiber.eu/?lang=en). Kuidutusprosessin kustannukset ovat tällä hetkellä korkeat, ja tekstiilimateriaalille siten syntyy verraten korkea hinta.

5.3 Muut polymeerit

Selluloosa, mikro- ja nanoselluloosa, pektiinit, hemiselluloosat, ligniini ja levistä peräisin olevat polymeerit, kuten alginaatti, voivat olla ominaisuuksiltaan ”plastisia”, ja käyttökelpoisia esimerkiksi kalvomateriaaleina, jos polymeerien eristäminen kasvimateriaalista tehdään teknisesti vaaditulla tavalla. Esimerkiksi selluloosasta voidaan mekaanisesti jauhamalla tai entsymaattisesti tuottaa mikrokuituista selluloosaa. Pektiiniä tuotetaan maailmalla pääosin sitrushedelmistä, mutta Suomessa esimerkiksi sokerijuurikkaan pektiini voisi olla erikseen talteen otettavissa. Pektiineillä on runsaasti eri käyttösovelluksia sekä elintarviketeollisuudessa että pakkausmateriaaleissa. Liivatteen tavoin pektiinit imevät runsaasti vettä. Pektiinit ovat anionisia happoja, ja tämän ominaisuutensa

takia pystyvät muodostamaan kemiallisia komplekseja kationisen polysakkaridin, kuten sienistä, äyriäisistä tai hyönteisistä valmistettavan kitosaanin kanssa.

Ligniini on merkittävä sivuvirta paperiteollisuudessa, mutta tähän asti ligniini on käytetty tehtaissa energian tuotantoon. Materiaalina ligniini on ollut hankalasti hyödynnettävissä. Suomessa ligniiniä on kuitenkin nyt ryhdytty jalostamaan tuotteeksi Stora Enson Kotkan Sunilan sellutehtaalla. Käyttökohteeksi on kaavailtu hiilikuidun valmistusta (www.storaenso.com). Ligniinille kokeillaan myös käyttötapoja eri vesiensuojelurakenteissa, asfaltin ja betonin lisäaineena, antioksidanttina, komposiittien ymv. osana sekä esimerkiksi eri fenolipohjaisten kemikaalien ainesosana ja raaka-aineena (Zhang ja Brook, 2017).

Rasvahapot raaka-aineina biopohjaisiin ja biohajoaviin muoveihin. Viime vuosina raakaöljypohjaisen muovin korvaajaksi on voimakkaasti ryhdytty selvittämään sekä tutkimuksellisesti että tutkimuksellisesti biopohjaisten raaka-aineen käyttöä. Energian ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä biopohjaisten polymeerien valmistus ja käyttö raakaöljypohjaisiin polymeereihin verrattuna huomattavan edullista; 20-50 GJ/t polymeeriä ja 1-4 t CO_{2eq}/t polymeeriä, vastaavasti (Wolf ym., 2005). Toistaiseksi biomuovien osuus kaikista muoveista on minimaalinen, ja siten ilmastovaikutukset pieniä, mutta muutokset fossiilisen öljyn saannissa ja hinnoissa voivat alkaa muuttaa tilannetta nopeastikin.

Euroopassa on käynnissä useitakin suuria hankkeita tämän materiaalitutkimuksen ja pilotoinnin parissa (mm. Barbara; http://www.barbaraproject.eu/ ja RES URBIS (https://www.resurbis.eu/). Barbara-hankkeessa kehitetään maissitärkkelysteollisuuden sivuvirroista sekä muusta maatalouden sivuvirrasta (esimerkiksi porkkanasta uutetut, 3D-tulostimiin tarkoitetun materiaalia lujittavat lisäaineet) uusia, kokonaan biopohjaisia muoveja ja 3D-komposiittimateriaaleja esimerkiksi autoteollisuuden tarpeisiin. Res Urbis-hankkeessa tavoitellaan täydellisesti biohajoavan, monenlaisesta eri biomassasta fermentoimalla valmistetun PHA-polymeerin käyttöä eri sovellutuksiin. Raaka-aineen kustannukset ovat merkittävin PHA-valmistuksen kustannustekijä. Sivu- ja jätevirtoja hyödyntämällä PHA:n kustannukset saadaan alenemaan. Vuoden 2014 hintataso PHA-biopolymeerille oli 4-5€/kg (Kootstra ym., 2017). Tällä hetkellä myös alhainen biomateriaalien konversiotehokkuus on alhainen (1 kg tuotetta 5 kg:sta raaka-ainetta), mikä tuottaa runsaasti (uutta) sivuvirtaa esimerkiksi biokaasutukseen.

5.4 Kuidut materiaalien kestävyysominaisuuksien lisääjänä

Erilaiset komposiitit ovat esimerkkejä, kuinka agrobiomateriaaleja ja niiden vettä sitovia ominaisuuksia käytetään hyödyksi rakenteiden lujittamisessa. Puu on hyvä esimerkki luonnollisesta komposiitista, jossa vuorottelevat kuiduiksi polymeroitunut selluloosa, pektiini, hemiselluloosa ja ligniini kemiallisina polymeerimateriaaleina. Kasvikuituja käytetään mm. tärkkelysseoksissa vahvistamaan materiaalin käyttöominaisuuksia. Orgaanisen biomassan kierrätys on tällöin kokonaisuudessaan biohajoavissa materiaaleissa.

Monet tällä hetkellä sivuvirroiksi jäävät agrobiomassat, kuten perunankuorimassa tai sokerijuurikkaan puristeleike voitaisiin käsitellä entsymaattisesti tai happokäsittelyllä muokata komposiitiksi (Rouilly & Rigal, 2002). Lisää rakenteellista kovuutta tai esimerkiksi vedenhylkimisominaisuuksien parantamista voidaan saada aikaan mineraalien lisäyksellä. Tällaisia ratkaisuja voisivat olla esimerkiksi kalkin tai kipsin lisääminen materiaaleihin. Suomessa on vahvaa osaamista kasvibiomassan entsymaattisista käsittelyistä eri käyttökohteisiin sekä entsyyminvalmistajayrityksiä, kuten ROAL Oy. Entsymaattisesti kasvibiomassasta (juuresten kuorimassa, sokerijuurikkaan puristeleikkeet) on voitu tuottaa mikrokuituista selluloosaa, jota on hyödynnetty betonin vahvikkeena (Hepworth ym. 2017). Rakenteellisesti vahvempaa betonia, johon on lisätty pieni määrä veden sitoutumiseen ja siten betonin kovettumisominaisuuksiin vaikuttavaa kasvikuitua, tarvitaan vähemmän, mikä pidentää betonin käyttöikää ja kulutusta. Maailmanlaajuisesti betonin valmistuksen on arvioitu muodostavan n. 8% maapallon hiilidioksidipäästöistä (REF), joten tämän kaltaisella tuotekehityksellä on merkittävä ilmastohyöty. Elintarviketeollisuuden sivuvirtana syntyneestä agrobiomassasta vähäisellä kemikaali- ja energiankulutuksella tuotettu kuituaines on kestävällä tavalla tuotettua kasvikuitua. Satakunnassa toimii betonivalimoita, joiden tuotannossa kuituaines olisi hyödynnettävissä lähellä sen muodostus- ja prosessointipaikkaa.

Agrobiomateriaalit ovat aina jossain määrin vettä imeviä, hydrofiilisiä materiaaleja. Siksi ne hajoavat kosteuden vaikutuksesta helposti ja/tai mikrobiologisesti. Luonnonmateriaaleista on löydettävissä rasvoja ja öljyjä, joilla biomateriaalien pintoja voidaan käsitellä. Edellä mainittu mineraalien lisääminen materiaaleihin vaikuttaa samoin, koska kemiallista sidosrakennetta vahvistamalla itse materiaalin

sisällä saadaan veden tunkeutuvuutta vähennettyä. Pintakäsittelyjä voidaan vahvistaa myös lisäämällä paperi- ja selluteollisuuden biojalostamojen sivutuotteena syntyvää mäntyöljyä agrobiomateriaaleihin.

Lisäesimerkkejä ovat: biopohjaiset eristemateriaalit. Nykyiset rakennusten eristemateriaalit pohjautuvat pääosin muovipohjaisiin kuituihin, vaahtoihin ja muihin ei-uusiutumattomiin materiaaleihin. Biopohjaiset materiaalit, kuten eläinperäiset kuidut (mm. lampaanvilla), kasvikuidut (mm. pellava, hamppu) ja elintarviketuotannon sivuvirrat (mm. olki) sopivat eristeisiin. Biopohjaisten eristeiden tuotanto voi olla peruseristetuotantoon nähden sekä energiaa säästävää, että ympäristöystävällisempää. Materiaalit sitovat hiilidioksidia rakenteisiin. Biopohjaisilla eristeillä voidaan vaikuttaa miellyttävään, puhtaaseen sisäilman laatuun. Käytön päättyessä materiaalit voidaan pääosin kierrättää uusiin eristeisiin. Kompostointi voi olla vaikeaa, jolloin polttaminen on tyypillinen materiaalin loppukäsittely. Biomateriaalien tuotantoa syntyy lähiympäristössä runsaasti, mikä vähentää logistiikasta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä verrattuna öljypohjaisten tuotteiden logistiikkaan. Näiden rakennusmateriaalien valintaperusteisiin vaikuttavat ekologisten ja ilmastoperusteiden lisäksi hinnan ja kustannusten muodostus pitkällä aikavälillä (mm. lämmityskulut). Rakennuksissa tulisi voida arvottaa asioita kuten rakennuksen kunto, terveysvaikutukset käyttäjiin sekä kestävyysseikat. Poliittisella tasolla tiedottamistyöllä ammattilaisilta kuluttajille tulisi olla vahva asema, ja sitä olisi tuettava.

Agrobiomateriaalin käyttö vähentää riippuvuutta fossiilisesta öljystä, ja parhaimmillaan on kilpailukykyinen vaihtoehto petrokemialliselle muoville. Kustannusten kannalta kokonaisen agrobiomassan käyttö ilman erityisiä molekyylien puhdistusprosesseja kilpailee todennäköisesti muovin kanssa, mutta mikäli materiaalille pystytään luomaan käyttö- ja kierrätettävyysominaisuudet paremmiksi, hyötyvät siitä kaikki toimijat. Esimerkiksi entsyymiseosten käyttö ei enää muodosta kriittistä kustannustekijää biomassan prosessoinnissa. Agrobiomateriaaleista kyetään muokkaamaan miltei synteettisiin muovimateriaaleihin verrattavia tuotteita. Silloin näiden materiaalien käyttö ei tule poistamaan materiaalin talteenkeräämistarvetta käytön päätyttyä.

Metsäpohjaiset biomassat eivät sisälly tämän selvityksen raaka-aineisiin, mutta koska Satakunnan alueella sijaitsee merkittävää sellun ja paperin tuotantoa samalla

muodostuvine sivuvirtoineen, kuitusovellutuksista on syytä mainita tässä yhteydessä mm. UPM-konsernin kehittelyn alaiset kuitusovellutukset nanoselluloosan osalta: kokeiluja Terrafamen kaivoksen prosessivesien puhdistuksessa ollaan tekemässä, samoin nanosellulle ollaan kehittelemässä käyttöalueita esimerkiksi liimojen ja maalien sidosaineina, 3D-tulostimien materiaaliseoksissa ja jopa teräksen korvaamisessa autoteollisuuden alalla. Lisäksi lääketeollisuuden sovelluksiin nanosellulla on käyttökohteita mm. solujen kasvualustoissa.

5.5 Väriaineet, polyfenolit, alkaloidit ja muut arvojakeet

Luonnollisten väriaineiden kysyntä elintarviketeollisuudessa on lisääntynyt kuluttajien kulutustottumusten ja toiveiden myötä. Samalla luonnollisilla väriaineilla on kasvavaa kysyntää myös esimerkiksi tekstiiliteollisuudessa. Tyypillisenä haasteena on väriaineiden voimakkuus ja kemiallinen kesto, sillä monet luonnonvärit haalistuvat ympäristötekijöiden (valo, happamuus, lämpötila) johdosta. Väriaineiksi soveltuvia yhdisteitä löytyy esimerkiksi marjojen ja hedelmien puristejätteistä, vihannesten ja muiden kasvisten kuorijätteestä, viljan sekä mantelin ja pähkinöiden kuorijätteestä, puun kaarnasta ja lehdistä (Räisänen ym. 2017). Väriaineet ovat kemialliselta koostumukseltaan monenlaisia. Väriaineiden pääryhmiä ovat klorofyllit, antrakinonit, karotenoidit sekä flavonoidit.

Vihreän kasvibiomassan pääväriaineet ovat klorofyllejä. Koska klorofyllit hajoavat helposti valon ja lämmön vaikutuksesta, niiden soveltuvuus tekstiili- tai elintarvikeväreiksi on rajoitettua. Joitakin muunneltuja johdannaisia käytetään esimerkiksi makeisväreinä sekä kosmetiikassa. Kestävät antrakinonit ovat tyypillisesti punaisia pigmenttejä, karotenoidit, kuten porkkanan beetakaroteeni, ovat väreinä vaaleankeltaisesta syvänpunaiseen tuottavia pigmenttejä. Osa näistä on vesi-, osa rasvaliukoisia. Keltaista väriä tuottavia alkaloideja esiintyy mm. puiden ja pensaiden juurissa ja kaarnassa. Perunasta ja tomaatista saadaan mielenkiintoisia, lääketeollisuuteen soveltuvia alkaloideja.

Vesiliukoiset flavonoidit tuottavat värejä keltaisesta ja oranssista siniseen. Tyypillisesti flavonoideja on runsaasti lehdissä, hedelmissä, marjoissa ja juurissa. Flavonoidivärit haalistuvat valon vaikutuksesta helposti, ja värien ominaisuudet vaihtuvat myös ympäröivän pH:n vaikutuksesta. Monet näistä yhdisteistä voivat olla

terveysvaikutteisia toimien mm. antioksidantteina. Värien säilyminen eri ympäristöolosuhteissa on edelleen tärkeitä tutkimuskohteita, sillä kysyntää luonnollisille väreille tuntuu löytyvän maailmalla. Monet mikrobit, sekä sienet että bakteerit, kykenevät tuottamaan kestäviäkin väriaineita. Mikro-organismeja fermentoimalla voidaan päästä hyvin suuriin väriaineen tuottomääriin. Kiertotalouden kannalta on mielenkiintoista etsiä hiilihydraattipitoisia, mikrobien kasvun mahdollistavia sivuvirtoja, joilla värejä voidaan tuottaa.

6 PROSESSIEN SIVUVIRROISTA SIVUTUOTTEIKSI

6.1 Sivuvirtojen tyypit ja sijoittuminen

Biokaasusta on rakentumassa Suomeen merkittävä uusiutuvaan energiantuotantoon lukeutuva pilari. On ennustettavissa, ettei mikään nykyisin tunnetuista uusiutuvista energian lähteistä, mukaan lukien bioenergia, tuuli-, aurinko- ja vesivoima sekä maalämpö, yksistään pysty kattamaan energiankulutuksen tulevaisuuden tarpeita. Kiertotalouteen pohjautuvassa talousajattelussa näistä uusiutuvista energianlähteistä bioenergiaan kuuluva biokaasu tarjoaa erinomaisen lähtökohdan energiantuotannolle sellaisesta biomateriaalista, jota ei kannattavasti pystytä hyödyntämään muualla. Bioetanolin tuotanto biomassasta on Suomessa myös tärkeää erityisesti Suomen mittavien metsävarojen ja metsäteollisuuden ansiosta: puupohjaisista sivuvirroista Suomessa St1 valmistaa sahanpurupohjaista bioetanolia liikennekäyttöön. Biodieselin valmistuksessa hyödynnetään erityisesti rasvapitoisia elintarviketeollisuuden sivuvirtoja, vaikka kaikessa bioenergian tuotannossa voitaisiin pelloilla viljellä erityisesti energian tuotantoon optimoituja kasveja. Suunta bioenergian tuotannossa lienee kuitenkin orgaanisen maa- ja metsätalouden sekä elintarviketeollisuuden sivuvirtojen hyödyntämisessä, ja pellot halutaan varata ihmisten ja eläinten ruoan tuotannolle. Kun bioenergian tuotannossa käytetään hyödyksi viljelymailta peräisin olevaa biomassaa, ravinnekierto on lähes suljettu, kun kaasun tuotannossa syntynyt liete ravinteineen saadaan palautettua takaisin pelloille lannoitteeksi uutta kasvustoa varten. Ravinteiden, erityisesti typen ja fosforin, kierrätys on oleellisen tärkeää kestävän maatalouden ja

elintarviketuotannon näkökulmasta. Suomessa maatalous on yksittäisistä toimialoista suurin fosforin ja typen käyttäjä ja myös kierrättäjä. Erilaiset biomassat sisältävät vuositasolla kierrätettävissä olevaa fosforia yhteensä noin 26 000 tonnia, mikä on enemmän kuin koko Suomen nurmien ja viljojen lannoitustarve.

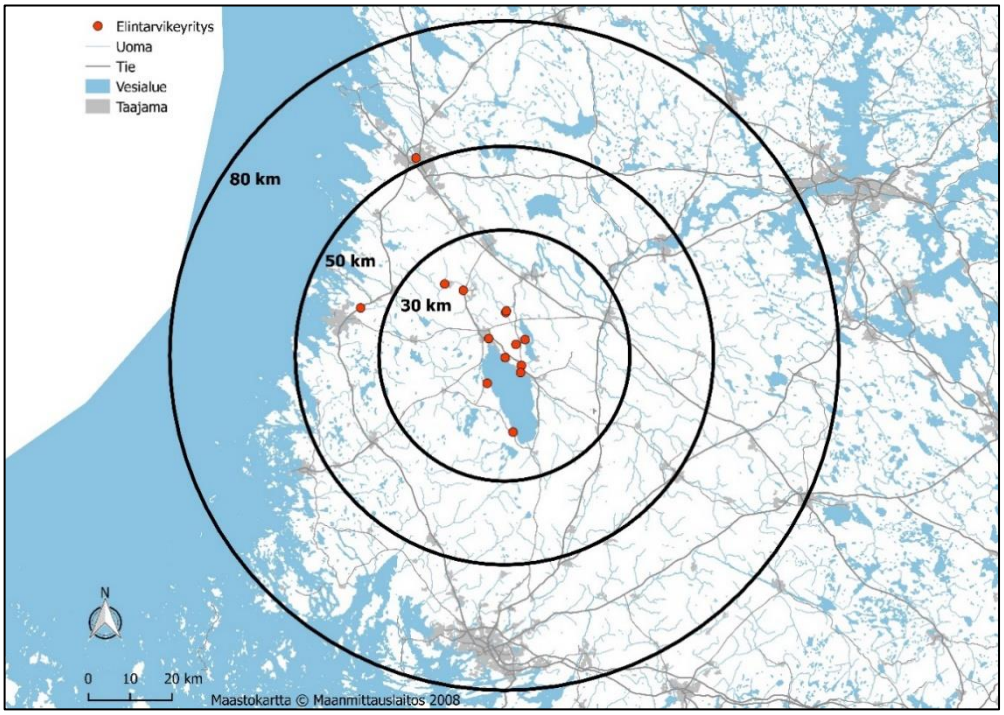
Pyhäjärviseudun elintarviketeollisuudesta tulevan biokaasutukseen kelpaavan sivuvirran määriä on esitetty Taulukossa 3 (Ryömä ym. 2018). Taulukon tiedot perustuvat yrityksiltä saatuihin arvioihin.

Taulukko 3. Pyhäjärviseudun elintarviketeollisuuden sivuvirtamääriä ja saatavuus.

Sivuvirran laatu	Sivuvirran määrä t/a	Jakeen saatavuusarvio kk/vuosi
Kalkkunan teurasjäte	5 500	tammi-joulu
Kalkkunan sulka	1 500	tammi-joulu
Puristeleike (juurikasteollisuus)	73 000	loka-tammi
Melassi (juurikasteollisuus)	15 000	loka-tammi
Puristekalkki (juurikasteollisuus)	10 000	loka-tammi
Multa (juurikasteollisuus)	40 000	loka-tammi
Naatit (juurikasteollisuus)	2-3	loka-tammi
Sokerijuurikkaiden soluneste	n. 500 000	loka-tammi
Kasvissivuvirta (elintarviketeollisuus)	5 000	heinä-tammi
Jätekala	100	loka-touko
Kalajalostuksen sivuvirrat		
	100	touko-heinä
	100	loka-joulu

Maa- ja metsätalouden sivuvirroilla voi olla kemiallisia, mekaanisia ym. käytettävyyksiä, jotka nousevat arvopotentiaaliltaan biokaasun arvon edelle. Kiertotalouden jätehierarkian mukaisesti tällöin jakeet tulisi hyödyntää ensisijaisesti muussa kuin biokaasun tuotannossa. Arvojakeiden erottelun jälkeenkin aines voi

vielä olla soveliasta biokaasun tuotantoon. Tässä selvityksessä tarkastellaan erityisesti erilaisten satakuntalaisten syötteiden potentiaalia toisaalta erilaisten arvojakeiden, toisaalta biokaasun tuotannossa.



Kuva 4. Elintarviketeollisuuden sijoittuminen Pyhäjärviseudulla. Kuva: Elisa Mikkilä

Sivuvirtojen soveltuvuus biokaasutukseen vaihtelee. Yksi tapa vertailla sivuvirtojen soveltuvuutta biokaasutukseen on hiili/typpi-suhde. Hiili/typpisuhteen perusteella ideaalisimpia tuotteita ovat ne, joiden suhdeluku on 15-25 välillä. Sekä kovin matalat arvot, että korkeat arvot vaikuttavat epäedullisesti biokaasuprosessin mikrobikasvustoon syötteen tasapainoon esimerkiksi typen suhteen. Tässäkin on eroja, miten hiili ja typpi ovat sitoutuneet sivuvirtaan. suhdeluku voikin olla välillä 5-50, kun syötteiden määrien ja laadun suhde on tasapainossa. (Suomen Biokaasuyhdistyksen julkaisu)

Taulukko 4. Hiili/typpi-suhteen mukainen raaka-aineiden biokaasupotentiaalin vertailu.

Sivuvirta	Hiili/typpi-suhde
Isosorsimo 2 (lehdet)	51.7
Kasvissivuvirta	44.0
Lammas, kuivaheinä	34.6
Isosorsimo 1 (juuret ja lehdet)	34.6
Lammas, kuivike	32.3
Juurikkaan ruohoharava	25.0
Ohra	24.1
Juurikkaan palamassa	20.7
Suurtalouskeittiön ylijäävä ruoka	18.9
Melassi	17.2
Käytetty sienimöalusta	16.3
Vesirutto	16.0
Jättipalsami	14.3
Lammas, maha, rasva, suoli	12.8
Br suolijäte	9.8
Rasvaliete	8.5
Kalkkunan luu ja nahka	7.3
Jätekala	4.1
Lammas, jätenahka	3.8

Pyhäjärvi-instituutin RANE-hankkeessa toteutetun hiili/typpisuhteeseen perustuvan syötemateriaalin vertailun tuloksena (Taulukko 4) soveltuvimpia materiaaleja biokaasun tuotantoon ovat: juurikkaan ruohoharava, ohra, juurikkaan palamassa, suurtalouskeittiön ylijäävä ruoka, melassi, käytetty sienimöalusta ja vesirutto (Ryömä ym., 2018).

7 KATSAUS TUOTANTOALOITTAIN

7.1 Kasvistuotanto

Kierrätyksen näkökulmasta maataloudessa syntyy sellaista kasviperäistä sivutuotetta melko runsaasti, jonka kierrättäminen arvojakeiksi on vaikea saada

kannattavaksi. Yksinkertaisimmillaan materiaalin ravinteet kierrätetään korjuun yhteydessä takaisin peltoon. Tällaista materiaalia ovat mm. viljakasvien olki ja öljykasvien varret, juurikaskasvien naatit, peruna- ja vihannesjäte ja kasvihuoneviljelyn jäte. Talteen korjatusta oljesta suurin osa käytetään kuivikkeeksi. Maatalouden kasvijätteiden ravinteet saadaan nykyisellään varsin hyvin kiertoon. Nykyisellään kuorimojäte levitetään pääasiassa pelloille tai käytetään rehuna. Kasviperäisten biomassojen hyödyntämismahdollisuutta biokaasulaitoksissa pitäisi edelleen selvittää (kesannot, suojavyöhykenurmet ymv). Näille nurmille tarvittaisiin markkinat. Kappaleessa 4.5 on selvitetty yksityiskohtaisemmin alkutuotannon sivuvirtojen mahdollisuuksia osana vihreä biojalostamo –konseptia. Vihreä biomassa prosessoidaan arvonlisää tuottaviksi yhdisteiksi, kuten proteiinituotteiksi tai kuiduiksi monen eri teollisuudenalan käyttöön.

Kasviperäisiä biomassoja Satakunnan alueella käsittelevät toimijat tuottavat esimerkiksi sokeria (Sucros Oy) sekä tärkkelystä (perunaa jalostava Finnamyl Oy). Molemmat tuotantolaitokset tuottavat runsaasti biomassaa sivutuotteena, joka sellaisenaan soveltuisi biokaasun tuotantoon, mutta jolle on jo vaihtoehtoisia hyödyntämisreittejä. Sokeriteollisuuden sivutuotteena syntyy sokerijuurikasleikettä, joka kuivattuna materiaalina tähän asti on hyödynnetty eläinrehuna. Sokeritehtaan tuotantolaitoksen läheisyyteen on asettumassa leikettä nanoselluloosaksi jalostava yritys Betulium Oy. Tämä edustaa hyvin esimerkkiä, kuinka tutkimustyön tuloksena on löydetty kustannustehokas uusi sokerijuurikaskuitumateriaalille soveltuva käyttö.

Perunankuorimassaa sivutuotteena synnyttävä teollisuus on jo pitkään etsinyt kustannustehokkaita keinoja massan hyödyntämiseen. Sivutuotteita perunateollisuus synnyttää runsaasti solunestettä, josta kyetään perunaproteiineja ottamaan talteen suodatusprosessilla arvojakeeksi. Lisäksi perunamateriaalista olisi mahdollista erottaa sokerijuurikaskuidun tavoin perunan kuitua tai esimerkiksi lääketieteen ja kemian teollisuuteen soveltuvia, hyvin korkean lisäarvon alkaloideja. Lisäksi raportoituja lisäarvofraktioita voisivat olla maitohapon ja fenolisten happojen eristäminen (Wu, 2016). Teknisesti vaativa erotusprosessi on kuitenkin kallis, eikä kustannustehokkaasti todennäköisesti kannattavaa tällä hetkellä.

Pienpanimoteollisuuden kasvaessa Suomessa myös panimoteollisuuden tärkeän sivutuotteen, mäskin, ympärillä on runsaasti tutkimus- ja tuotekehitystoimintaa. Mäski sisältää proteiinia, hiilihydraatteja ja kuitua, ja makunsa puolesta soveltuu

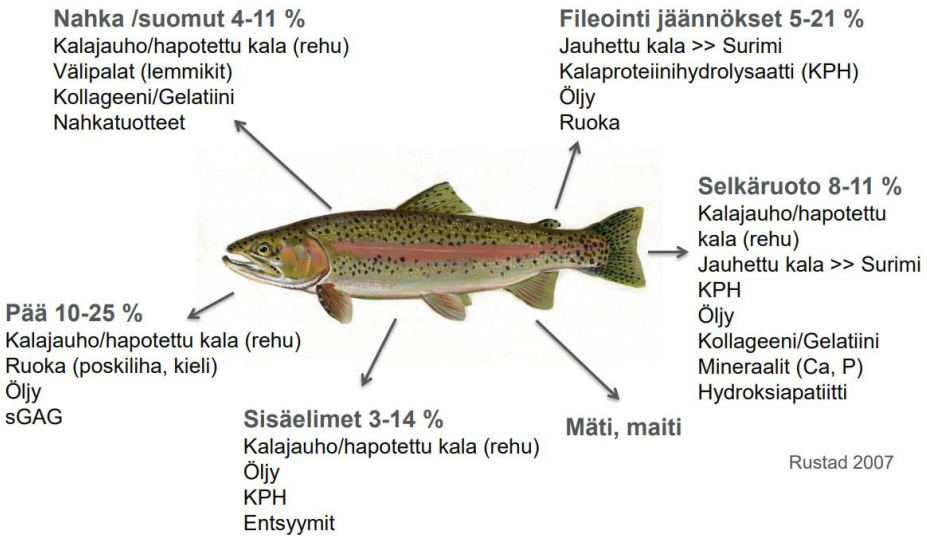
esimerkiksi leivonnassa hyödynnettäväksi. Eri entsyymikäsittelyin mäskistä on todettu voivan erotella tehokkaasti proteiineja ja sokereita elintarviketeollisuuden käyttöön (IPTOSS-projekti, www.eco-innovera.eu/1st-call-projects-iptoss). Panimoteollisuuden hiiva soveltuisi sekin hyödynnettäväksi esimerkiksi rehuissa.

7.2 Kalastus ja kalanjalostus

Kalateollisuus on Satakunnassa tärkeä elintarviketeollisuuden ala, onhan maakunnassa pitkä, kalarikas rannikkoalue sekä järviä, joista ammattimaista kalastusta harjoitetaan erityisesti Säkylän Pyhäjärvellä. Ammattikalastajia yksinomaan Pyhäjärvellä on nykyisin n. 20 toimijaa ja yksi ammattimainen prosessointilaitos (Kolvaan Kala Oy). Taulukossa 1 on esitetty Säkylän Pyhäjärvestä saadut kalamäärät lajeittain. Kalastamisen ja kalojen prosessoinnin yhteydessä syntyy eloperäistä sivuvirtaa, joka varsin hyvin kelpaisi biokaasun tuotantoon. Turkisteollisuus hyödyntää tällä hetkellä kalastamisesta syntyvää massaa turkiseläinten rehuksi. Kaloissa on hyvin runsaasti korkean lisäarvon ainesosia, joita tällä hetkellä hyödynnetään varsin huonosti. Kuvaan 5 on nimetty näitä mahdollisia lisäarvoa tuottavia aineosia ja lopputuotteita.

Vesistöistä nostettu kala joudutaan pilaantumisen estämiseksi nopeasti säilömään. Vähäarvoista kalamateriaalia ja kalan perkuujätettä voidaan kerätä ja säilöä orgaaniseen happoon korkean mikrobiologisen laadun ylläpitämiseksi. Happosäilöttyä kalamassaa on tuotettu maailmanlaajuisesti jo pitkään, pääasiallisen käyttökohteen ollessa eläinrehuissa, erityisesti turkiseläinrehun valmistuksessa. Kalamassa hydrolysoituu alhaisessa pH:ssa sekä kemiallisesti että entsymaattisen aktiivisuuden tuloksena. Hydrolysoituneesta kalamassasta on eroteltavissa eri tekniikoin monia arvokkaita kemiallisia yhdisteitä ja jakeita, joiden käytettävyyttä on selvitetty tieteellisissä julkaisuissa (Blanco ym., 2007; Karim & Bhat 2009). Suomalaista alan tutkimusta ei toistaiseksi ole olemassa. Ensimmäinen kalan hapotusyksikkö valmistui Vaasan lähistölle Mustasaareen Fjärdskärin kalasatamaan

marraskuussa 2014. Hapotusyksikkö palvelee tällä hetkellä alueen turkistaloutta eläinrehun raaka-aineena, kalastajia sekä kunnallisia toimijoita.

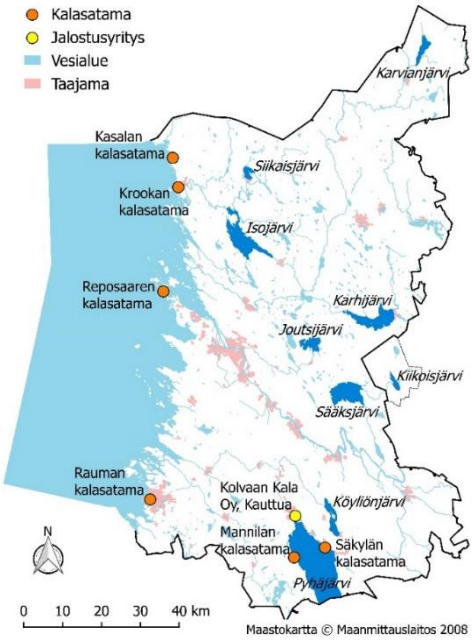


Kuva 5. Kalateollisuuden sivuvirrat ja sivutuoteaineet.

Erityinen mielenkiinto kalamassan hyötykäytössä kohdistuu kalakollageeniin ja kalaliivatteeseen. Kollageeni on proteiinia. Kollageenin osuus kalan nahasta on noin puolet nahan painosta (Nagai & Suzuki 2000). Kollageenin puhdistus on suoraviivainen prosessi, missä säiemäinen kollageeniproteiini uutetaan kaloista hydrolysoimalla ja kuumennuskäsittelyllä. Kollageenista muodostuu liivatetta kuumavesiuutolla. Kollageenin puhdistusprosessi voi sisältää myös suodatusvaiheita mahdollisten vierasaineiden puhdistamiseksi. Yleisesti liivatteen merkitys elintarviketuotannossa on ainutlaatuisten ominaisuuksiensa takia vuosien mittaan kasvanut. Liivatetta käytetään monipuolisesti mm. makeisissa ja leivonnaisissa edullisen rakenteen saavuttamisessa, vähärasvaisissa levitteissä sekä lihatuotteissa veden sitomisessa (Karim & Bhat, 2009), jäätelön ja jugurtin rakenteen parantamisessa, lisäproteiinilähteenä, juomien kirkasteena sekä monissa farmaseuttisissa sovelluksissa ja kalvomateriaalina niin pakkaus- kuin elektroniikkateollisuudessakin (Baziwane & He 2003; Gómez-Guillén ym. 2011; Nur Hanani ym., 2014)). Kalaliivate poikkeaa ominaisuuksiltaan nisäkäsperäisestä liivatteesta. Merkittävin ero on liivatteen jähmettymisessä, joka kalaliivatteella tapahtuu alle 10 °C lämpötilassa, mutta eläinliivatteella huoneenlämmössä.

Kalaliivatteen osuus kaikesta liivatteen tuotannosta maailmalla on muutaman prosentin luokkaa. Kalaliivatteen käytölle on odotettavissa lisääntyvät markkinat: hullunlehmäntaudin esiintyminen naudoissa on lisännyt kuluttajien huolta ruoan turvallisuudesta. Kuluttajien asennoituminen eläinperäisiin tuotteisiin on muuttumassa ja esimerkiksi kestävällä tavalla tuotettujen kalaproteiinien hiilijalanjälki on punaista lihaa pienempi. Myös uskonnolliset syyt ovat enenevässä määrin vaikuttamassa siihen, mitä tuotteita kuluttaja ostaa ja onko tuotteissa käytetty eläinperäisiä ainesosia.

Satakunnan alueen järvissä olevien kalansaaliiden jakaumia on arvioitu Pyhäjärvi-instituutin Järvikalaa NAM! –hankkeessa. Järvien hoitokalastussaalismääristä on tilastoitua tietoa seuraavasti: Karvianjärvi, 1999-2016, 20-60 t/v, (lahna, särki), Karhijärvi, 2011: 39 t, 2014: 108 t, 2016: n. 30 t (lahna, särki, salakka), Köyliönjärvi, 1992-2006: 35 – 180 t/v (särki, pasuri, lahna, ahven), Kiikoisjärvi 2014 ja 2015, saalis yhteensä 2,5 t (särki, ahven, lahna), Isojärvi, katiskakalastusta 2-5 t/v (särkikaloja ja pientä ahventa), Sääksjärvi (90 luvun puoliväli – 2000 luvun alku) 10-20 t/v (särki ja salakka, lahna, kiiski, kuore). Kaloja siis järvistä löytyy, mutta järvillä ei ole riittävää infraa: kylmäketjua on vaikea toteuttaa (elintarvikekäyttö), kalusto puutteellista (tehokkuus). Toisaalta osa Satakunnan kalasatamista on vähällä käytöllä, mutta kuljetusetäisyydet melko pitkiä. Riittävän tehokas kalastus onnistuu vain ammattilaisen toteuttamana. Kalanjalostusyritykset Satakunnassa ovat vähäisiä.



Kuva 6. Selvitykseen sisältyneiden järvien alueilla sijaitsevat Satakunnan kalasatamat ja jalostusyritykset

Porin Honkaluodossa toimii KalaValtanen Oy, jolla on kalanviljelyä ja jalostustoimintaa. Järvikalan prosessointiin on erikoistunut yksi yritys, Kolvaan Kala Oy. Satakunnan kalasatamat voisivat tarjota mahdollisuuksia esimerkiksi selkämeren silakan tehostetulle käytölle, myös sivuvirtakohteita ajatellen.

Taulukko 5. Säkylän Pyhäjärven kala- ja rapusaaliit v. 2010-2018.

ARVIO PYHÄJÄRVEN KALA- JA RAPUSAALIISTA VUOSINA 2010 - 2018

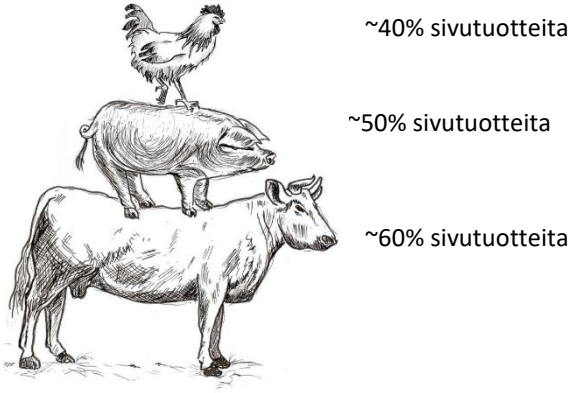
KALALAJI	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
AHVEN	101 000	110 000	140 000	130 000	174 000	176 000	178 000	145 000
HAUKI	61 000	7 500	60 000	82 000	81 000	84 000	86 000	83 000
LAHNA	3 700	5 000	10 000	11 000	45 000	51 000	49 000	48 000
MADE	1 600	1 500	1 200	1 100	900	1 100	1 200	1 200
MUIKKU	125 000	115 000	51 000	91 000	72 000	80 000	95 000	151 000
KIISKI	57 000	115 000	60 000	63 000	41 000	37 000	31 000	25 000
SIIKA	18 400	20 000	21 000	16 300	17 100	19 000	21 000	23 000
KUORE	42 800	74 000	11 000	116 000	180 000	110 000	85 000	210 000
TAIMEN	800	600	500	400	500	500	375	400
SÄRKI	111 000	150 000	210 000	230 000	180 000	200 000	215 000	198 000
YHTEENSÄ	409 800	666 100	564 000	**740 800**	**791 800**	757 600	761 575	897 000
RAPUSAALIS KPL	462 000	503 000	472 000	405 000	480 000	640 000	740 000	752 000

Arvot kilogrammoina lukuun ottamatta rapuja, jotka ilmoitettu kpl-määrinä. Lähde: Säkylän Pyhäjärven kalastusalue

7.3 Liha- ja siipikarjateollisuus

Liha- ja siipikarjateollisuudessa syntyy runsaasti sivutuotteita. Markkinoista riippuen moni eläimen osista ei kuitenkaan ole sivutuote, vaan on haluttu ja

markkinoille päätyvä päätuote. Kuvassa 6 sivutuotteiden määrät siipikarjassa, sika- ja nautateollisuudessa.



Kuva 7. Sivutuotteiden määrä biomassana siipikarjasta sekä sika- ja nautaeläimistä.

Eläimiä kasvatetaan paljolti lihan takia, mutta maapallolla eläimistä käytetään hyödyksi varsin monia osia, ja tuotekirjo jalostetuiksi materiaaleiksi on hyvin suuri, kuten esimerkiksi oheinen kuva 8 esittää. Teurastamoista syntyy sivuvirtaa, jota Suomessa viedään Honkajoki Oy:n toimesta Honkajoelle prosessoitavaksi. Materiaalista tuotetaan mm. proteiinipitoista lannoitetta.

Kuva 8. Moninaiset sikalähtöiset tuotesovellukset.

7.4 Meijeriteollisuus

Tärkeänä sivutuotteena meijeriteollisuudessa on Satakunnassa nostettu esiin maidon laktoosin parempi hyödyntäminen. Nykyisin merkittävän tuoteryhmän muodostavat laktoosittomat maitovalmisteet, ja laktoosin määrä sivutuotteena on kasvanut voimakkaasti. Lisäksi juustojen ymv. valmisteiden tuotannossa laktoosi disakkaridina jää saostumatta heraan, ja on yksinkertaisilla tekniikoilla erotettavissa. Merkittävimmät käyttötavat maidon laktoosille ovat lastenruoissa, lääketeollisuudessa kapseleiden valmistuksessa ja täyteaineissa sekä eri mikrobiologisissa fermentoinneissa. Elintarvikkeissa laktoosin käyttöä joudutaan kuitenkin rajoittamaan sen huonomman vesiliukoisuuden ja sulavuuden takia (Audic ym., 2003).

Tavallinen tapa päästä laktoosista eroon on fermentoida koko herafraktio. Tällöin sivuvirta voidaan yksinkertaisesti toimittaa biokaasulaitoksiin metaanin saamiseksi talteen. Esimerkiksi Hämeenlinnan osuusmeijerin orgaaninen jäte toimitetaan biokaasulaitokseen Riihimäelle. Heran fermentoinnissa olisi saatavissa talteen myös muita, kolmeen eri yhdisteluokkaan jaoteltavia aineita: (i) Suuri määrä, pieni arvo: metaani, etanoli, solumassa, eläinten rehu, veden puhdistus ja jätteen käsittely; (ii) Suuri määrä, keskitasoinen arvo: aminohapot, orgaaniset hapot, ruoka, hiivan tuotanto, biopolymeerit sekä (iii) Pieni määrä, suuri arvo: antibiootit, terveydenhoidon tuotteet, entsyymit, vitamiinit.

On tavallista, että fermentoinnin aluksi laktoosi joudutaan hydrolysoimaan joko entsymaattisesti tai hapon avulla glukoosiksi ja galaktoosiksi. Usein myös fermentointeihin joudutaan lisäämään mm. typpeä, jotta mikrobiologinen metabolia käynnistyisi hyvin. Nämä lisäävät kustannuksia. Laimeita heraliuoksia ei kannata korkeiden kuljetuskustannusten takia viedä kovin kauas, vaan todennäköisesti nesteet tulisi tiivistää esimerkiksi suodatusjärjestelmillä pienempään tilavuuteen ennen mahdollisia fermentointitoimenpiteitä.

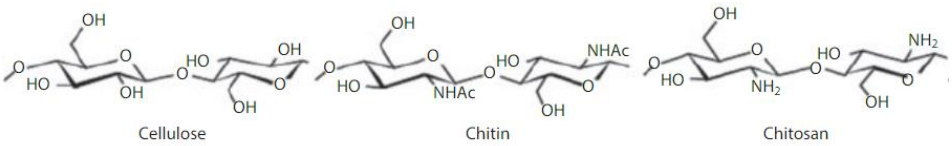
Laktoosipitoinen hera-aines on hyvin soveltuvaa polyhydroksialkanoaattien valmistukseen monien muiden elintarviketeollisuuden sivuvirtojen ohella, sillä materiaalin sokerit, mineraalit ja proteiinitähteet soveltuvat hyvin mikrobien

kasvattamiseen. Wolfin ym. (2005) mukaan Euroopassa vuosittain tuotetusta 50 000 tonnin herasta voitaisiin tuottaa 618 tonnia biomuovia.

7.5 Sienimöteollisuus

Mykora Oy on Suomen suurin herkkusienen tuottaja, jonka tuotantotilat sijaitsevat Euran Kiukaisissa. Tuotannossa syntyy ns. rönttijätettä runsaasti, ja tuotannon koneellistuessa rönttijätteen määrä nousee yhä suuremmaksi. Tälle sivuvirralle ei ole kaupallista käyttöä tällä hetkellä. Biologisena orgaanisena materiaalina sienimöteollisuuden sivuvirat soveltuisivat hyvin biokaasutukseen, mutta tälle materiaalille on löydettävissä selkeää lisäarvoa antavia jalosteita. Käytetty kompostijae sen sijaan vaikuttaisi soveltuvan erityisen hyvin biokaasutukseen (Taulukko 4, Ryömä ym., 2018).

Sienet sisältävät runsaasti kitiiniä ja proteiineja. Kitiini on selluloosan kaltainen polymeeri, josta asetyyliryhmiä kemiallisesti ja/tai entsymaattisesti poistamalla valmistetaan kitosaania (Kuva 8). Kitosaani on laajasti kiinnostusta herättänyt aine, jonka terveysvaikutuksia, mm. antioksidanttiominaisuuksia, veren rasvapitoisuuksia alentavia vaikutuksia sekä antimikrobisia ominaisuuksia on tutkittu jo pitkään. Kitosaania voidaan tuottaa kaikista kitiiniä sisältävistä organismeista, kuten äyriäisistä, hyönteisistä ja sienistä (Yen ym., 2007).



Kuva 9. Selluloosan, kitiinin ja kitosaanin molekyylirakenteet.

Kitosaanin emulsioiden muodostaminen on kiintoisa elintarvikkeiden säilyvyyttä ja tuoreutta ylläpitävä ominaisuus (Jiang ym 2012). Eliintarvikkeiden säilyvyyden ja

elintarviketurvallisuuden ja ruokajätteen vähentämiseksi kitosaania tutkitaan yhdessä korianteriöljyn kanssa osana uudenlaista kehittynyttä elintarvikepakkaamista (Stevens, Ghentin yliopisto; www.ugent.de). Syötävien, kitosaanipohjaisten kalvojen valmistaminen on jo osoitettu toimivan teollisella tasolla. Lisäksi kitosaaniin voidaan kapsuloida erilaisia ruoansulatuksessa helposti tuhoutuvia molekyylejä, kuten vitamiineja, niiden toimintatehon parantamiseksi.

Elintarvikealalla sienistä eristetty kitiini ja siitä valmistettu kitosaani voisi soveltua hyvin eläinperäistä gelatiinia korvaavaksi viinin valmistuksen kirkastusaineeksi. Tälle sovellukselle on myös EU:n lainsäädännöllinen hyväksyntä (Escudero-Abarca ym. 2004). Kitosaanilla on osoitettu olevan erinomainen teho myös jätevesien puhdistuksessa, mikä ominaisuus antaa kitosaanille aivan toisen tyyppisen sovelluskentän (Yong ym., 2015). Kitosaanin käyttötutkimukset ovat keskittyneet biolääketieteen eri sovelluksiin, ja toistaiseksi elintarvikealan sovellukset ovat vain rajoitetusti selvitettyjä. Syynä tähän on tällä hetkellä kitosaanin ja muokattujen kitosaanien valmistukseen liittyvä teknologia, jonka seurauksena kitosaanille tai muokatuille kitosaanituotteille ei ole myönnetty lupaa elintarvikekäyttöön.

7.6 Muut kasvavat tuotantoalat (hyönteistuotanto, SCP)

Hyönteisten lisääntyvä käyttö elintarvikkeissa ja rehuissa on muuttamassa myös kiertotalouden kenttää. Hyönteiset muuttavat monenlaista kiinteää ja puolikiinteää materiaalia ja elintarviketuotannon sivuvirtaa rasvoiksi, proteiineiksi ja lannoitteiksi (Čičková ym., 2015). Ihmisravinnoksi Suomessa tuotetaan kaupallisesti yksinomaan kotisirkkoja tällä hetkellä, mutta vesipitoisten jätevirtojen käytössä ja hyödyntämisessä on hyönteisteollisuuden suurin potentiaali. Sirkkojen tuotanto vaatii kasvatusmateriaalilta kuivaa muotoa, sen sijaan mustasotilaskärpäsen (*Hermetia illucens*) toukkien kasvatus onnistuu vesipitoisillakin materiaaleilla, samoin jauhomatojen (*Tenebrio molitor*) sekä kanatunkkarin toukkien eli buffalomatojen (kanalakuoriainen, *Alphitobius diaperinus*) kasvatus. Suomen lainsäädännössä hyönteiset ovat tuotantoeläimiä, joita ei sen takia voida käyttää toisten tuotantoeläinten rehuna, eikä hyönteisille voida syöttää ruoka- tai biojätettä, mukaan lukien liha ja kala. Kalajauhon käyttö on kuitenkin sallittua, samoin erillisesti hyönteisten ruokakäyttöön kerätty kasvissivuvirta, esimerkiksi kuorijäte, on sallittua. Kalankasvatuksessa, poikkeuksena edellä mainittuun

rajoitukseen, voidaan käyttää hyönteisiä, esimerkiksi mustasotilaskärpäsen toukkia, ja lähitulevaisuudessa myös kanojen ja sikojen rehuissa tullaan sallimaan hyönteisten käyttö. Tällä hetkellä hyönteisiä ei saa EU-alueella prosessoida elintarviketeollisuuden käyttöön, vaan ne joudutaan käyttämään kokonaisina tai sellaisenaan jauhettuina. Tekniseen käyttöön (ei ruoaksi tai rehuksi) tarkoitettuina hyönteisiä voidaan kasvattaa lievennetyillä säädöksillä.

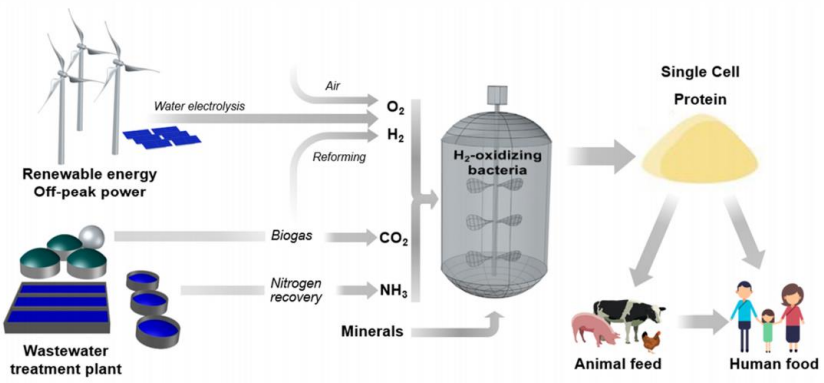
Hyönteisteollisuuden menestymisen osalta avainkysymyksenä tulevaisuudessa tulee olemaan, kuinka hyönteisten tuotantokustannukset saadaan samalle tasolle kuin nykyisin korvaavaksi käytetyn kalajauhon kustannukset. Tällä hetkellä kalajauhon hinta on noin kaksi kertaa edullisempaa kuin halvin hyönteistuote. Maapallon uhkaava kalavarantojen vähentyminen ja sitä myötä kasvava kiinnostus kalajauhoa korvaaviin tuotteisiin voi tarjota kestävää kehitystä edistävälle hyönteisteollisuudelle myös kasvuedellytyksiä.

Yksisoluproteiinin tuotanto. Kiinnostus yksisoluproteiinin tuotantoon (engl. Single cell protein, SCP) on viime vuosina voimakkaasti kasvanut. Yleensä tällä tuotantoalalla tarkoitetaan bakteerien kasvatusta erillisissä tuotantoyksiköissä eli fermentoreissa. Bakteerit käyttävät kasvuunsa monenlaisia substraatteja. Biokaasutalouden ympärille keskittyvien teollisuussymbioosien näkökulmasta SCP-teknologia tarjoaa mielenkiintoisen mahdollisuuden yritystoimintaan ja proteiinin tuotantoon, joka voi olla perinteisiin kasvi- ja eläinproteiinituotantojärjestelmiin nähden selvästi ilmastoystävällisempää.

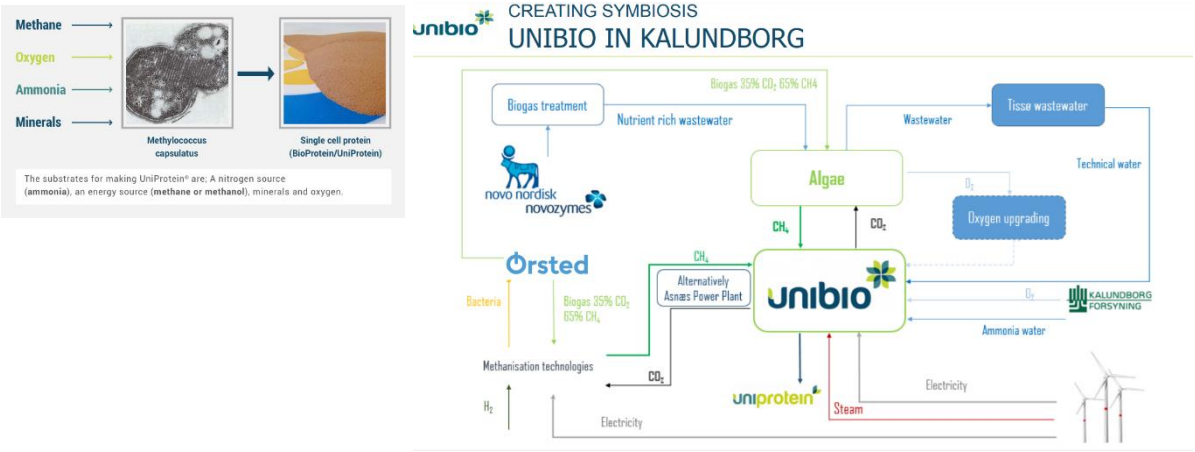
Maailmalla on useita SCP:n tuotantoon keskittyviä yrityksiä, ja Suomessakin mm. Solar Foods Oy. Hollantilainen KWR Watercycle Research Institute on ollut Ghentin yliopiston tutkimusryhmän mukana kehittämässää SCP-tekniikkaa, joka käyttää vetyä hapettavia bakteereja proteiinin tuotannossa, kun reaktorissa on vedyn lisäksi happea, hiilidioksidia ja ammoniakkia (Matassa ym., 2016) (Kuva 10, Oesterholt ym., 2017). Ammoniakki ja hiilidioksidi ovat peräisin jätevedenpuhdistamojen yhteydessä toimivasta biokaasulaitoksesta.

Toisena esimerkkinä tässä raportissa esitellään tanskalainen SCP:n tuotantoon nivoutuva teollisen symbioosin malli, jossa biokaasulaitos on merkittävässä osassa metaanin ja hiilidioksidin tuottajana (Kuva 11; www.unibio.dk). Tuotantojärjestelmässä biokaasun metaanilla elävät metanotrofiset bakteerit kasvavat proteiinipitoiseksi solumassaksi, kun fermentoriin lisätään ammoniakkia,

happea ja yksinkertaisia mineraaleja. Kuvan 11 teollisessa symbioosissa eri materiaalivirrat hyödyntävät usean eri toimijan prosesseja.



Kuva 10. Yksisoluproteiinin tuotanto hollantilaisessa järjestelmässä, joka hyödyntää vetyä hapettavia bakteereja ja biokaasulaitosta (Oesterholt ym., 2017).



Kuva 11. Tanskalainen SCP-järjestelmä, jossa metanotrofiset bakteerit ovat proteiinin tuottajia (www.unibio.dk). Metaani tuotetaan biokaasulaitoksessa. Materiaalivirrat hyödyttävät usean eri alan toimijoita.

8 ERI TEKNOLOGIOIDEN TARKASTELU SIVUVIRTAMATERIAALIEN HYÖDYNTÄMISESSÄ

Elintarvikekomponenttien hyödyntämisessä joudutaan yleensä komponentit puhdistamaan jossain määrin irti monimutkaisesta ainesosaseoksesta. Elintarviketeollisuus hyödyntää lukuisaa joukkoa eri teknologioita, joiden tehtävä on yleensä (Paatero, 2010):

1. Parantaa väriä tai makua
2. Eristää kasvinosien ravinnon kannalta arvokkaat ainesosat
3. Parantaa elintarvikkeiden säilyvyyttä
4. Eristää tai erottaa aromi- tai väriaineita
5. Ottaa talteen elintarviketeollisuudessa syntyneet sivutuotteet eläinravinnoksi, lannoitteeksi tai muuhun hyötykäyttöön
6. Puhdistaa jätevesi

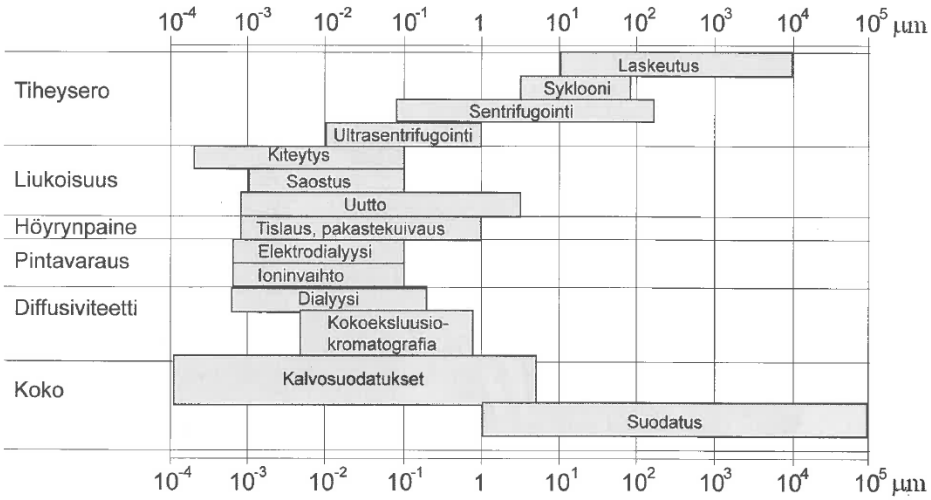
Useimmat orgaaniset sivu- ja jätevirrat edellyttävät jonkinasteisia esikäsittelytoimenpiteitä ennen varsinaisia puhdistus- tai erotteluvaiheita. Näin parannetaan yhdisteiden talteenoton tehokkuutta, parannetaan mikrobiogista tai entsymaattista toimintaa eri fermentointi- ja hydrolysointiprosesseissa, vastaavasti. Taulukkoon 6 on koottu yleisesti käytettävissä olevia menetelmiä.

Taulukko 6. Yleisesti käytössä olevia biomassan esikäsittelymenetelmiä.

Menetelmätyyppi	Esimerkkejä
Kemiallinen	Happo
	Emäs
	Otsoni
	vetyperoksidi
Biologinen	Hydrolyyttiset entsyymit

	Sellulolyyttiset bakteerit
	Rihmamaiset homeet
	Komposti
	Puhdistamoliete
Fysikaalinen	Mikroaaltouuni
	Lämpökäsittely (60-180ºC)
	ultraääni
Yhdistelmät	Esim. yhdistetty emäs- ja ultraäänikäsittely

Erikoistuotteiden lisääntynyt kysyntä on lisännyt tarvittavien erotustekniikoiden tarvetta. Samalla kun kiertotalouden kysymykset ovat nousseet esiin, yritykset joutuvat tarkemmin harkitsemaan lisäarvoa tuottavien arvojakeiden talteenottoa. Elintarviketeollisuuden käyttämät erotustekniikat ulottuvat mekaanisista kiintoaineen erottimista molekyylitason erotuksiin. Kuvassa 12 on esitetty kaavamaisesti yleisimpien eri menetelmien käyttöalueet.



Kuva 12. Erotusmenetelmät ja niiden käyttöalueet (Paatero, 2010)

Kuivaus, kylmäkuivaus ja haihdutus ovat elintarviketeollisuuden tyypillisimpiä erotusmenetelmiä. Näissä erotellaan vesi pois muusta materiaalista. Eri suodatus- ja linkoustekniikat ovat niin ikään hyvin yleisesti käytettyjä menetelmiä. Tässä raportissa ei yksityiskohtaisesti esitellä eri tuotteiden puhdistamisiin liittyviä tekniikoita, koska teknologiset vaihtoehdot ovat erittäin moninaiset, ja vaihtelevat sekä raaka-aineesta että kohteena olevasta yhdisteestä riippuen.

9 TAPAUSTARKASTELUT

9.1 Bioteolliset yhteenliittymät

Biojalostamoiksi kutsutaan laitoksia, jotka biopohjaisia raaka-aineita jalostaessaan ja prosessoidessaan integroidusti ja energiatehokkaalla tavalla hyödyntävät raaka-aineesta ja tuotannon sivuvirroista saatavat komponentit. Samalle alueelle voi syntyä useita eri laitoksia, jotka tehokkaasti hyödyntävät kierrätettäviä raaka-aineita synergisesti. Suomeen on alkanut kehittyä tällaisia yhteenliittymiä ja laitoksia, esimerkiksi Uudessakaupungissa toimiva Sybimar Oy, joka hyödyntää kalankasvatuslaitoksessaan syntynyttä ravinnekuormaa ja kalanperkuujätteen sivuvirtaa biokaasulaitoksessa, ja biokaasulaitoksesta saatu sähkö, lämpö ja polttoaine hyödynnetään sekä omassa kalantuotannossa että integroidussa kasvihuoneviljelyssä (Sybimar, web 2018). Myös biokaasulaitoksen ravinnepitoinen rejektivesi on mahdollista ohjata hyötykäyttöön, ja Sybimarin konseptissa energiapajun kasvatusta on testattu (Sybimar, 2015). Uusista sellu- ja periteollisuuden jalostuslaitoksista on alettu puhua biojalostamoina, jotka tuottavat päätuotteen sellun lisäksi esimerkiksi mäntyöljyä. Ruotsin Örnsköldvikin kupeessa Domsjössä SEKAB-yhteenliittymän laitos käsittelee puusta ja oljesta sokereita ja ligniiniä, ja edelleen bioetanolia ja kemikaaleja. Ligniini käytetään tehtaan omaan energiantuotantoon (SEKAB, web 2018). Belgian Ghentissä toimii Bio Based Europen pilottilaitos, joka tarjoaa pilot-mittakaavan olosuhteita erilaisten

raaka-aineiden hyödyntämiskokeisiin (BBIA, web 2018). Tanskan Kalundborgin teollinen symbioosi yhdistää biokaasun tuoton, metaanin käytön mikrobifermentoinnissa, hiilidioksidin hyödyntämisen eri prosesseissa, mm. jäteveden puhdistuksessa vesissä kasvatettavien levien avulla (Kuva 10). Haasteena suurten biojalostamokonseptien synnyttämisessä on korkea investointikynnys, jonka ylittämiseksi järjestelmän taloudellisuuteen, mukaan lukien raaka-aineiden logistiikkakustannukset, ja lopputuotteiden korkeaan lisäarvoon on kiinnitettävä erityisen suurta huomiota. Tuoteportfolion tulisi sisältää korkean lisäarvotuotteen lisäksi myös matalan jalostusarvon tuotetta, esimerkiksi lannoitetta, rehua ja lämpöä (EEA Raport, 2018).

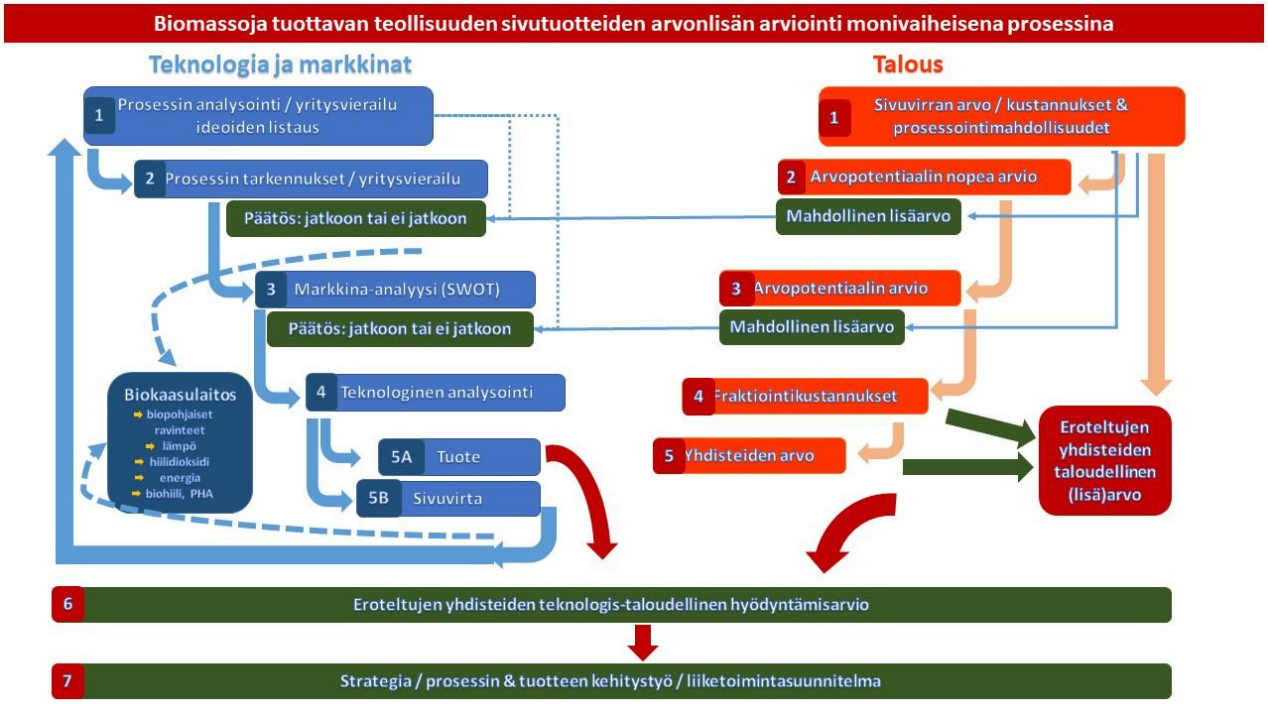
9.2 Malli

Satakunnan alueella syntyy huomattava määrä biomassaa, joka teknologisen ja taloudellisen arvioinnin tuloksena saattaisi olla käyttökelpoista lisäarvoa tuottavaa materiaalia sekä aivan uusille toimijoille että alueen muille yrityksille, jotka pystyvät hyödyntämään biomassoja prosesseissaan. Jotta eri biomassoja pystytään hyödyntämään kustannustehokkaasti ja Satakunnan alueelle pystytään synnyttämään tällaisia biomassoja hyödyntävää liiketoimintaa, usean asiaan vaikuttavan tekijän on toteuduttava.

Mallimme kuvassa 13 on esitetty biomassoja tuottavan teollisuuden sivutuotteiden arvonlisän arviointi monivaiheisena prosessina. Mallissa arvonlisä arvioidaan metodologisena, vaiheittaisena 7 askeleen prosessina alkaen prosessin analysoinnista / yritysvierailusta (vaihe 1) ja parhaassa tapauksessa päätyen eroteltujen yhdisteiden teknologis-taloudelliseen hyödyntämisarvioon (vaihe 6) ja liiketoimintastrategian valmistamiseen (vaihe 7). Sivutuotteiden arvonlisän arvioinnissa teknologia, markkinat ja talous kulkevat joka arvioinnin vaiheessa yhdessä. Vaiheet 1 ja 2 vaativat vahvan, usean toimialan asiantuntijan yhteistoimintaa, ideointia ja taustatyön tekemistä, jolla luodaan mahdollisuuksien tiekarttaa. Vaiheen 1 listatuista mahdollisuuksista yritys yhdessä asiantuntijoiden kanssa kykenee arvioimaan myös taloudellisista näkökulmista realistisimmat mahdollisuudet (vaihe 2). Tässä vaiheessa analysoitavaksi tulevat myös mahdolliset teknologiset rajoitukset ja lainsäädännölliset kysymykset. On todennäköistä, että suurin osa ideoista ei etene yrityksessä vaihetta 2 pidemmälle. Silloin sivuvirran

hyödyntämiskohteeksi tulisi alueellinen biokaasulaitos, mikä on kuvion mallissa merkitty katkoviivalla. Lupaavimmat ideat etenevät

vaiheittain kohden vaiheen 7 liiketoimintasuunnitelmaa. Vaiheessa 5 on saavutettu tuote, ja samalla syntyy uutta sivuvirtaa (5B). Tälle sivuvirralle voidaan joko miettiä oma prosessointimahdollisuus vaiheessa 1, tai materiaali voi päätyä biokaasutukseen. Kuvioon on lisätty myös biokaasulaitoksesta syntyviä energia- ja materiaalivirtoja, joille on omat



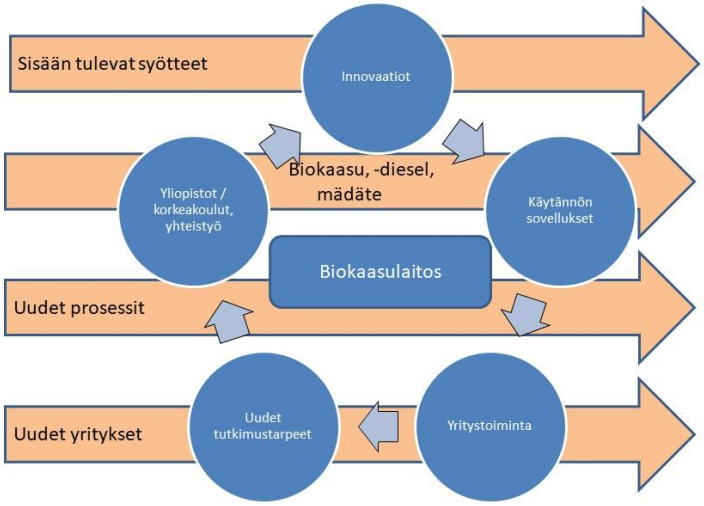
Kuva 13. Biomassoja tuottavan teollisuuden sivutuotteiden arvonlisän arviointi monivaiheisena prosessina. Kuva muokattu Broeze ja Elbersen (2017) pohjalta.

käyttömahdollisuudet esimerkiksi biokaasulaitosta ympäröivässä teollisuudessa.

Kuvan 13 mallin mukainen sivuvirtojen hyödyntämisprosessin arviointi perustuu riittävän moniulotteiseen, ennakkoluulottomaan vaihtoehtojen listaukseen vaiheessa 1. On tärkeää saattaa yhteen yrityksen ja asiantuntijoiden joukko, joka saa tutustua yrityksen analysoitavaan materiaaliin. Tähän raporttiin on koottu näitä vaiheen 1 prosesseja ja mahdollisia tuotteita, mutta täydellisen kattavaan vaihtoehtojen listaukseen ei tämän hankkeen resurssien puitteissa ole ollut

mahdollisuutta. Niin ikään yksittäisten yritysten kiinnostuksen kohteita ei ole tarkemmin voitu selvittää (vaihe 2). Biokaasulaitoksen sijainti alueella merkitsee jokaisen sivutuotteen kohdalla mahdollisuutta sen hyödyntämiseen niin, että ravinteita pysyy biologisissa kierroissa ja voidaan tuottaa lämpöä, hiilidioksidia ja energiaa toisille teollisuuden toimijoille tai kuluttajille.

Sivuvirtoja voi hyödyntää monella tavalla. On oleellista, että hyödyntämismahdollisuudet tarkastellaan laaja-alaisesti ja poikkitieteellisesti usean eri toimialan yhteistyönä. Materiaalit ovat kompleksisia sekä kemialliselta rakenteeltaan että prosessoitavuudeltaan. Usein lähtömateriaalin laatu heikkenee säilytyksessä nopeasti, materiaali on vesipitoista ja hankalasti käsiteltävää. Siksi monialaisen asiantuntijaryhmän kokoaminen sekä yritysten välinen törmäyttäminen ovat keskeisiä toimia, joilla biomassan sisältämät arvoaineet saadaan hyödynnettyä kustannustehokkaasti ja nykyinen kiertotalousajatteluun pohjautuva talouskehitys Satakunnan alueella paranee.



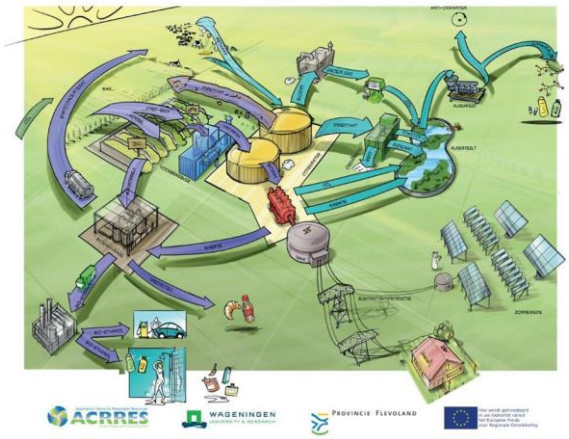
Kuva 14. Biokaasulaitoksen toiminnassa vaikuttavan innovaatiorajapinnan määrittyminen.

Mallimme kuva 14 esittää biokaasulaitoksen toiminnassa vaikuttavan innovaatiorajapinnan määrittymistä. Vaikka biokaasulaitokset prosessoivat hyvin eri tyyppisiä biomassoja, korkean kaasuntuottokyvyn saavuttaminen ja

ylläpitäminen vaativat prosessin hyvää tuntemusta ja kokonaisvaltaista hallintaa. Mallin kuviossa 12 korostuu kyky ja tarve innovaatioihin, joiden pohjilta pystytään etenemään käytännön sovellutuksiin ja yritystoiminnan kehittymiseen. Prosessit eivät ole staattisia, vaan synnyttävät uusia tutkimustarpeita. Kuvan 14 innovaatiosykli integroituu Mallin kuvan 13 vaiheeseen 1 sen lisäksi, että se toimii osana biokaasulaitostoiminnan ympärille kehittyvää teollista yhteenliittymää. Raaka-aineiden laaja kirjo ja monimutkainen kemia tarjoavat haasteellisen kentän materiaalien kustannustehokkaalle hyödyntämiselle. Innovaatiot syntyvät tyypillisesti yhteistyönä teollisuuden ja akateemisen asiantuntijakentän välillä.

9.3 Tapaus 1: ACRRES Wageningen Energierijk biojalostamo (Lelystad, Hollanti)

Hankkeen toisena tapaustarkastelukohteena on hollantilainen, Lelystadissa sijaitseva ACRRES Energierijk (suomennettuna ”energiarikas”) pilot-yksikkö. Pilot-yksikkö on rakentunut biokaasulaitoksen ympärille niin, että lopputuotteina saadaan sähköä, lämpöä (CHP-laitos; Combined Heat and Power), etanolin tuotantoa sekä levien kasvatusta. Eri yksiköistä saadut jäännösvirrat (hiilidioksidi, lämpö, ravinnejäännös) hyödynnetään yksiköiden muodostamassa symbioosissa. Tapaustarkastelukohteeksi tämä yksikkö valikoitui vahvan tutkimus- ja kehittämisosaamisensa ja jo vuosia jatkuneen aihepiirin käytännön kokemuksen kautta. Pilot-yksiköllä on vahva side Wageningenin maatalousyliopistoon. Hollantilainen ruoantuotanto ja uusiutuviin energiamuotoihin pohjaava kiertotalous edustavat yhtä maailman tehokkaimmista ja kehittyneimmistä ruokajärjestelmistä.



Kuva 15. Piirros ja ilmakuva ACCRES-Wageningen UR-konseptista.

ACRRESin teollisen symbioosin kestävyyttä on tarkasteltu laskemalla usean eri skenaarion osalta muuttujia, erityisesti ravinnetaseiden ja taloudellisuuden näkökulmista. Selvityksessä on tarkasteltu kolmea eri vaihtoehtoa: 1. CHP-tuotantoa levätuotannossa (ALG), 2. CHP-tuotantoa etanolin valmistuksessa (ETH) sekä 3. CHP-tuotantoa yhdistelmällä levät ja etanoli (ALG+ETH). Kaikkiin vaihtoehtoisiin skenaarioihin sisältyvät pilot-alueen ympärillä olevat maatalousmaat ja karja keskeisinä järjestelmän osapuolina.

Yhteistuotantojärjestelmässä lehmänlanta prosessoidaan yhdessä maatalouden sivuvirtamateriaalien, kuten maissinvarsien, tähkien ja heinien kanssa biokaasuksi. Biokaasu poltetaan CHP-laitteistolla sähkövirraksi. Samalla synnytetään lämpöä ja hiilidioksidia. Syntynyttä lämpöä käytetään bioetanolin valmistuksessa sekä levänkasvatusaltaissa. Altaisiin lisättävä hiilidioksidi lisää levien kasvua. Mädättämön ravinnejäännös käytetään pelloilla lannoitteena. Bioetanolin tuotannosta tähteeksi jäävä biomassa käytetään eläinrehuksi, jolloin väkirehun ostettava määrä alenee.

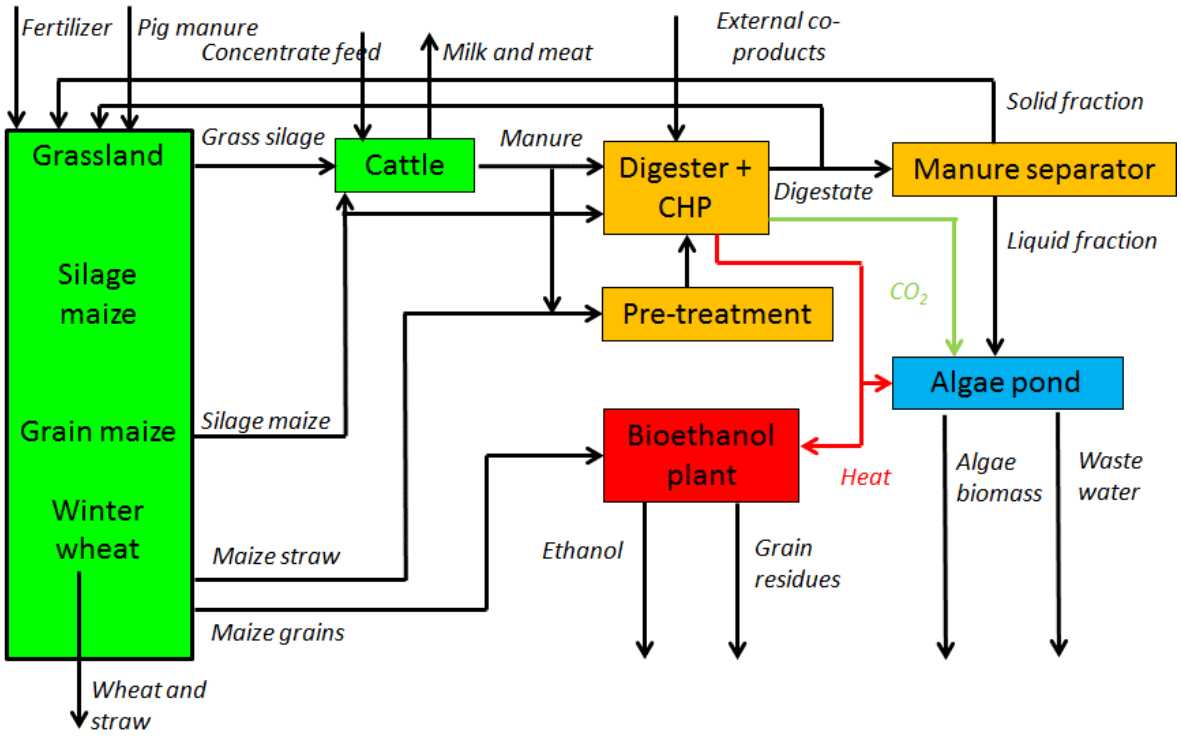
Kokonaisuus. Mädätinyksikkö on rakennettu 200 lehmän tuottamalle lannalle siten, että 50% syötteestä on lantaa. Vuodessa tämä tarkoittaa suunnilleen 6000 tonnia lantaa ja 6000 tonnia maatalouden muita sivujakeita, kuten juuresten kuoria, maissin varsia ymv.. CHP-laitos tuottaa sähköä 2100 MWh netto (ALG-järjestelmä) ja 2250 MWh (ETH ja ETH+ALG-vaihtoehdot). Erot johtuvat syötteenä käytetystä sivuvirrasta. Etanolin tuotanto ja levän kasvatus ovat riippuvaisia jäännöslämmöstä, hiilidioksidista sekä ravinnejäännöksestä. Näistä jäännöslämpö rajoittaa prosessia. CHP-laitos tuottaa hiilidioksidia ja ravinnejäännöstä ylimäärin, kulutukseen menee alle 1% tuotetuista määristä. Jäännöslämmöllä voidaan tuottaa noin 950 m^3 60% etanolia sekä yksi lämmitetty altaallinen (1000 m^2) levää (ETH+ALG) tai kaksi lämmitettyä 1000 m^2 leväaltaallista (ALG-skenaario).

Typpi- ja fosforitaseet. Kaikissa kolmessa skenaariossa typpeä jää 25 tonnia yli. Määrä vastaa noin 75 kg typpeä hehtaarille viljelysmaata. Typpi kerääntyy maaperään ja haihtuu ammoniakkina. Merkittävä ero skenaariossa on lannoitteiden kulutuksessa. Pelkkä etanolin tuotanto kuluttaa yli 9000 kg vähemmän typpeä. ACCRES-konseptin ulkopuolisiin viljelyksiin verrattuna

ylimääräisen typpilannoituksen tarve on kaikissa tutkituissa skenaarioissa alhainen, 24-51 kg vähemmän typpeä hehtaarille.

Kaasun tuotannon voimistaminen kuumennus-esikäsittelyllä alentaa lisälannoituksen tarvetta, koska ravinnejäännöksen typpi saadaan helpommin kasvien käytettäväksi. Fosforin tase on kaikissa laskelmissa lievästi negatiivinen (-180- -750 kg P, eli -1 - -2kg fosforia hehtaarille).

Talous. Mikäli CHP-laitosta ei yhdistetä konseptissa tutkittuihin muihin tuotantojärjestelmiin, investointikustannuksia ei pystytä kattamaan realistisen käyttöajan kuluessa. Leväkasvatuksen avulla kustannusten takaisinmaksuaika putoaa 24 vuoteen. Hollannissa tuetaan lämmön takaisinottoa, lisäksi leväbiomassasta maksetaan verraten korkeaa hintaa. Kun CHP-yksikkö yhdistetään etanolin tuotantolaitokseen, takaisinmaksuaika putoaa 15 vuoteen. Bioetanolista ja eläinrehusta saatavat tulot lyhentävät takaisinmaksuaikaa. Lyhyin takaisinmaksuaika, 13 vuotta, saavutetaan yhdistämällä levänkasvatus bioetanolin tuotantoon.



Kuva 16. Kaavio ACRRES Wageningen Energirijk-pilotin materiaalivirroista, lämmön sekä hiilidioksidin tuotannosta.

9.4 Tapaus 2: Säkylän bioteollisuusalue

Eteläisessä Satakunnassa Säkylän bioteollisuusalueella toimii yrityksiä, joilla on läheistä yhteistoimintaa. Jo vuosien ajan alueella ovat toimineet Suomen ainoa sokeritehdas Sucros Oy, vihannes- ja valmisruokapakasteita valmistava Apetit Ruoka Oy, eläinten rehuseoksia ja rehukomponentteja valmistava Hankkija Oy sekä pakkausvalmistaja Westpak Oy. Uusimpina tulokkaina alueelle ovat toimitilojaan rakennuttamassa VSS Biovoima Oy:n biokaasulaitos sekä kuitukomponentteja valmistava Betulium Oy. Alueella toimii myös teollisten jätevesien puhdistuslaitos Apetit Suomi Oy. Jätevedenpuhdistamoilla käsitellään kaikki teollisuusalueen tuotantolaitosten (Sucros Oy:n sokeritehdas ja voimalaitos, Apetit Ruoka Oy:n pakastetehdas, Hankkija Oy:n rehutehdas ja Apetit Suomi Oy:n jätehuoltoalue) prosessijätevedet.

Alueen yrityksistä erityisesti Apetit ja Sucros tuottavat kasvisperäistä sivuvirtaa, jolle voi olla mahdollista löytää nykyisen käyttökohteen sijalle tai lisäksi uusia käyttösovelluksia. Joiltain osin näitä mahdollisuuksia on käsitelty tässä raportissa. Sokeritehtaan yhteydessä toimii biokaasulaitos, ja laitoksen ympärille voisi olla mahdollista ajatella toimintoja, jotka entistä paremmin voisivat ottaa eri toimintayksiköiden sivuvirtoja höytykäyttöön, kuten Tapaus 1:n esimerkissä tai yksisoluproteiinien tuotantokonsepteissa (kpl. 7.6, kuvat 10 ja 11) on tehty. Esimerkiksi Säkylän teollisuusalueen jätevedenpuhdistamoprosessissa, jossa hyödynnetään anaerobista ja aerobista jätevedenkäsittelytekniikkaa, on mahdollista tarkastella eri levien tai vesikasvien kasvatusmahdollisuuksia jäteveden välivarastointiin tarkoitetuissa altaissa. Säkylän bioteollisuusalue vaikuttaisi pystyvän kehittymään alueellisesti merkittäväksi uutta materiaali- ja kiertotaloutta toteuttavaksi ympäristöksi.

10 Koontia ja toimenpide-ehdotuksia

Kiertotalouden symbioosit biokaasulaitosten ympärillä ovat iso taloudellinen mahdollisuus Satakunnalle. Taloudellista lisäarvoa voidaan synnyttää lisäksi ekologisesti kestävällä biopääomien hyödyntämisellä ja eri sivuvirtojen lisäarvopotentiaalien maksimoimisella. Biokaasulaitokset mahdollistavat uudenlaisten innovaatiorajapintojen syntymisen erityisesti sivuvirtojen lisäarvotuotteiden TKI –prosesseihin.

Parhaimmillaan biokaasulaitos toimii alueen ravinteiden tehokkaana kierrättäjänä. Biokaasulaitoksen ympäristövaikutuksia on pystyttävä seuraamaan ja mallintamaan. Vesistö- ja ympäristövaikutusten osalta mallintaminen on toiminto, josta hyödytään vaikutusten seurannassa. Mallintamistyössä tulee päästä lähemmäs maatilaa ja kehittää lohkokohtaisia malleja. Potentiaalisia biologisia raaka-aineita on paljon ja materiaalien fraktiointimenetelmiä useita erilaisia. Investointikustannukset fraktiointilaitoksille ja –teknologioille voivat olla perustuotantoa korkeampia, joten investoinneista saatavan arvonlisän tulee myös olla korkeampi. Toisaalta sijoittuminen biokaasulaitoksen välittömään läheisyyteen tuo kustannussäästöjä mm. logistiikassa, lämpöenergiassa ja jätekustannuksissa.

Biokaasulaitosten toiminnassa on tärkeää kyetä hyödyntämään eri materiaalivirtoja. Parhaimmillaan biokaasulaitoksista saatava metaani, hiilidioksidi ja lämpö pystytään kierrättämään osaksi toista yritystoimintaa, ja kaikki osapuolet hyötyvät.

Maakunnassa keskeisimpiä toimenpiteitä symbioosien syntymisen mahdollistamiseksi ovat:

1) Innovaatiorajapintojen tunnistaminen ja TKI –toiminnan mahdollistaminen

2) Tutkimuslaitosten, kehittämisyhtiöiden ja yritysten yhteensaattaminen

3) Kokeiluympäristön synnyttäminen ja tukeminen

4) Tuki tuotteistukselle ja pilotoinneille, mahdollisuudet myös ”kokeilla mahdotonta”

5) Prosessikehityksen tukeminen TKI:n jälkeen

6) Monipuoliset investointitukimahdollisuudet

7) Kaavoitustuki

8) Markkinointituki aluetasolla ja kuntatasolla

11 Kirjallisuus

Audic, J., Chaufer, B., Daufin G. Non-food applications of milk components and dairy co-products: A review. Le Lait, INRA Editions, 2003, 83 (6), pp.417-438.

Baziwane D & He, Q. (2003). Gelatin: the paramount food additive. Food reviews international 19: 423-435.

Blanco, M., Sotelo, C.G., Chapela, M.J, Pérez-Martín, R.I. (2007). Towards sustainable and efficient use of fishery resources: present and future trends. Trends in Science & Technology 18: 29-36.

Bramsiepe, C., Sievers, S., Seifert, T., Stefanidis, GD., Vlachos, DG., Schitzer, H., Muster, B., Brunner, C., Sanders, JPM., Bruins, ME., Schembecker, G. (2012). Low-cost small scale processing technologies for production applications in various environments_ Mass produced factories. Chemical Engineering and Processing 51: 32-52.

Chitosan applications for the food industry: https://www.researchgate.net/publication/319889837_Chitosan_applications_for_the_food_industry [haettu 20.8.2018].

Čičková, H., Newton G.L., Lacy, RC., Kozánek, M. (2015). The use of fly larvae for organic waste treatment. Waste Management 35: 68-80.

da Silva, R. & Pinto, L. (2012). Physical cross-linkers: Alternatives to improve the mechanical properties of fish gelatin. Food Engineering Reviews 4: 165-170.

Dijk, W. van., Geel, WCA van., Voort, MPJ van der, (2013). Effect van verschillende varianten van raffinage van bietenblad op bodemvruchtbaarheid en stikstofverliezen (Effects of different refinery solutions of sugar beet leaves on soil fertility and nitrogen losses). http:// edepot.wur.nl/378460

EEA Report: The circular economy and the bioeconomy. Partners in sustainability. EEA Report 8 (2018). European Environment Agency, Luxembourg. Web: eea.europe.eu.

Ehret, M., Bühle, L., Graß, R. Graß, R., Lamersdorf N., Wachendorf M. (2015). Bioenergy provision by an alley cropping system of grassland and shrub willow hybrids: biomass, fuel characteristics and net energy yields. Agroforest Syst. 89: 365-381. https://doi-org.libproxy.helsinki.fi/10.1007/s10457-014-9773-7

Gómez-Guillén, M., Giménez, B., López-Caballero, M. & Montero, M. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: a review. Food hydrocolloids 25: 1813-1827.

Escudero-Abarca, Blanca I.; Escudero-Abarca, M. Guadalupe; Aguilar-Uscanga, Patricia M.; Hayward-Jones, Patricia; Mendoza, Mario; Ramírez, Leticia (2004). Selective antimicrobial action of chitosan against spoilage yeasts in mixed culture fermentations. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology 31: 16–22.

Hendriks AT, Zeeman G. 2009: Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. Bioresource Technology 100:10-8. doi: 10.1016/j.biortech.2008.05.027

Hepworth D., Whale E., Cassland B., Lund H., Kalum L., Ulvskov P., Jørgensen B. (2017). Cellulose microfibrils. Patentti US2017167079 (A1), etuoikeusnumerot GB20140009047 20140521 ; WO2015GB51486 20150521.

Jan, K., Riar, C. & Saxena, D. (2015). Engineering and functional properties of biodegradable pellets developed from various agro-industrial wastes using extrusion technology. J. Food Sci Technol 52:7625-7639.

Jiang, T., Feng, L., Li, J. (2012). Changes in microbial and postharvest quality of shiitake mushroom (Lentinus edodes) treated with chitosan-glucose complex coating under cold storage. Food Chem., 131, 780

Karim, A. & Bhat, R. (2009). Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. Food hydrocolloids 23: 563-576

Keijsers, E. (2017). Refinery of greren leaves to produce protein products. Teoksessa: De Visser, C. & Van Ree, R. (toim.): Small scale refining. Wageningen University & Research (www.wur.nl)

Kootstra, M., Elissen, H., Huurman, S. (2017). PHA´s (polyhydroxyalkanoates): general information on structure and raw materials for their production. Report 727. ACRRES-Wageningen UR, Feb. 2017. Link: http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/414011

Matassa, S., Verstraete W., Pikaar, I., Boon, N. (2016). Autotrophic nitrogen assimilation and carbon capture for microbial protein production by a novel enrichment of hydrogen-oxidizing bacteria. Water Research 101: 137-146.

Mikkilä E. & Kirkkala T. (2016). Turvetuotannon tarve Satakunnassa vuoteen 2035 mennessä. Satakunnan vaihemaakuntakaavan 2 taustaselvitys. Pyhäjärvi-instituutin julkaisuja, Sarja B nro 31. ISBN 978-952-9682-76-8, Eura 2016

Nur Hanani, Z.A., Roos, Y.H. & Kerry, J.P. (2014). Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food products. International Journal of biological macromolecules 71: 94-102.

Oesterholt, F., S, Matassa, L. Palmen, K. Roest, W. Verstraete, 2017. Pilot scale production of single cell proteins using the power-to-protein concept. Presentation at 2nd International Resource Recovery Conference

Paatero, E. (2010). Erotusmenetelmiä. Teoksessa Anna-Maria Saarela; Paula Hyvönen; Sinikka Määttälä; Atte von Wrigth (toim.): Elintarvikeprosessit. Savonia-ammattikorkeakoulu.

Prochnow A, Heiermann M, Plöchl M, Linke B, Idler C, Amon T, Hobbs PJ. (2009). Bioenergy from permanent grassland--a review: 1. Biogas. Bioresource Technology 100:4931-44. doi: 10.1016/j.biortech.2009.05.070.

Ryömä, H., Mikkilä, E., Jori, M. (2018). Pyhäjärviseudun ravinneneutraali elintarviketalous. Loppuraportti. Pyhäjärvi-instituuttisäätiö, Eura.

Schattauer, A, Abdoun, E, Weiland, P, Plöchl, M, Heiermann, M. (2011). Abundance of trace elements in demonstration biogas plants. Biosystems Engineering 108, 57-65.

Sitra (2016). Kierrolla kärkeen. Suomen tiekartta kiertotalouteen 2016-2025. Sitran selvityksiä 117.

Sybimar (2015). Maatalouden pienten jätevirtojen hyödyntäminen energiantuotannossa ja biokaasulaitoksen jätepohjaisten ravinteiden hyödyntäminen maanviljelyssä ja energiapuuntuotannossa Hanke ajalle 1/2013 – 12/2014. Loppuraportti.

Wolf, O., Crank, M., Patel, M., Marschneider-Weidemann, F., Schleich, J., Hüsing, B., Angerer, G. (2005). Techno-economic Feasibility of Large-scale Production of Bio-

based Polymers in Europe. Technical Report EUR 22103 EN, European Communities, JRC/IPTS.

Wu, D. (2016). Recycle technology for potato peel waste processing: a review. Proceed. Environ. Sci. 31: 103-107.

Yen, M.T., Tseng, Y.H., Li, R.C., Mau, J.L., 2007. Antioxidant properties of fungal chitosan from shiitake stipes. LWT-Food Sci. Technol. 40: 255

Yong, S.K., Shrivastava, M., Srivastava, P., Kunhikrishnan, A., Bolan, N. (2015). Environmental applications of chitosan and its derivatives. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology 233: 1–43.

Zhang, D., Li, X., Jia, S., Dai, L., Zhao, J., Chen, Y. ja Dai, X. (2015). A review: Factors affecting excess sludge anaerobic digestion for volatile fatty acids production. Water Science and Technology 72: 678-688.

Zhang J., Brook, M. (2017). Exploiting Lignin: A Green Resource. Teoksessa: Mobilizing Chemistry Expertise To Solve Humanitarian Problems Volume 2. s.91 – 116. ACS Symposium Series, Vol. 1268.