

## Perunan ja vihannesten sivuvirtojen arvokomponenttien hyötykäyttö

Ahokas Mikko, Välimaa Anna-Liisa, Kankaala Anu, Lötjönen Timo ja  
Virtanen Elina



---

## **Perunan ja vihannesten sivuvirtojen arvokomponenttien hyötykäyttö**

---

**Ahokas Mikko, Välimaa Anna-Liisa, Kankaala Anu, Lötjönen Timo ja Virtanen Elina**



ISBN: 978-952-487-410-6 (Verkojulkaisu)

ISSN 1798-6419

www-osoite: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti67.pdf>

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Ahokas Mikko, Välimaa Anna-Liisa, Kankaala Anu, Lötjönen Timo, Virtanen Elina

Julkaisija ja kustantaja: MTT Jokioinen

Julkaisuvuosi: 2012

Kannen kuva: Anu Kankaala

---

# Perunan ja vihannesten sivuvirtojen arvokomponenttien hyötykäyttö

---

Ahokas, Mikko<sup>1)</sup>, Välimaa, Anna-Liisa<sup>1)</sup>, Kankaala, Anu<sup>1)</sup>, Lötjönen, Timo<sup>2)</sup> & Virtanen, Elina<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> MTT, Biotekniikka ja elintarviketutkimus, PL 413 (Rakentajantie 3), 90014 Oulu  
etunimi.sukunimi@mtt.fi

<sup>2)</sup> MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Tutkimusasemantie 15, 92400 Ruukki  
etunimi.sukunimi@mtt.fi

## Tiivistelmä

Tässä raportissa sivuvirroilla tarkoitetaan kaikkia niitä perunan ja vihannesten käsittelyprosesseissa syntyviä jakeita, jotka eivät ole varsinaisia päätuotteita. Sivuvirtoja ovat esimerkiksi kuorimassa, soluneste, lajittelu- ja paloittelutähteet tai sadon noston yhteydessä peltoon jääneet perunat. Sivuvirran määrä vaihtelee käsittelyprosesseittain; joissakin kuorintaprosesseissa se voi olla jopa 50–100 % kuoritun tuotteen määrään nähden.

Kansallinen biojättestrategia, kaatopaikkadirektiivi sekä uusi jätelaki ja siihen liittyvät muut lait asettavat jatkojalostuksessa syntyville sivuvirroille tiukat määritykset. Esimerkiksi kaatopaikkadirektiivi edellyttää, että biohajoavan yhdyskuntajätteen sijoittamista vähennetään asteittain siten, että vuonna 2016 kaatopaikoille saa sijoittaa enintään 25 % tuolloin syntyväksi arvioidusta biohajoavasta yhdyskuntajätteestä. Lisäksi EU-tavoite on nostaa uusiutuvien liikennepolttoaineiden osuus 10 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Tiukentuvan lainsäädännön lisäksi yritysten tuotantoprosessien kehittäminen taloudellisesti kannattavamaksi vaatii sivuvirtojen tehokkaampaa ja kokonaisvaltaisempaa hyödyntämistä. Esimerkiksi perunan ja vihannesten jatkojalostusyrityksien sivuvirroista on mahdollista erottaa ensin kaupallisesti arvokkaita biokomponentteja, kuten tärkkelystä, proteiineja ja kuitua sekä sivuvirroista valmistaa bioetanolia ja -kaasua biojalostamossa.

Yleensä biojalostamoissa tuotetaan kestävästi kemikaaleja, biopolttoaineita sekä energiaa mekaanisilla, kemiallisilla ja biologisilla prosesseilla. Perinteinen jalostusprosessi sisältää käytännössä vain yhden komponentin hyödyntämisen, esimerkiksi perunan tärkkelyksen valmistamisen perunasta. Pohjois-Pohjanmaalta puuttuu perunan ja juuresten sivuvirtoja hyödyntävä biojalostamo.

Tämän vuosina 2011–2012 toteutetun esiselvitysprojektin kokonaistavoitteena oli kehittää Pohjois-Pohjanmaalle perunan ja vihannesten jatkojalostuksen sivuvirtoja hyödyntävä biojalostamokonsepti, jossa sivuvirtojen biomassoista tuotetaan teollisuuden raaka-aineita, elintarvikkeita, energiaa tai erilaisia biokomponentteja muille hyödyntäjätahoille. Biomassa pyritään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti ja kokonaisvaltaisesti useita eri tekniikoita käyttäen. Biojalostamokonseptia varten tietoa kerättiin ja yhdistettiin pääosin tieteellisestä kirjallisuudesta, patenttitietokannoista ja laitevalmistajien verkkosivuilta perunan ja sen jalostusprosessien sivuvirtojen eri jakeiden ja biokomponenttien koostumuksesta, niiden käyttösovelluksista sekä erotus- ja valmistusteknologioista. Lisäksi biojalostamokonseptin laskelmia varten tehtiin kyselytutkimus, jossa selvitettiin peruna- ja vihannestuotannossa, jatkojalostuksessa ja myymälöissä syntyvän sivuvirran määrä ja laatu, niiden maantieteellinen sijainti ja nykyinen käyttökohde. Tulosten perusteella laadittiin laskelmat biojalostamosta kannattavuuslaskelmineen. Koska perunan osuus Pohjois-Pohjanmaan peruna- ja juurestuotannon sivuvirtamassoista oli niin merkittävä, biojalostamolaskelmissa huomioitiin vain perunaprosessien sivuvirtojen määrä.

## Avainsanat:

bioetanoli, biojalostamo, perunakuitu, perunaproteiini, sivuvirrat, perunatärkkelys

---

# Utilization of Byproducts from Potatoes and Vegetables for Value-Added Products

---

Ahokas, Mikko<sup>1)</sup>, Välimaa, Anna-Liisa<sup>1)</sup>, Kankaala, Anu<sup>1)</sup>, Lötjönen, Timo<sup>2)</sup> & Virtanen, Elina<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> MTT Agrifood Research Finland, Biotechnology and Food Research, B.O. 413 (Rakentajantie 3), FI-90014 University of Oulu, Finland, firstname.lastname@mtt.fi

<sup>2)</sup> MTT Agrifood Research Finland, Plant Production Research, Tutkimusasemantie 15, FI-92400 Ruukki, Finland, firstname.lastname@mtt.fi

## Abstract

In this report, by-products are defined as the fractions produced in processing of potatoes and vegetables in addition to the main products. These by-products include peels, potato pulp, potato fruit juice, leftovers from cutting processes and under-sized potatoes left in the field. The amount of the by-products varies depending on the process. For example, in peeling processes the amount of by-products can be as much as 50–100 % compared to that of the peeled product.

The disposal of the by-products is strictly regulated by the national biowaste strategy, the landfill directive and the new waste legislation. The disposal of the by-products is strictly regulated by the national biowaste strategy, the landfill directive and the new waste legislation. For example, the landfill directive requires a gradual reduction in the amount of biodecomposable community waste. This means that in 2016, a maximum of 25 % of the estimated biodecomposable community waste produced can be placed in landfill sites. Moreover, the EU aims at increasing the amount of the renewable traffic fuels to 10 % by the year 2020. The utilization of the by-products in an effective and holistic way is not necessary only due to the tight legislative demands, but also in order to make the production economically profitable. For example, it is possible to separate from by-products of potatoes and vegetables commercially valuable biocomponents, such as starch, proteins and fiber, and to produce bioethanol and biogas in biorefinery plants.

In the biorefinery plants, chemicals, biofuels and energy are produced sustainably using mechanical, chemical and biological processes. However, in a conventional refinery process usually only one component is utilized, for example potato starch. The North Ostrobothnia region is lacking the biorefinery that utilizes the by-products of potatoes and vegetables.

This study was carried out in 2011–2012 by MTT Agrifood Research Finland Oulu. The objective was to develop a biorefinery concept in which by-products from potato and vegetables industry are manufactured to value-added products efficiently utilizing the biomass as raw materials, food items, energy or different biocomponents using different technologies. Information was collected from scientific articles, patent databases and web pages. Additionally, interviews were carried out to establish the amount and type of the by-products produced, the geographic location of the production sites and the present use of the by-products. Based on the interviews, calculations were done for a biorefinery and its profitability. As the great majority of the by-products in the North Ostrobothnia are related to potato, the calculations for the biorefinery concept are based solely on by-products from potato production and processing.

## Keywords:

bioethanol, biorefinery, co-products, potato fiber, potato protein, potato starch

---

# Sisällysluettelo

---

1 Johdanto .....	6
2 Sivuvirroista saatavat tuotteet tai käyttösovellukset sekä markkinat .....	8
2.1 Perunan ja juuresten käsittelyprosesseissa syntyvät sivuvirrat .....	8
2.2 Perunan sivuvirtojen biokomponentit .....	8
2.2.1 Perunatärkkelys .....	9
2.2.2 Perunakuitu .....	9
2.2.3 Perunaproteiini .....	10
2.2.4 Kivennäisaineet .....	13
2.3 Perunan sivuvirtojen bioprosessoinnin jalosteet .....	13
2.3.1 Biopolttoaineet: bioetanoli ja biokaasu .....	13
2.3.2 Hiilidioksidi .....	13
2.3.3 Lannoite .....	14
3 Erotusteknologiat .....	15
3.1 Tärkkelyksen erotus .....	15
3.2 Kuidun erotus .....	17
3.3 Proteiinin erotus .....	19
3.3.1 Saostus .....	20
3.3.2 Ultrasuodatus ja käänteisosmoosi .....	21
3.3.3 Kromatografia .....	22
3.4 Etanolin valmistus perunasta .....	23
3.4.1 Hydrolysointi .....	23
3.4.2 Fermentointi .....	24
3.4.3 Tislaus .....	24
3.5 Biokaasuntuotanto .....	25
4 Perunan- ja vihannestuotannon sivuvirtapotentialiaali Pohjois-Pohjanmaalla .....	26
4.1 Postikyselyn menetelmät .....	26
4.2 Postikyselyn tulokset .....	26
4.2.1 Perunapakkaamot .....	26
4.2.2 Perunaa ja vihanneksia jalostavat yritykset .....	28
4.2.3 Myymälät .....	28
5 Biojalostamo .....	30
5.1 Tekninen tarkastelu .....	30
5.2 Raaka-aineet .....	30
5.3 Kuljetuskustannukset .....	31
5.4 Prosessikuvaus .....	31
5.4.1 Raaka-aineen esikäsittely .....	31
5.4.2 Perunarehun (kuitupitoisen perunapulpan) ja solunesteen erotus .....	32
5.4.3 Lietto ja hydrolyysi .....	32
5.4.4 Fermentointi .....	33
5.4.5 Tislaus .....	33
5.4.6 Mädätys .....	34
5.5 Suunnittelussa huomioitavia asioita .....	35
5.6 Layout .....	36
5.7 Taloudellinen tarkastelu .....	36
5.7.1 Biojalostamon materiaalitase .....	36
5.7.2 Arvio biojalostamon investointikustannuksista .....	37
5.7.3 Arvio biojalostamon käyttökustannuksista .....	37
5.7.4 Arvio biojalostamon tuotoista .....	38
5.7.5 Henkilöstörakenne .....	38
5.7.6 Tuloslaskelma .....	38
5.8 Riskianalyysi (SWOT) .....	39
6 Yhteenveto .....	41
6.1 Biojalostamon raaka-ainehuolto ja sijainti .....	41
6.2 Biojalostamon kannattavuus .....	42
7 Lähteet .....	43

---

# 1 Johdanto

---

Pohjois-Pohjanmaalla viljellään perunaa noin 4000 ha:n peltoalalla ja avomaan vihanneskasveja noin 145 ha:n alueella (Tike 2011). Perunasta suurin osa on siemen- ja ruokaperunaa ja vain vähän tärkkelysperunaa. Jonkin verran vihannes- ja juureskasveja tuodaan jalostettavaksi maakunnan ulkopuolelta.

Jatkojalostuslaitoksissa, kuten kuorimoiden ja pakkaamoiden käsittelyprosesseissa, raaka-aineesta syntyy aina ns. sivuvirtoja. Tässä raportissa niillä tarkoitetaan kaikkia niitä perunan ja vihannesten käsittelyprosesseissa syntyviä jakeita, jotka eivät ole varsinaisia päätuotteita. Sivuvirtoja ovat esimerkiksi kuorimassa, soluneste, lajittelu- ja paloittelutähteet tai sadon noston yhteydessä peltoon jääneet perunat. Sivuvirran määrä vaihtelee käsittelyprosesseittain; joissakin kuorintaprosesseissa se voi olla jopa 50–100 % kuoritun tuotteen määrään nähden (Peusa & Piilo 2006).

Sivuvirtojen käsittely aiheuttaa kustannuksia ja heikentää siten kannattavuutta. Lisäksi perunan ja juuresten käsittelyprosesseissa syntyvien biomassojen biologinen kuormittavuus on korkea, ja se vaihtelee raaka-aineen, käsittelyprosessin, käytettävän veden määrän, jatkojalostusasteen sekä syntyvän sivuvirtajakeen mukaan. Biologinen hapenkulutus (BHK7) esimerkiksi perunan kuorimassassa on 7 000–yli 10 000 mg/l, tärkkelys- ja solunestevedessä 1 000–5 000 mg/l ja huuhteluvedessä 150–3 000 mg/l (Peusa & Piilo 2006). Vertailun vuoksi mainittakoon, että yhdyskuntajätevesiä puhdistavan laitoksen asutuksesta tulevan jäteveden keski-määräinen BOD7 on 200 mg/l (Riekkinen 2007).

Kansallinen biojätestrategia (Ympäristöministeriö 2004), kaatopaikkadirektiivi [EY:n neuvoston kaatopaikkadirektiivi (1999/31/EY)] ja uusi jätelaki ja siihen liittyvät muut lait (Finlex, 646-666/2011) asettavat jatkojalostuksessa syntyville sivuvirroille tiukat määräykset. Kansallisessa biojätestrategiassa asetetaan tavoitteita ja osoitetaan keinoja biohajoavien jätteiden kaatopaikkakäsittelyn vähentämiseksi. Kaatopaikkadirektiivi puolestaan edellyttää, että biohajoavan yhdyskuntajätteen sijoittamista vähennetään asteittain siten, että vuonna 2016 kaatopaikoille saa sijoittaa enintään 25 % tuolloin syntyväksi arvioidusta biohajoavasta yhdyskuntajätteestä. Uusi jätelaki ja siihen liittyvät muut lait astuivat voimaan 1.5.2012. Tämän jätteenalan lainsäädännön kokonaisuudistuksen tavoitteena on ajanmukaistaa alan lainsäädäntö vastaamaan nykyisiä jäte- ja ympäristöpolitiikan painoituksia sekä EU-lainsäädännön vaatimuksia. Lisäksi EU-tavoite on nostaa uusiutuvien liikennepolttoaineiden osuus 10 %:iin vuoteen 2020 mennessä.

Tiukentuvan lainsäädännön lisäksi yritysten tuotantoprosessien kehittäminen taloudellisesti kannattavammaksi vaatii sivuvirtojen tehokkaampaa ja kokonaisvaltaisempaa hyödyntämistä. Esimerkiksi peruna ja vihannesten jatkojalostusyrityksien sivuvirroista on mahdollista erottaa ensin kaupallisesti arvokkaita biokomponentteja, kuten tärkkelystä, proteiineja ja kuitua sekä sivuvirroista valmistaa bioetanolia ja -kaasua biojalostamossa.

Yleensä biojalostamoissa tuotetaan kestävästi kemikaaleja, biopoltoaineita sekä energiaa mekaanisilla, kemiallisilla ja biologisilla prosesseilla. Biojalostamot ovat yleisiä esimerkiksi puunjalostusteollisuudessa, jossa puun eri komponentit käytetään tehokkaasti hyödyksi. Tyypillisiä esimerkkejä ovat mäntyöljyn tai ligniinin jalostusprosessit (Ekman & Börjesson 2011). Perinteinen jalostusprosessi sisältää käytännössä vain yhden komponentin hyödyntämisen, esimerkiksi perunan tärkkelyksen valmistamisen perunasta. Pohjois-Pohjanmaalta puuttuu perunan ja juuresten sivuvirtoja hyödyntävä biojalostamo.

Tämän vuosina 2011–2012 toteutetun esiselvitysprojektin kokonaistavoitteena oli kehittää Pohjois-Pohjanmaalle perunan ja vihannesten jatkojalostuksen sivutuotteita hyödyntävä biojalostamokonsepti, jossa sivuvirtojen biomassoista tuotetaan teollisuuden raaka-aineita, elintarvikkeita, energiaa tai erilaisia biokomponentteja muille hyödyntäjätahoille. Biomassa pyritään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti ja kokonaisvaltaisesti useita eri tekniikoita käyttäen. Optimaalinen sivutuotteiden hyötykäyttö on mahdollista vain tehokkailla ja kehittyneillä erotus- ja bioprosessitekniikoilla.

Projekti oli luonteeltaan esiselvitystyyppinen ja projektissa tuotettiin tietoa, jota kerättiin ja yhdistettiin pääosin tieteellisestä kirjallisuudesta, patenttietokannoista ja laitevalmistajien verkkosivuilta. Teoreettinen tieto koostui lähinnä perunan ja sen jalostusprosessien sivuvirtojen eri jakeiden ja biokomponenttien

koostumuksesta, niiden uudenaikaisista käyttösovelluksista sekä niiden erotus- ja valmistusteknologioista.

Biojalostamokonseptin laskelmia varten tehtiin kyselytutkimus, jossa selvitettiin peruna- ja vihannestuotannossa, jatkojalostuksessa ja myymälöissä syntyvän sivuvirran määrä ja laatu, niiden maantieteellinen sijainti sekä nykyinen käyttökohde. Lisäksi viljelijöiltä pyydettiin arvioimaan perunan- ja vihannesten noston aikana maahan joutuvan epäkelvon perunan määrä, ja kaikilta tuottajilta arviota siitä, millä hintaa he sivutuotteesta luopuisivat.

Tulosten perusteella laadittiin alustavat kannattavuuslaskelmat biojalostamosta, joka käyttäisi raaka-aineena perunan varastoinnissa ja lajittelussa syntyviä sivuvirtoja. Biojalostamokonseptissa perunasta hyödynnetään sen sisältämät arvokomponentit, tärkkelys, proteiini ja kuitu. Koska perunan osuus Pohjois-Pohjanmaan sivuvirtamassoista oli niin merkittävä, biojalostamolaskelmissa huomioitiin vain perunaprosessien sivuvirtojen määrä.

Tämän esiselvityksen rahoitti Pohjois-Pohjanmaan liitto Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR) (70 %) ja 30 % oli Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen MTT:n omaa rahoitusta.



---

## 2 Sivuvirroista saatavat tuotteet tai käyttösovellukset sekä markkinat

---

### 2.1 Perunan ja juuresten käsittelyprosesseissa syntyvät sivuvirrat

Tässä raportissa sivuvirroilla tarkoitetaan kaikkia niitä perunan ja vihannesten käsittelyprosesseissa syntyviä jakeita, jotka eivät ole varsinaisia päätuotteita. Perunan ja juuresten kuorintaprosessissa syntyy kuorimassaa ja solunestettä sisältäviä perunan prosessilaitteistojen huuhtelu- ja pesuvesiä. Paloitteluprosessissa syntyy lisäksi lajittelu- ja paloittelutähteitä. Pakkaamoiden kauppa-kunnostusprosessissa syntyy lajittelutähteitä epämuotoisista, pilaantuneista sekä ali- tai ylittävistä perunoista tai juureksista (Peusa & Piilo 2006).

Sivuvirtojen samoin kuin niiden sisältämän kuiva-aineen määrä vaihtelevat käsittelyprosesseittain. Perunan viljelijöiden arvion mukaan noston yhteydessä sadosta jää peltoon keskimäärin 5 %. Valtaosa tästä on kooltaan liian pientä perunaa. Perunasta on valtaosa vettä (63–87 %) ja loput kuiva-ainetta (Storey ym. 2007, Burlingame ym. 2009). Kuiva-aineesta suurin osa on hiilihydraatteja – tärkkelystä 9,1–22,6 %, sokereita (pääasiassa glukoosia, fruktoosia ja sakkaroosia), liukoista 0,87–1,22 % ja liukenematonta 0,41–2,53 % kuitua. Perunan mukula sisältää pieniä määriä proteiineja 0,85–4,2 %, rasvaa 0,05–0,51 % ja kiennäisaineita sekä vitamiineja. Vitamiineista merkittävin on C-vitamiini, jota on perunassa 6,5–34 mg/100 g. Lisäksi peruna sisältää myrkyllisiä, kuumennusta hyvin kestäviä glykoalkaloideja 0,071–175 mg/100 g (Burlingame ym. 2009).

Kuorintaprosessien sivuvirran määrät vaihtelevat. Märkäkuorinnassa syntyy sivuvirtaa 50–100 % kuorintuotteen määrään nähden. Jättemassa sisältää multaa, kuorimassaa ja tärkkelys- ja solunestepitoista vettä. Jättemassan kuiva-ainepitoisuus on noin 10–15 %. Multapitoisuuden vuoksi massaa ei voida käyttää rehuksi. Koska kuivakuorinnassa vettä ei käytetä kuorintavaiheessa lainkaan, jätteitä syntyy 50–100 % vähemmän kuin märkäkuorinnassa. Jättemassat erottuvat kolmeen jakeeseen: multavesi (muodostuu pesussa ja/tai kiven erottimessa), kuorimassa (puhdasta perunaa) ja tärkkelys- ja solunestevesi (tuotteen huuhtomisista sekä pestäessä tuotteesta tarttunut massa pois koneista ja laitteista). Kuorimassan kuiva-ainepitoisuus on 17–18 %. Kuorimassan hyötykäyttö rehuksi on mahdollista ilman lisäkäsittelyä. Se säilyy joitakin päiviä luonnollisen maitohappokäymisen ansiosta, mutta parasta olisi, jos massa toimitettaisiin rehuksi jokaisena kuorintapäivänä (Peusa & Piilo 2006).

Neste voidaan erottaa kuorimassasta separoimalla. Separoinnissa syntynyt perunamassa pysyy hyvin koossa ja se on helposti liikuteltavaa. Massaa voidaan käyttää rehuksi (Rehuyksikköarvo (keskiarvo) 1,16 ry/kg), lämmöntuotantoon (poltettavien brikettien seosaine) tai se voidaan kompostoida. Kuorimassan kosteuspitoisuus on 74,3 % ja se sisältää arvokkaita perunan ainesosia seuraavasti: raakaproteiinia 5,8 %, raakakuitua 6,8 % sekä ravinteita, kuten kalsiumia (Ca) <0,8 g/kg, fosforia (P) 1,4 g/kg, magnesiumia (Mg) 0,85 g/kg ja kalium (K) 20 g/kg. Massan energia-arvo (ME) on 13,6 MJ/kg (Peusa & Piilo 2006).

Solunestettä syntyy noin 70 % separoidun kuorimassan määrästä. Se on vesimäistä, helposti pilaantuvaa, hankalasti käsiteltävää nestettä. Sen biologinen hapenkulutus on erittäin suuri. Soluneste voidaan hyötykäyttää peltolannoitteena lannoitevalmistelain edellyttämällä tavalla (Peusa & Piilo 2006).

Solunesteessä kuiva-ainetta on 23,5 %. Se koostuu tärkkelyksestä (17,4 %), proteiinista (2,5 %), kuidusta (1,8 %), liukoista hiilihydraateista (0,5 %) sekä mineraaleista (1,3 %) (Bergthaller ym. 1999) sekä ravinteista seuraavasti: typpeä 0,33 % (puolet liukoista), fosforia 0,045 %, kaliumia 0,47 %, magnesiumia 0,03 % ja kalsiumia 0,002 % (Riekkinen 2007).

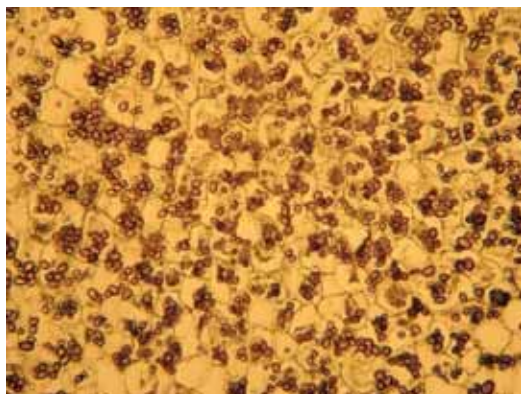
### 2.2 Perunan sivuvirtojen biokomponentit

Koska kyselytutkimuksen mukaan (ks. kpl 4) perunan osuus Pohjois-Pohjanmaan perunan- ja vihannesten jatkojalostuksen sivuvirtamassoista oli niin merkittävä, tässä keskitytään lähinnä perunan ja samalla sen

sivuvirtojen kokonaisvaltaisen hyödyntämisen kannalta arvokkaimpiin biokomponentteihin: tärkkelyseen, kuituun, proteiiniin ja kivennäisaineisiin.

### 2.2.1 Perunätärkkelys

Perunan tärkkelys sijaitsee amyloosista ja amylopektiinistä koostuvissa tärkkelysjyväsissä (kuva 1.) (Storey 2007). Mukuloiden tärkkelyspitoisuus vaihtelee mm. lajikkeen, perunan tuleentumisasteen ja viljelyolosuhteiden mukaan. MTT:n lajikekokeissa tärkkelyspitoisuus vaihteli varhaisperunan 10 %:sta tärkkelysperunan 21 %:iin (Kangas ym. 2007). Tärkkelyksen määrä on suurin mukulan kuoriosassa ja pienin ytimessä, jossa on jopa tärkkelysjyvättömiä soluja (Karlsson & Eliasson 2003; Tuikkanen ym. 2006).



Kuva 1. Tärkkelysjyväsä perunan (Van Gogh) varastosolukosta. (Anu Kankaala)

Perunätärkkelystä on valmistettu Suomessa 1930-luvulta lähtien. Aluksi sitä valmistettiin vain elintarvikekäyttöön. 1980-luvulta lähtien perunätärkkelystä on käytetty myös paperiteollisuudessa (Pääkkönen ym. 2004), jossa vuonna 2006 käytettiin 80 % tuotetusta tärkkelyksestä (MMM 2006). Vaikka tärkkelyksen tuotantoteollisuus on keskittynyt Suomessa tärkkelysperunan tuotantoalueille ja tehdaskoot siten kasvaneet, Suomen tärkkelyksen tuotantolaitokset ovat Euroopan pienimpiä, mistä johtuen tuotantokustannukset ovat EU:n korkeimpia. Suomessa kolme suurta tärkkelyksen tuottajaa ovat 1) Finnamyl Oy ja Lappuan peruna Oy, 2) Järviseudun peruna Oy ja 3) Evijärven peruna Oy. Vuonna 2011 tehtaille toimitettiin tärkkelysperunaa yli 273 000 000 kg (tärkinetti).

Luonnollisen tärkkelyksen ominaisuudet sopivat lähinnä käytettäväksi paksuntaja- ja sitoja-aineena, joten käyttökohteiden monipuolistamiseksi tärkkelyksiä on muunneltu kemiallisesti (Kraak 1993) ja viimeaikoina tärkkelyksen rakennetta on muunneltu jo kasvissa (Jobling 2004). Modifioituja tärkkelyksiä käytetään esimerkiksi rakennus- ja tekstiiliteollisuudessa (Lyckeby). Tärkkelyksen tuotannossa syntyy sivuvirtoina solunestettä ja perunapulppua, nämä sisältävät proteiinia ja kuitua. Tärkkelystuotannon sivuvirroissa olevia ainesosia voitaisiin nykytekniikalla hyödyntää aiempaa tehokkaammin, proteiinin ja kuidun nykyistä arvokkaampi jatkokäyttö vaikuttaisi tuotannon kannattavuuteen.

### 2.2.2 Perunakuitu

Perunan kuidulla tarkoitetaan perunan muita hiilihydraatteja, sokerin ja tärkkelyksen lisäksi, kuten selluloosaa, hemiselluloosaa, pektisiä aineita ja pentosaania. Näitä esiintyy mukulan soluseinissä ja solun sisäisissä rakenteissa ja ne muodostavat 2,3 % perunan painosta (Storey 2007). Selluloosa muodostaa 10–12 %, pektiinit 0,7–1,5 % ja hemiselluloosa 1 % polysakkarideista, jotka eivät ole tärkkelystä. Pektiset aineet ovat protopektiinia 70 %, liukoista pektiinia 10 % ja pektiinihappoa 13,25 %. Hemiselluloosa koostuu glukuronihaposta, ksyloosista, galakturonihaposta ja arabinoosista (Kadam ym. 1991). Lisäksi perunakuitu sisältää kestävä tärkkelystä, joka ei sulaa ohutsuolessa, mutta paksunsuolen bakteerit voivat sitä fermentoida.

Perunakuitu on yksi monista ravintokuidun lähteistä. Alun perin 1950-luvulla käsitteellä ravintokuitu kuvattiin ruoan sisältämän ligniinin, selluloosan ja hemiselluloosan määrää (Raninen ym. 2011). Viime

aikoina käsite on saanut useita uusia määritelmiä ja Euroopan Unionissa se on määritelty vuonna 2008 seuraavasti:

Kuitu tarkoittaa kolmesta tai useammasta monomeerisestä yksiköstä koostuvia hiilihydraatti-polymeerejä, jotka eivät absorboitu eivätkä sula ihmisen ohutsuolessa ja kuuluvat seuraaviin luokkiin:

- syötävät hiilihydraattipolymeerit, joita esiintyy käytetyissä ruoka-aineissa luonnollisesti
- syötävät hiilihydraattipolymeerit, jotka on saatu elintarvikeraaka-aineista fysikaalisin, entsyymaattisin tai kemiallisin keinoin, ja joilla on edullisia fysiologisia vaikutuksia, joista on yleisesti hyväksyttyä tieteellistä näyttöä
- syötävät synteettiset hiilihydraattipolymeerit, joilla on edullisia fysiologisia vaikutuksia, joista on yleisesti hyväksyttyä tieteellistä näyttöä (European Union 2008).

Ravintokuitu jaetaan liukoiseen ja liukenemattomaan kuidun kemiallisten ominaisuuksien ja analyttisten määritysten perusteella; jako ei heijasta fysiologisia vaikutuksia (Raninen ym. 2011). Liukenemattomia kuituja ovat pääasiassa selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini, kun taas liukenevia kuituja ovat esimerkiksi pektiinit, tietyt kasvilimat ja -kumit (Bodner & Sieg 2009).

Ravintokuidulla on todettu olevan monia fysiologisia, terveyttä edistäviä ominaisuuksia (Elleuch ym. 2011). Liukenevan kuidun ominaisuuksiin liitetään yleisesti kolesterolia ja insuliinia alentavat vaikutukset. Liukoinen kuitu viskoosina, fermentoituvana, energianottoa vähentävänä ruoan ainesosana näyttää olevan potentiaalisin sydän- ja verisuonisairauksien ja 2-tyyppin diabeteksenriskitekijöitä vähentävä tekijä. Painon pudotukseen ja syöpään liittyviä positiivisia vaikutuksia on raportoitu sekä liukoisella että liukenemattomalla kuidulla (Lærkea ym. 2007).

Fysiologisten ominaisuuksien lisäksi ravintokuidulla on lukuisia teknologisia ominaisuuksia, joista merkittävimmät ovat veden- ja öljynsitomiskyky. Näitä ominaisuuksia voidaan hyödyntää elintarviketeollisuudessa esimerkiksi tuotteiden rakenteen parantajina ja rasvan korvaajana, jolloin saadaan terveellisiä elintarviketuotteita. Lisäksi ravintokuidut ovat gluteenittomia eivätkä sisällä allergisoivia ominaisuuksia, mikä lisää niiden monipuolista elintarvikekäyttöä.

Perinteisesti valmistettu perunakuitu sisältää ravintokuitua noin 70 %, (56 % liukenematonta ja 6 % liukenevaa ravintokuitua). Perunakuidun vedensitomiskyky on hyvä 1:15, kun taas öljynpidätyskyky on huono vain 1:2,5. Kuidun lisäksi perunakuitu sisältää kestäväää tärkkelystä (12 %), rasvaa ja proteiinia. Tiukasti kuituun sitoutunut tärkkelys alentaa vedensitomiskykyä, kun taas proteiinipitoisuus parantaa sitä (Bodner & Sieg ym 2009).

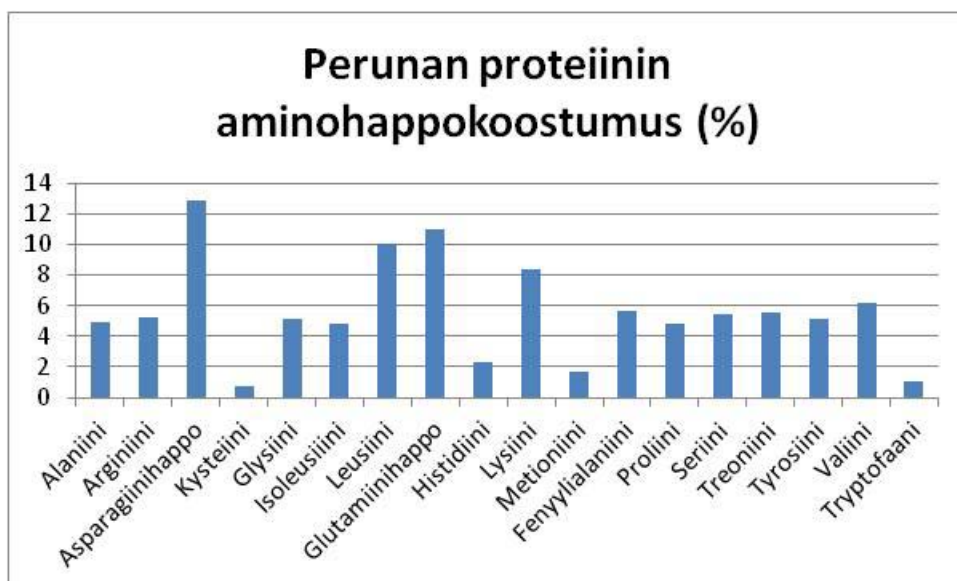
Perunan ravintokuitua on tutkittu mm. makkaroiden ja muiden lihatuotteiden valmistuksessa rasvan korvaajana (Kaack, ym. 2006a; Kaack & Pedersen 2005a) sekä leipomotuotteissa parantamaan rakennetta ja väriä (Kaack K ym. 2006b; Kaack & Pedersen 2005b). Nykyisin perunakuidun elintarvikekäyttö on varsin yleistä liha- ja leipomotuotteissa sekä terveyttä edistävässä elintarvikkeissa. Korkean öljyn- ja vedenpidätyskyvyn ansiosta tuotteiden rakenne ja koostumus paranevat; tuote ei murre tai murene helposti ja se säilyy tuoreena kauemmin. Lisäksi perunakuidun käyttö vähentää kypsennysaikaa ja paistohäviötä sekä rasvaa absorboituu vähemmän kypsennyksen ja paiston aikana (J. Rettenmaier Söhne JRS ).

Elintarvikelaatuista perunakuitua ei tiettävästi valmisteta tällä hetkellä Suomessa. Muualla Euroopassa perunakuidun valmistajia ovat mm. saksalainen J. Rettenmaier Söhne, JRS ja ruotsalainen Lyckeby Stärkelse, joista ensiksi mainittu on kehittänyt VITACEL® -perunakuidun ja jälkimmäinen Potex-tuotemerkillä tunnetun perunakuidun. Se sisältää ravintokuitua (70 %), tärkkelystä ja vettä (8.7 %), proteiineja (5 %), tuhkaa (4 %) sekä rasvaa (0,3 %) (Langner ym. 2009).

### 2.2.3 Perunaproteiini

Perunassa on proteiinia 20 g / tuorepaino-kg, ja määrä vaihtelee 6,9–46,3 g lajikkeen mukaan. Proteiinipitoisuus on suurin kuorikerroksessa (Karlsson & Eliasson 2003). Proteiinin laatu riippuu erilaisten aminohappojen kokonaismäärästä ja niiden pitoisuuksista. Se mitataan biologisena arvona, joka kuvaa, kuinka

paljon elimistö voi käyttää ruoan sisältämästä typestä elimistön tarvitsemien proteiinien, kuten entsyymien ja lihassolujen muodostumiseen. Jos elimistö pystyy käyttämään kaiken tyyppien hyväkseen, biologinen arvo on 100. Kananmunan valkuaisen biologinen arvo on 100, johon muita valkuaislähteitä verrataan. Perunaproteiinin biologinen arvo on 90–100. Perunaproteiinin aminohappokoostumus ravitsemuksellisesti on hyvä, sillä se sisältää ihmiselle välttämättömiä aminohappoja suhteellisen paljon lukuun ottamatta metioniinia ja kysteiiniä (kuva 2.) (Storey 2007). Ihmiselle välttämättömiä aminohappoja ovat histidiini, isoleusiini, leusiini, lysyiini, metioniini, fenyyllalaniini, treoniini, valiini ja tryptofaani. Aikuisen ihmisen päivittäiset tarpeet painokiloa kohti (mg/kg per päivä) ovat seuraavat: histidiini 10, isoleusiini 20, leusiini 39, lysyiini 30, metioniini ja kysteiini, fenyyllalaniini ja tyrosiini 25, yhteensä 15, treoniini 15, tryptofaani 4 ja valiini 26 mg/kg per päivä (WHO 2007).



Kuva 2. Perunan proteiinin aminohappokoostumus prosentteina (muokattu lähteestä Lisinska & Lesczynski teoksessa Storey 2007).

Perunaproteiinit voidaan jakaa kolmeen luokkaan: patatiinit, proteaasi-inhibiittorit ja muut proteiinit. Patatiinia on 30–40%, proteaasi-inhibiittoreita noin 50 % ja muita proteiineja 10–20 % kokonaisproteiinipitoisuudesta (Bártová & Bárta 2009). Patatiini toimii varastoproteiinina ja todennäköisesti myös perunan puolustus-mekanismina tuholaisia ja kasvipatogeenia vastaan. Patatiinipitoisuus vaihtelee perunalajikkeittain ja vuosittain noin 0,8–1,5 % kuiva-aineesta laskettuna (Bártová & Bárta 2008). Patatiini saattaa olla allergeeni joillekin ihmisille, mutta sen allergiaominaisuudet vähenevät kuumennettaessa merkittävästi (Pihlanto ym. 2011).

Proteaasi-inhibiittoreita on noin 50 % kokonaisproteiinipitoisuudesta (Bártová & Bárta 2009) ja ne voidaan luokitella sen perusteella, minkä proteaasi-entsyymien toimintaa ne estävät (Pouvreau ym. 2004.) Proteaasi-inhibiittorit muodostavat osan kasvien luonnollisesta puolustusmekanismista. Ne kerääntyvät perunan lehtiin ja mukuloihin mekaanisen vioittumisen, UV-säteilyn, hyönteisten aiheuttaman vioittumisen tai kasvipatogeenien hyökkäyksen seurauksena (Pouvreau ym. 2001). Monet näistä proteaasi-inhibiittoreista estävät hyönteisten, nisäkkäiden ja ihmisten luonnollisten ruoansulatusentsyymien, kuten trypsiinin ja kymotrypsinin, toimintaa vähentäen siten proteiinien sulamista ja niiden hyväksikäyttöä. Proteaasi-inhibiittorien toiminta voidaan kuitenkin estää kuumakäsittelyillä (Kärenlampi & White 2009).

Biojalostamo mahdollistaisi perunaproteiinin puhdistamisen ja käytön elintarviketeollisuuteen tai rehuteollisuuteen. Elintarviketeollisuudessa käytettävät proteiinit voitaisiin ottaa talteen ennen bioetanolin valmistusprosessia. Rehuteollisuuteen puolestaan soveltuisi bioetanolinvalmistuksessa syntyvä rankki, joka sisältää käymättömiä sokereita, hiivaproteiinia sekä osan perunan sisältämistä proteiineista. Perunaproteiinia ei tällä hetkellä valmisteta Suomessa, koska sen laatua on yleensä pidetty heikkona ja perinteinen proteiinin koagulointiteknologia vaatii runsaasti energiaa. Vuonna 2003 Evijärven perunalla tehdyn keiken perusteella perunaproteiinin koagulointia pidettiin liian kalliina ja energiaa vaativana ratkaisuna (tärkinetti). Vuonna 2007 valmistuneessa perunaproteiinitehtaassa (Karup Kartoffelmelfabrik) päästään

huomattavasti alhaisimpiin energiakustannuksiin (-60 %) sekä laadukkaampaan lopputuotteeseen. Lähes 75 % tanskalaisista perunatehtaista on siirtynyt tähän teknologiaan.

### **Käyttökohteet elintarvikkeissa ja ravitsemuksessa**

Perunan proteiinit soveltuvat elintarvikekäyttöön jo sinänsä ravitsemuksellisesti arvokkaana proteiinilähteenä rikkaan aminohappokoostumuksen ansiosta, mutta myös elintarviketeollisuuden tarpeisiin monien hyvien toiminnallisten ominaisuuksiensa, kuten emulgointi-, vaahdonmuodostus-, vaahdonstabilointi-, geelitymis- sekä vedensidontakyvyn, vuoksi.

Proteiinin eri jakeet eroavat emulsion- ja vaahdonmuodostus- sekä niiden stabilointikyvyltään (Ralet & Gueguen 2000; Pots ym. 1999; van Koningsveld ym. 2002). Patatiini muodostaa vähemmän, mutta pysyvemmän vaahdon kuin proteaasi-inhibiittori. Lisäksi vain denaturoitumattomalla proteiinilla on hyvät toiminnalliset ominaisuudet. Näiden takaamiseksi proteiinien eristysmenetelmien täytyy olla hellävaraisia. Lisäksi elintarvikekäyttöön tarkoitettu proteiini ei saa juurikaan sisältää glykoalkaloideja (Lokra ym. 2008). Mikäli proteiinia käytetään erityisruokavaliovalmisteissa, joissa yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on hyvä sulavuus, proteiinista on tarpeellista poistaa imeytymistä estäviä proteiinijakeita, eritoten proteaasi-inhibiittoreita (Kärenlampi & White 2009).

Hollantilainen AVEBE/Solanic on onnistunut tuottamaan korkealuokkaista toiminnalliset ominaisuutensa säilyttävää, lähes glykoalkaloiditonta, puhdasta proteiinia elintarvike- ja lääketieteellisuuden tarpeisiin. Valmistus-prosessi perustuu EBA-teknologiaan, jossa erotetaan kaksi jaetta. Molekyylipainoltaan suurempi jae koostuu pääosin kuivasta elintarvikeraaka-aineeksi soveltuvasta patatiinista, jonka proteiinipitoisuus on 90–95 %. Molekyylipainoltaan pienempi jae koostuu proteaasi-inhibiittoreista, ja se saadaan nestemäisenä tuotteena (Kärenlampi & White 2009). Perunaproteiinia voidaan käyttää leipomotuotteissa, lihatuotteissa ja makkaroissa, kasvisruokavaliotuotteissa, makeisissa, viininvalmistuksessa sekä ravitsemustuotteissa esimerkiksi urheilijoiden proteiinilisänä (Solanic a).

### **Proteaasi-inhibiittorit**

Perunan proteaasi-inhibiittoreilla on lukuisia mahdollisia käyttökohteita esimerkiksi syövän hoidossa ja ravitsemuksellisessa käytössä. Syöpää ehkäisevät vaikutukset perustuvat mm. siihen, että proteaasi-inhibiittorit häiritsevät syöpäsolujen jakautumista ja siten estävät syövän kasvua. Ravitsemuksellisesti edullisia vaikutuksia on havaittu perunan proteaasi-inhibiittori II (PI2):lla (Pouvreau ym. 2001). PI2:n vaikutus perustuu siihen, että se lisää ruuansulatuskanavan hormonin, kolekystokiniinin (CCK) pitoisuutta veressä, mikä lisää kylläisyyden tunnetta ja siten estää liikasyömistä. Lisäksi PI2 kontrolloi veren glukoositasoa ihmisillä (Degena ym. 2001; Woods 2011). Edellä mainittujen ominaisuuksiensa vuoksi PI2 soveltuu hyvin painonhallintaan ja liikalihavuuden hoitoon, ja sen kylläisyyttä lisäävää ominaisuutta on jo hyödynnetty kaupallisesti. Euroopassa ja Amerikassa myydään painonhallintaan laihdutusvalmisteita kauppanimillä Slendesta® (terveyskaupat.net) ja SolaThin™ (Solanic b.)

Proteaasi-inhibiittorin eristäminen solunesteen sisältämästä bulk-proteiinista mahdollistaisi myös korkeahintaisen tuotteen. Proteaasi-inhibiittorin kilohinnaksi on arvioitu noin 2000 € 20 000 tonnista perunaa on mahdollisuus eristää jopa 12 000 kiloa proteaasi-inhibiittoria, mikä tarkoittaisi 24 M€n lisätuloa. Proteaasi-inhibiittorin uuttoliuokseen voidaan käyttää etanolia.

### **Käyttökohteet rehuteollisuudessa**

Perunaproteiini soveltuu myös rehukäyttöön arvokkaana proteiinilähteenä. Rehukäytössä kaikkien toiminnallisten ominaisuuksien ei tarvitse täyttyä. Kuitenkin proteiinin sulavuuden pitäisi olla hyvä, jotta proteiinin voidaan käyttää tehokkaasti hyväksi. Lisäksi proteiinin alkaloidipitoisuuden pitäisi olla vähäinen.

Kuivattua perunaproteiinia käytetään porsaiden rehuseoksissa noin 10 % korvaamaan esimerkiksi kalajauhoa proteiinin hyvän sulavuuden ja korkean aminohappokoostumuksen vuoksi (Pedersen & Lindberg 2004). Sen lysiinipitoisuus (noin 5 g/100 g raakavalkuaista) on lähes sama kuin soijarouheen (Siljander-

Rasin & Valaja 2008). Myös kuivaamaton perunaproteiini soveltuu sikojen ruokintaan, joskin sen aminohappopitoisuus ja proteiinin sulavuus ovat huonompia kuin kuivatun perunaproteiinin. Siljander-Rasin ja Valajan (2008) tutkimusten mukaan kuivaamattoman perunaproteiinin valkuaisella voidaan korvata 75 % soijan valkuaisesta lihasikojen ruokinnassa.

## 2.2.4 Kivennäisaineet

Kivennäisaineet muodostavat 1,1 % mukulapainosta. Kivennäisaineista perunassa on eniten kaliumia, jota on runsaimmin kuoriosassa. Fosforia perunassa on useissa eri muodoissa epäorgaanisissa komponenteissa ja tärkeeseen liittyneenä. Peruna sisältää myös kalsiumia, magnesiumia ja natriumia, sekä pieniä määriä rautaa, sinkkiä, kuparia ja seleeniä. Taulukossa 1. on esitetty viiden eri perunalajikkeen tietyt kivennäisainepitoisuudet MTT Oulun toteuttamissa kenttäkokeissa vuosina 2005–2011.

Taulukko 1. Perunan kivennäisainepitoisuudet. Pitoisuudet ovat viiden eri lajikkeen keskiarvoja vuosina 2005 - 2011 MTT Oulun toteuttamien kenttäkokeiden kontrolleista.

Kuiva- aine- pitoisuus %	P g/kg ka	K g/kg ka	Ca g/kg ka	Mg g/kg ka	S g/kg ka	Na g/kg ka	B mg/kg ka	Cu mg/kg ka	Mn mg/kg ka	Zn mg/kg ka	Fe mg/kg ka
22,3	1,9	21,7	0,3	1,2	1,5	0,0	6,5	4,6	7,6	11,3	33,9

## 2.3 Perunan sivuvirtojen bioprosessoinnin jalosteet

### 2.3.1 Biopolttoaineet: bioetanoli ja biokaasu

Bioetanolia voidaan valmistaa perunan sisältämästä tärkeestä. Perunan sisältämä tärkeä voidaan muuntaa entsyymaattisesti sokeriksi ja sokeri fermentoida etanoliksi. Massataseen mukaisesti yhdestä tärkeäskilosta voidaan valmistaa 1,11 kg glukoosia. Optimoidulla hydrolyysi- ja fermentointiprosessilla on mahdollista valmistaa jopa 558 g etanolia yhtä tärkeäskiloa kohti. Bioetanolin energiasisältö on 5,9 kWh ja sen lämpöarvo on 26,8 MJ/kg. Polttoaineena käytetty etanoli ei saa sisältää vettä maksimissaan kuin 0,2 %. RES-direktiivin mukaisesti tärkeässivuvirroista tuotettu biopolttoaine luokitellaan ns. toisen sukupolven biopolttoaineeksi, jos se täyttää Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä 2009/28/EY säädetyt kestävyyskriteerit.

Biokaasua voidaan tuottaa perunasta anaerobisella mädätysprosessilla. Saatava biokaasu sisältää keskimäärin 60 % metaania ja 37 % hiilidioksidia. Loput noin 3 % on typpeä, happea ja vetyä. Rikkivetyä on tyypillisesti noin 550 ppm. Kaasun lämpöarvo on 23–28 MJ/Nm<sup>3</sup> eli 1m<sup>3</sup> kaasua vastaa noin 0,7 litraa kevyttä polttoöljyä. Polttoainekäytössä kaasu on puhdistettava ja paineistettava.

### 2.3.2 Hiilidioksidi

Hiilidioksidia syntyy etanolin valmistusprosessissa fermentoinnin yhteydessä. Hiilidioksidi poistetaan fermentorin yläosassa olevan yhteen kautta. Hiilidioksidin mukana poistuu pieniä määriä etanolia, minkä takia kaasu usein pestään ja alkoholi otetaan talteen. Myös hiilidioksidi voidaan ottaa talteen. Esimerkiksi Altian prosessista voidaan ottaa talteen noin 80 % hiilidioksidista kannattavasti nesteyttämällä kaasu 20 barin paineessa -30 °C:een lämpötilassa. Prosessi kuluttaa sähköä noin 220 kWh / tonni nesteytettyä hiilidioksidia. Talteen otettu kaasu on varsin puhdasta ja se on mahdollista hyödyntää esimerkiksi virvoitusjuomateollisuudessa tai kasvihuoneissa. Hiilidioksidi on peräisin luonnosta, joten se voidaan laskea hiilineutraaliksi raaka-aineeksi, eikä näin kuluta fossiilisia luonnonvaroja, jota pääasiassa kasvihuoneet käyttävät hiilidioksidin valmistamiseen. Prosessi tuottaa noin 1 400 tonnia puhdasta hiilidioksidia. Hiilidioksidin mahdollista hyötykäyttöä ei ole laskettu biojalostamon tuloihin.

### 2.3.3 Lannoite

Biokaasuprosessista syntyvä mädätejäännös voidaan hyödyntää lannoitevalmisteena jopa luomutuotannossa. Lannoitteen ravinnesisältö on korkea, sillä siinä on tallella perunan kivennäisaineet (ks. taulukko 1.). Lisäksi lämpökäsittelyssä mahdolliset perunan vaarallisia kasvitauteja aiheuttavat mikrobit ovat tuhoutuneet.

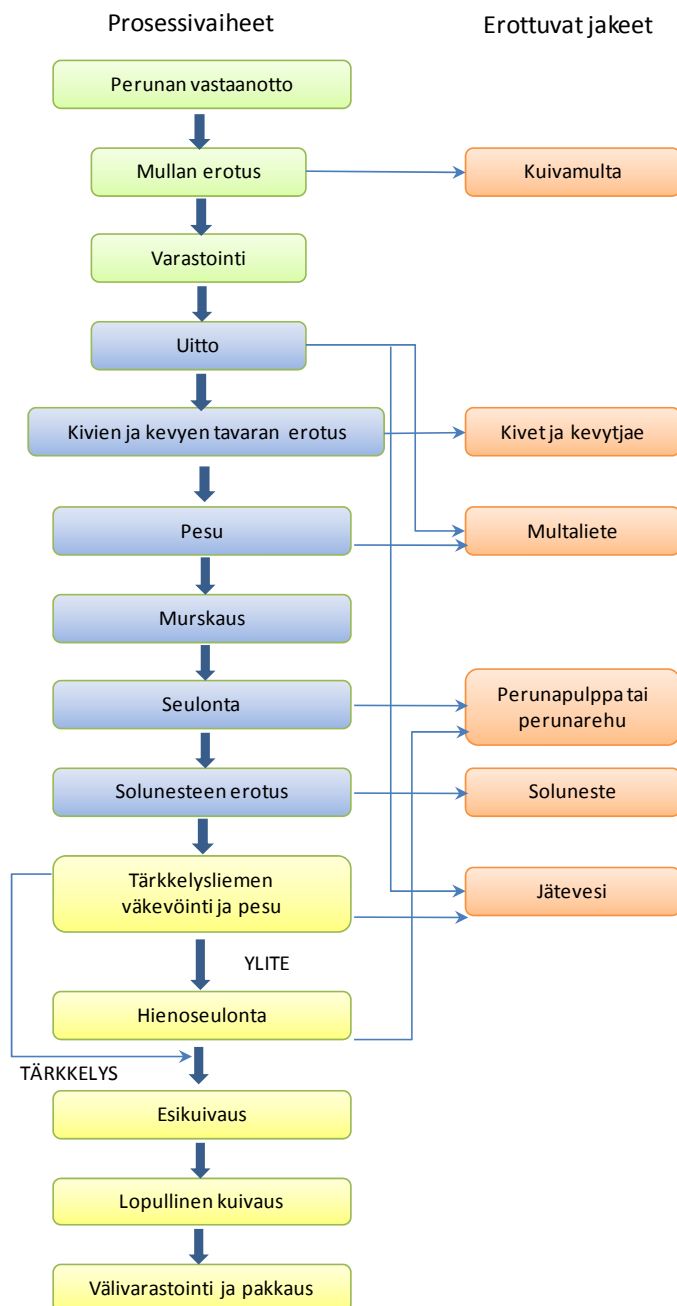
Markkinoilta löytyy mädätejäännökseen tai perunan solunesteeseen perustuvia lannoitevalmisteita. Esimerkiksi St1 on tuonut markkinoille lannoitteen, joka on perunahiutaletuotannossa syntyvää perunan solunestettä, josta tärkkelys on hyödynnetty bioetanolivalmistukseen. Tislausvaiheessa soluneste kuumennuskäsitellään, joka tuhoaa vaarallisia kasvitauteja aiheuttavat mikrobit. Ravinnepitoisuuksiltaan ja muilta ominaisuuksiltaan tuote ei poikkea perunan solunesteen ominaisuuksista (Evira, 2010 ja 2012).

## 3 Erotusteknologiat

Seuraavassa on esitetty tärkkelyksen, proteiinin, kuidun, etanolin ja biokaasun lähinnä olemassa olevia tai patentoituja valmistusteknologioita. Lisäksi on kuvattu joitakin tutkimuksissa sovellettuja menetelmiä.

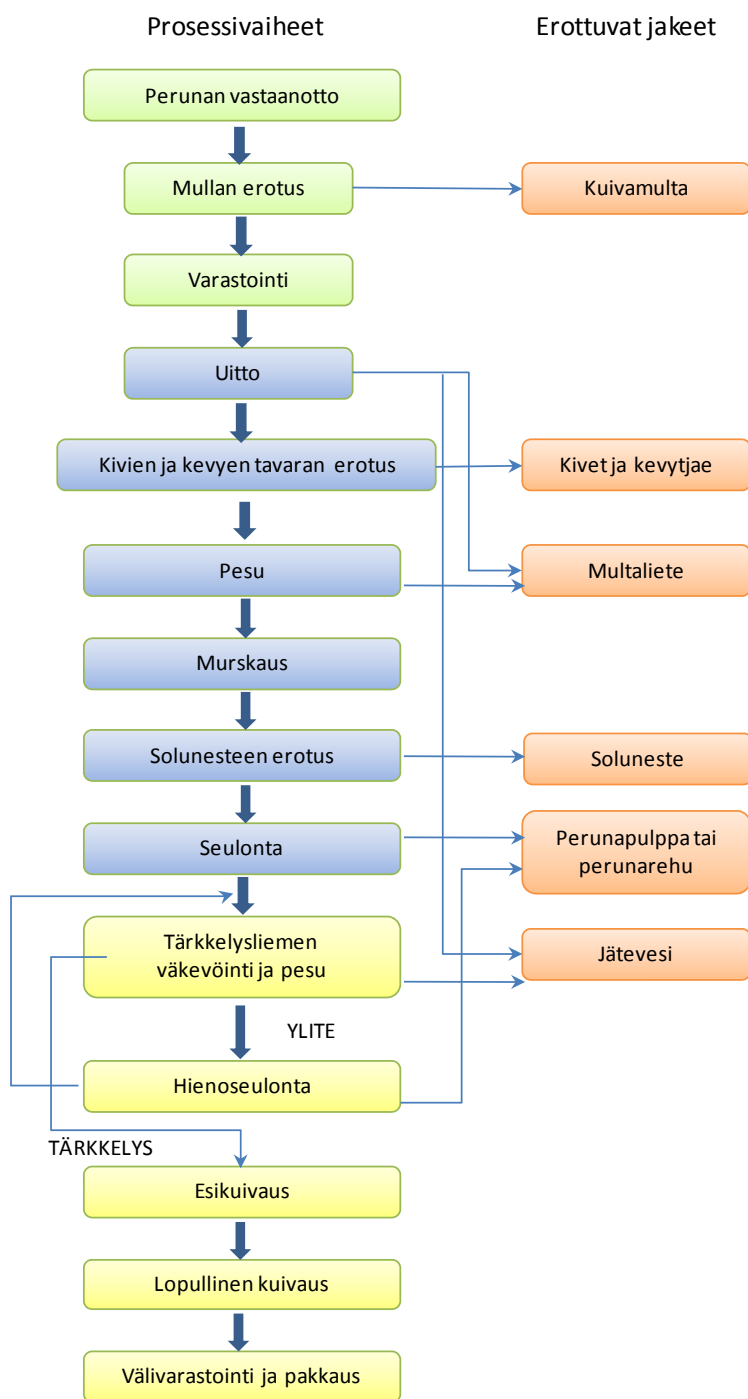
### 3.1 Tärkkelyksen erotus

Perunatärkkelyksen valmistuksessa voidaan käyttää joko tasosuodinprosessia (kuva 3.) tai dekanteriprosessia (kuva 4.). Prosessin vaiheet ovat muilta osin toistensa kaltaisia, mutta tasosuodinprosessissa erotetaan murskauksen jälkeen ensiksi kaikki kuitu ja osa solunesteestä rehuksi, kun taas dekanteriprosessissa suuri osa solunesteestä erotetaan heti murskauksen jälkeen ja tilalle lisätään vettä. Tasosuodinprosessissa tärkkelysliete väkevöidään hydrosyklonien avulla ja loput solunesteestä poistetaan tasosuotimien avulla (Pääkkönen ym. 2004).



Kuva 3. Tyypillinen tasosuodinprosessi perunatärkkelyksen valmistuksessa (muokattu lähteestä Pääkkönen ym. 2004).





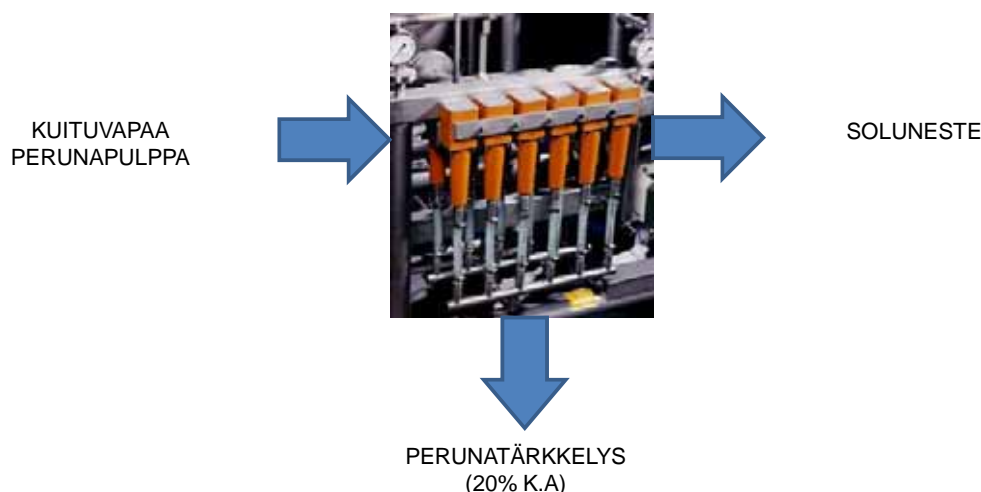
Kuva 4. Tyypillinen dekanteriprosessi perunatärkkelyksen valmistuksessa (muokattu lähteestä Pääkkönen ym. 2004).

GEA Westfalian prosessissa (Westfaliaseparator) tärkkelys erotetaan seuraavasti. Murskattuun perunaseokseen lisätään rikkidioksidia (SO<sub>2</sub>) sisältävää vettä mikrobiologisten olosuhteiden stabilisoimiseksi ja hapettumisen estämiseksi. Soluneste ja sen sisältämät liukoiset komponentit erotetaan seoksesta dekantereilla, jotka saavat poistettua prosessista yli 70 % liukoisista komponenteista. Seokseen lisätään prosessivettä ja se ohjataan hiekan erotussykloniin. Hiekan poistaminen ehkäisee laitteiston kulumista ja lisää lopputuotteena saatavan tärkkelyksen puhtautta. Hiekan poiston jälkeen tärkkelys erotetaan perunaseoksesta keskipakokartioseuloilla neljässä vaiheessa. Tärkkelys/kuituseoksen huuhteluun käytetään prosessivettä. Kuidut läpäisevät suodattimen aina seuraavaan suodatusvaiheeseen ja ne poistetaan erotusprosessista neljännen suodatusvaiheen jälkeen pulppana. Tärkkelystä kerätään talteen jokaisesta suodatusvaiheesta ja pumpataan ylöspäin, kunnes se poistuu erotusprosessista ensimmäisen suodatusvaiheen kautta. Raakatärkkelys ohjataan varsinaiseen tärkkelyksen pesuprosessiin puskuritankin kautta. Ennen monivaiheista erottelevaa pesulinjaa oleva pyörivä harjasiivilä estää isojen partikkeleiden pääsyn sentrifugeihin. Pesulinja koostuu kolmesta 3-vaiheisestä suutintyyppisestä separaattorista. 3-vaiheinen suutin-

tyyppinen separaattori erottelee tuotteen kolmeen eri faasiin: kevyeen, keskifaasiin ja kiinteään konsentroituneeseen faasiin. Raakatärkkelyksestä erotellaan tärkkelys, hienot kuidut ja vesi. Tärkkelys konsentroidaan altaaseen, jossa se pestään. Tämän viimeisen pesun jälkeen tärkkelys kuljetetaan puskurivaraston kautta vedenpoistoon. Hienot kuidut ja osat hienorakeisesta tärkkelyksestä poistetaan prosessista keskimmaisessa faasissa pesun ensimmäisessä vaiheessa ja ne kuljetetaan hienojen kuitujen suodatusprosessiin. Pesussa poistettava vesifaasi käytetään prosessivetenä. Pestystä ja konsentroidusta tärkkelyksestä poistetaan vesi pyörivällä tyhjiösuodattimella ennen tärkkelyksen kuivausprosessiin kuljettamista (Westfaliaseparator).

Separattoreiden keskimmaisen faasin sisältämät hienot kuidut erotetaan seoksesta kaksivaiheisella sentrifuugisuodatuksella. Kuidut pestään kahteen kertaan, ennen kuin ne kuljetetaan vedenpoistoon. Vedenpoistossa käytetään dekanttereita sekä kuiduille että tärkkelyksen suodatuksesta saatavalle pulpalle. Pulpaa, josta vesi on poistettu, voidaan joko kuivata tai käyttää sellaisenaan esimerkiksi eläinten rehuksi (Westfaliaseparator).

Nivoban:n tärkkelyksen erotusprosessissa (kuva 5) käytetään hydrosykloneja. Prosessivesi ohjataan rum-puseulaan, joka erottelee karkean jakeen, kuten kuoret ja perunan palat. Tämän jälkeen vesi pumpataan hydrosykloneihin, joissa tärkkelyksen erottuu. Keskipakoisvoima siirtää kiinteän aineksen ulospäin syklonin seiniin ja valuu sieltä alaspäin poistuakseen suppilon alaosaan. Kevyet partikkelit ja vesi poistuvat syklonin yläosan kautta ylivuotona. Yksi hydrosykloni pystyy käsittelemään nestettä 3 500 l/h ja näitä hydrosykloneja voidaan asentaa laitteistoon tarvittava määrä. Hydrosykloneista poistuva vesi sisältää tärkkelystä vain vähän, ja se palautetaan takaisin prosessiin. Konsentroitunut tärkkelys toimitetaan vedenpoistoa varten säiliöihin tai alipainesuodattimeen (Nivoba).



Kuva 5. Yksinkertaistettu kaaviokuva Nivoban tärkkelyksen erotusprosessista (muokattu lähteestä [www.nivoba.com](http://www.nivoba.com))

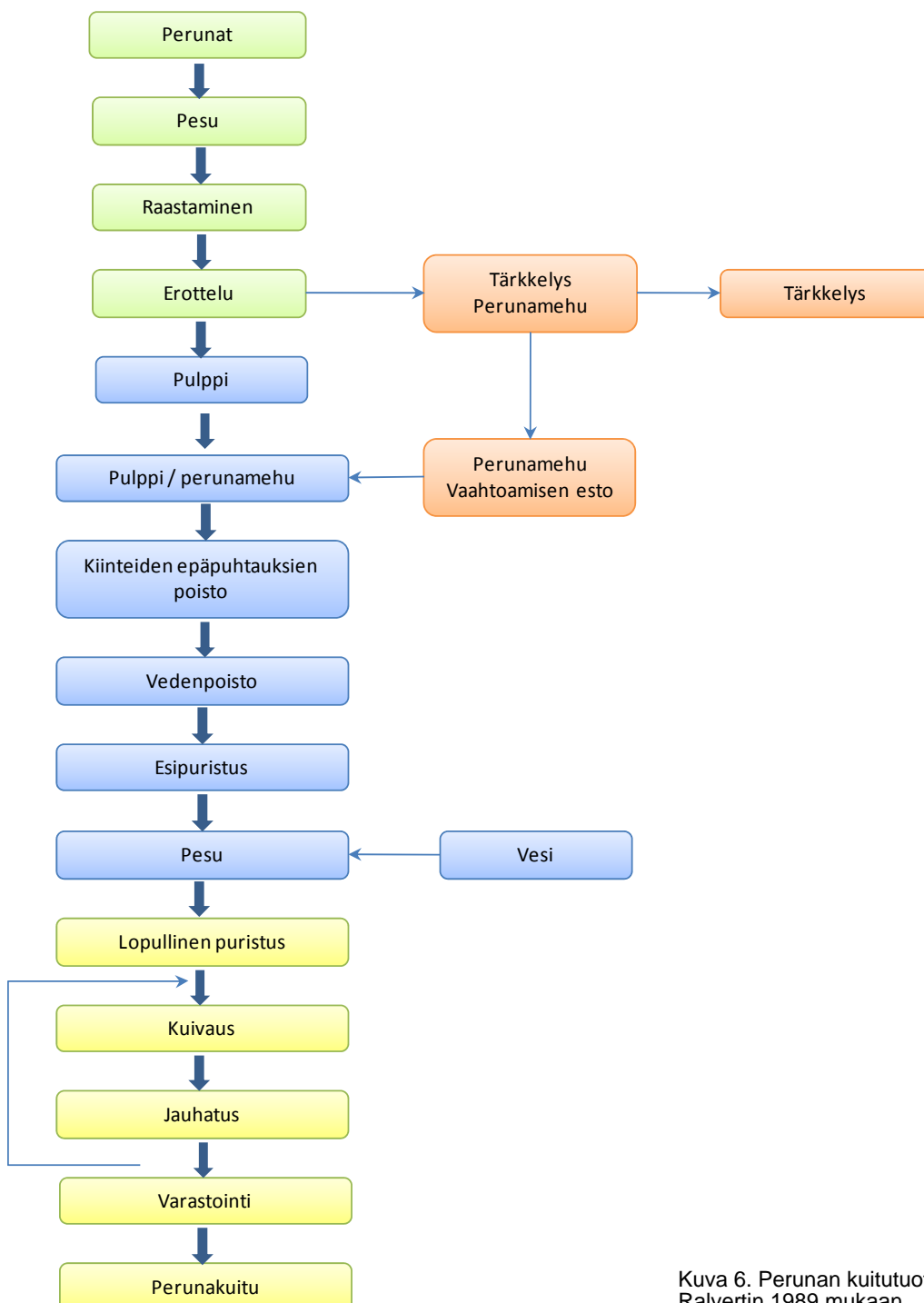
US-centrifuge systems on kehittänyt dekanterisentrifugin, joka sopii hyvin vedenpoistoon tärkkelyksestä. Tällä dekanterilla on onnistuneesti pienennetty perunalastutehtaan jäteveden kiintoainespitoisuutta ja saatu siten pienennettyä jätevesikustannuksia. Lisäksi dekanterilla erotettu kiintoaine on myyty karjan rehuksi (US-centrifuge).

### 3.2 Kuidun erotus

Perunan kokonaiskuidun erottamiseen on olemassa patentoituja ja kaupallisia menetelmiä. Ralvertin (1989) patentoimalla menetelmällä pulpasta voidaan valmistaa neutraalin makuista elintarvikekuitulisänä käytettävää kuitutuotetta. Ralvertin menetelmässä pestyt perunat raastetaan ja syntyvästä seoksesta erotellaan keskipakoisseulan avulla tärkkelys, perunamehu ja pulppa. Pulppa pestään vaahtoamisenestokäsittelyllä perunamehulla, joten prosessiin ei tarvitse lisätä vettä. Perunamehun vaahtamisen estokäsittely tehdään vesisyklonilaitoksen avulla. Tämän jälkeen pulpasta poistetaan kiinteät aineet ja epäpuhtaudet syklonien tai dekanterisentrifuugien avulla. Perunat on pesty jo alkuvaiheessa, mutta tämä puhdistusvaihe on tarpeellinen, koska prosessin lopputuoteena on elintarvike.

Epäpuhtauksien poiston jälkeen pulpasta poistetaan perunamehua keskipakoisseulan avulla siten, että pulpan kuiva-ainepitoisuus nousee 12–17 %:iin. Näin saadusta kuitutuotteesta on vielä seuraavassa jalostusvaiheessa poistettava perunamehun sisältämien suolojen aiheuttama perunan maku.

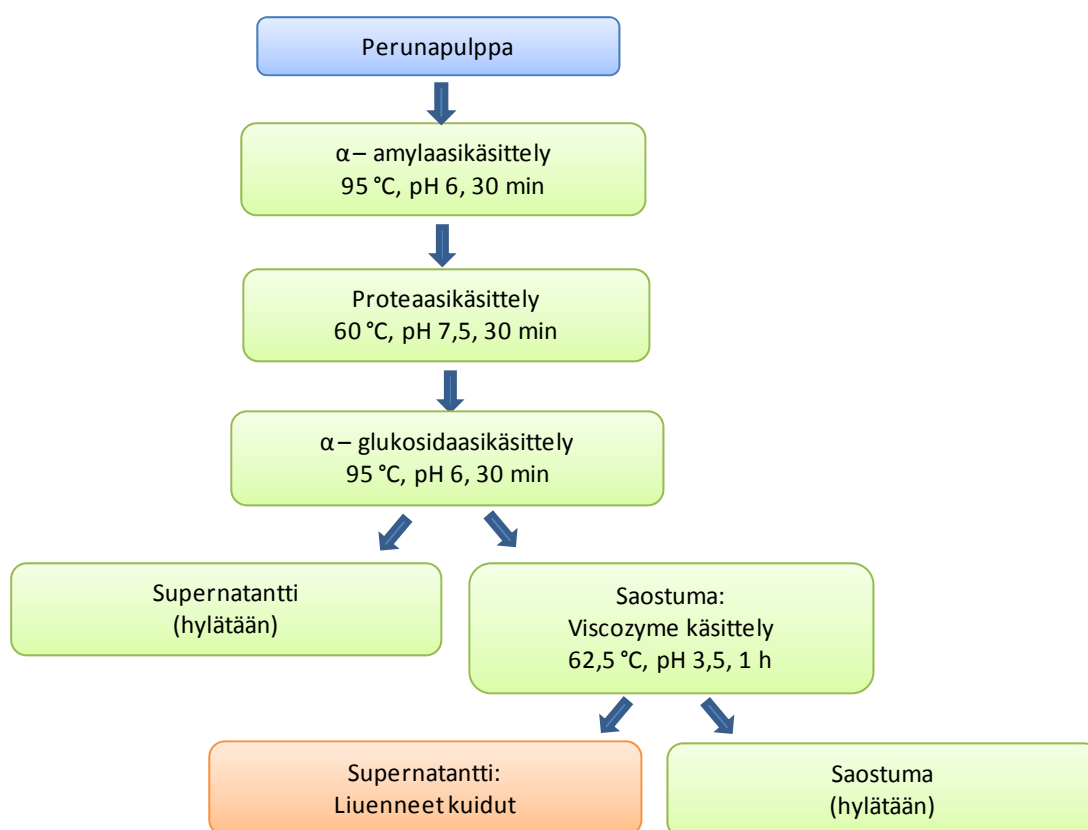
Jalostusvaihe koostuu kolmesta osasta: esipuristus, pesu ja lopullinen puristus. Esipuristuksessa osa pulpan sisältämästä perunamehusta korvataan vedellä. Tarkoitukseen sopivin menetelmä on ruuvityyppinen puristus. Pesuvaiheessa pulppaan lisätään vettä, jolla korvataan poistettu perunamehu. Pulppaa sekoitetaan vettä lisättäessä, jotta se jakautuisi mahdollisimman tasaisesti. Pesun jälkeen pulppa puristetaan lopullisessa puristusvaiheessa kuiva-ainepitoisuuden nostamiseksi 23–25 %:iin. Puristettuun tuotteeseen lisätään ennen kuivausta aiemmin kuivattua ja jauhettua kuitutuotetta kuiva-aineen nostamiseksi 40–60 % :iin. Kuivaus tapahtuu kuivaussykloneissa kuuman ilman avulla. Kuivatun tuotteen kuiva-ainepitoisuus on 85–95 %. Kuivauksen jälkeen tuote voidaan seuloa ja jauhaa lopulliseksi kuitutuotteeksi (kuva 6.).



Kuva 6. Perunan kuitutuotteen valmistusprosessi Ralvertin 1989 mukaan.

## Liukoinen kuitu

Liukoisen kuidun erottamiseen ei tiettävästi ole kaupallista menetelmää. Sen sijaan kirjallisuudesta löytyy joitakin perunan liukoisen kuidun erotusprosesseja. Meyer ym. (2009) ovat kehittäneet prosessin, jossa perunapulpasta erotetaan entsyymikäsittelyjen avulla liukoisia kuituja (kuva 7.). Prosessi koostuu neljästä eri käsittelyvaiheesta. Ensimmäiseksi perunapulppa käsitellään 0,4 %  $\alpha$ -amylaasilla pH:ssa 6,0 ja 95 °C:een lämpötilassa 30 min. ajan tärkkelyksen hajottamiseksi. Korkealla lämpökäsittelylämpötilalla varmistetaan tärkkelyksen liisteröityminen. Seuraavaksi pulpan sisältämät proteiinit hajotetaan proteaasilla. Käsittelyssä käytetään 0,4 % alkalaasi-entsyymiä pH:ssa 7,5 60 °C:een lämpötilassa 30 min ajan. Tämän jälkeen seuraa  $\alpha$ -glukosidaasikäsittely pH:ssa 6,0 95 °C:een lämpötilassa 30 min ajan. Glukosidaasikäsittelyssä loput tärkkelys- ja hiilihydraattimolekyylit hajotetaan. Näiden entsyymikäsittelyjen jälkeen supernatantti ja saostuma erotellaan toisistaan sentrifugaamalla. Kuidut rikastuvat saostumaan ja supernatantti voidaan poistaa prosessista. Saostuma pestään tislattulla vedellä ja sentrifugataan uudelleen. Jotta kuidut saadaan liukoiseen muotoon, saostumaa inkuboidaan 0,27 % Viscosyme® L:llä tunnin ajan pH:ssa 3,5 ja 62,5 °C:een lämpötilassa.



Kuva 7. Kuidun erotusprosessi Meyer ym. 2009 mukaan.

Thomassen ym. (2011) ovat kehittäneet yksivaiheisen menetelmän liukoisten ravintokuitujen erottamiseksi perunapulpasta. Menetelmässä kuidut erotetaan pulpasta kahdella eri entsyymillä: 1,0 % pektiiniilyaasilla ja 1,0 % polygalakturonaasilla ja inkuboidaan 60 °C:ssa, pH:ssa 6 minuutin ajan. Inkubointilämpötila ja -aika eivät juurikaan vaikuta kuiva-aineen määrään, mutta korkea lämpötila ehkäisee mikrobien kasvua. Tätä entsyymäissellä menetelmällä tuotettua  $\beta$ -1,4-galaktaanirikasta perunakuitua voitaneen käyttää funktionaalisenä elintarvikkeena.

### 3.3 Proteiinin erotus

Perunaproteiinkonsentraatteja voidaan valmistaa monin eri tavoin. Aikaisemmin niitä valmistettiin lähinnä rehukäyttöön, jolloin proteiini saostettiin kuumakäsittelyllä (thermal coagulation). Näin valmistettu

proteiini kuitenkin denaturoituu, jolloin sekä toiminnalliset että ravitsemukselliset ominaisuudet heikenevät. Lisäksi proteiiniin usein jäi myrkyllisiä glykoalkaloideja. Nykyisin on käytössä hellävaraisempia menetelmiä. Niissä proteiini säilyy luonnollisena ja glykoalkaloidipitoisuus on alhainen. Nämä korkealaa-tuiset proteiinituotteet voidaan käyttää elintarviketeollisuudessa ja erityiselintarvikevalmisteissa. (Bárta ym. 2008). Seuraavassa on esitelty erilaisia proteiinin erotusmenetelmiä karkeista talteenottomenetelmistä aina hellävaraisiin menetelmiin, joissa proteiinit säilyvät mahdollisimman denaturoitumattomina.

### 3.3.1 Saostus

Perinteisesti perunatärkkelyksen valmistusprosessissa syntyvästä solunesteestä perunan proteiiniosa on erotettu erottaa lämpösaostuksen avulla. Siinä höyryn ruiskuttaminen happamoitettuun solunesteeseen aiheuttaa proteiinien saostumisen. Sentrifugoinnin ja kuivauksen jälkeen saostettu massa sisältää 85 % raaka-proteiinia. Lämpösaostuksen suurin haitta on se, että perunaproteiini denaturoituu voimakkaasti, jolloin se menettää toiminnalliset ominaisuutensa, kuten emulgointi-, vaahtoumis-, geeliytymis- sekä vedensidonta-kyvyn ja jopa vesiliukoisuuden (Lihme ym. 2008).

GEA Westfalian separaattorimenetelmässä proteiini saostetaan hapon ja lämmön avulla. Tärkkelyksen valmistusprosessissa erotettu soluneste kuljetetaan tuotteen hapettumisen ja runsaan vaahtoamisen estämiseksi hapettomissa olosuhteissa proteiinin erotusprosessiin, joka koostuu kahdesta lämmönvaihto-vaiheesta, joissa solunesteen lämpötila nostetaan 20 °C:sta yli 100 °C:een. Lämpötila nostetaan höyryllä ja samanaikaisesti solunesteeseen lisätään happoa pH-arvon säätämiseksi isoelektriseen pisteeseen, mikä takaa proteiinin optimaalisen saostumisen. Sen jälkeen seokseen ruiskutetaan höyryä, ja sen annetaan las-keutua. Tässä vaiheessa tapahtuu varsinainen saostuminen ja myös saostuman stabilisoituminen. Saos-tettu soluneste johdetaan toisen lämmönostovaiheen kautta veden poistoon ja sen jälkeiseen proteiinin kuivaukseen (Westfaliaseparator).

Energiankäytön optimoimiseksi saostunut soluneste kierrätetään vastavirtaan toiseen esilämmitysvaihee-seen, jossa se jäähtyy 85 °C:een. Tämän jälkeen proteiinista poistetaan vesi huipputehoisilla dekanttereil-la. Dekanttereilla saavutetaan maksimaalinen saostuman vedenpoisto ja jäteveden selkiytyminen. Koska kui-vaustyypin, lämpötilan ja keston vaikuttavat hyvin paljon proteiinin väriin ja sulavuuteen, kuivausprosessi on hyvin hellä. Kuivatun tuotteen kosteus on noin 10 %, kun se lähetetään varastoon ja pakattavaksi. De-kantterilta selkiytetty soluneste pumpataan ensimmäiseen esilämmitysvaiheeseen, jolloin tuotettu lämpö-energia käytetään esilämmitykseen. Jäljelle jäävä soluneste ruiskutetaan pelloille, haihdutetaan tai käsitel-lään tarkoituksen mukaisella jätevedenkäsittelylaitteistolla (Westfaliaseparator).

Karup Kartoffelmelfabrikin proteiinin erotusprosessi aloitetaan hapon lisäyksellä, jossa solunesteen hap-pamuus säädetään pH-arvoon 5. Tämän jälkeen solunesteen lämpötila nostetaan kahden esilämmitysvai-heen ja varsinaisen lämmitysvaiheen avulla 115 °C:een. Varsinaisessa lämmitysvaiheessa solunesteeseen ruiskutetaan höyryä. Lämpötila pidetään 4 minuuttia 115 °C:ssa, minkä jälkeen solunesteen annetaan re-generoitua. Sen jälkeen solunestettä valutetaan pois 85 °C:een lämpötilassa, ja proteiini kuivataan lin-koamalla. Proteiini konsentroidaan solunesteestä Alfa Lavalin dekantterilla, joka on suunniteltu nes-te/kuiva-aine-separointiin kuumasta nestemäisestä mediasta. Tähän säädettävissä olevaan systeemiin on lisätty dekantteri myrkyllisten aineiden, kuten glykoalkaloidien, poistamiseksi hapon avulla. Tämä mene-telmä mahdollistaa myös ns. natiivin proteiinin (patatiini) saostamisen lämmittämättä, jolloin se säilyttää toiminnalliset ominaisuutensa. Tämän jälkeen solunestettä valutetaan pois 85 °C:een lämpötilassa ja pro-teiini kuivataan linkoamalla (Karup Kartoffelmelfabrik).

Kemme-Kroonsberg ym. (1998) ovat kehittäneet puhdistusmenetelmän lämpösaostetun proteiinin glyko-alkaloidi- ja muiden epäpuhtauksien pitoisuuksien pienentämiseksi ja siten sen käyttötarkoituksien moni-puolistamiseksi. Menetelmässä perunaproteiini käsitellään solunesteestä erottamisen jälkeen yhdellä tai useammalla epäorgaanisen hapon/epäorgaanisten happojen vesiliuoksella. Käsittelyn jälkeen puhdistettu proteiini erotetaan nestefaasista ja pestään vedellä sekä mahdollisesti kuivataan. Puhdistusprosessilla saa-daan proteiinituotteelle parempi maku, haju ja väri sekä lisäksi sen kokonaisglykoalkaloidipitoisuus saa-daan laskemaan jopa alle 250 mg/kg ka.

Barta ym. (2009) ovat kehittäneet proteiinien saostustekniikan, jossa konsentroituvista proteiineista suurin osa säilyy alkuperäisessä muodossaan ja säilyttää tyypillisen biologisen aktiivisuuden, sekä syntyvän

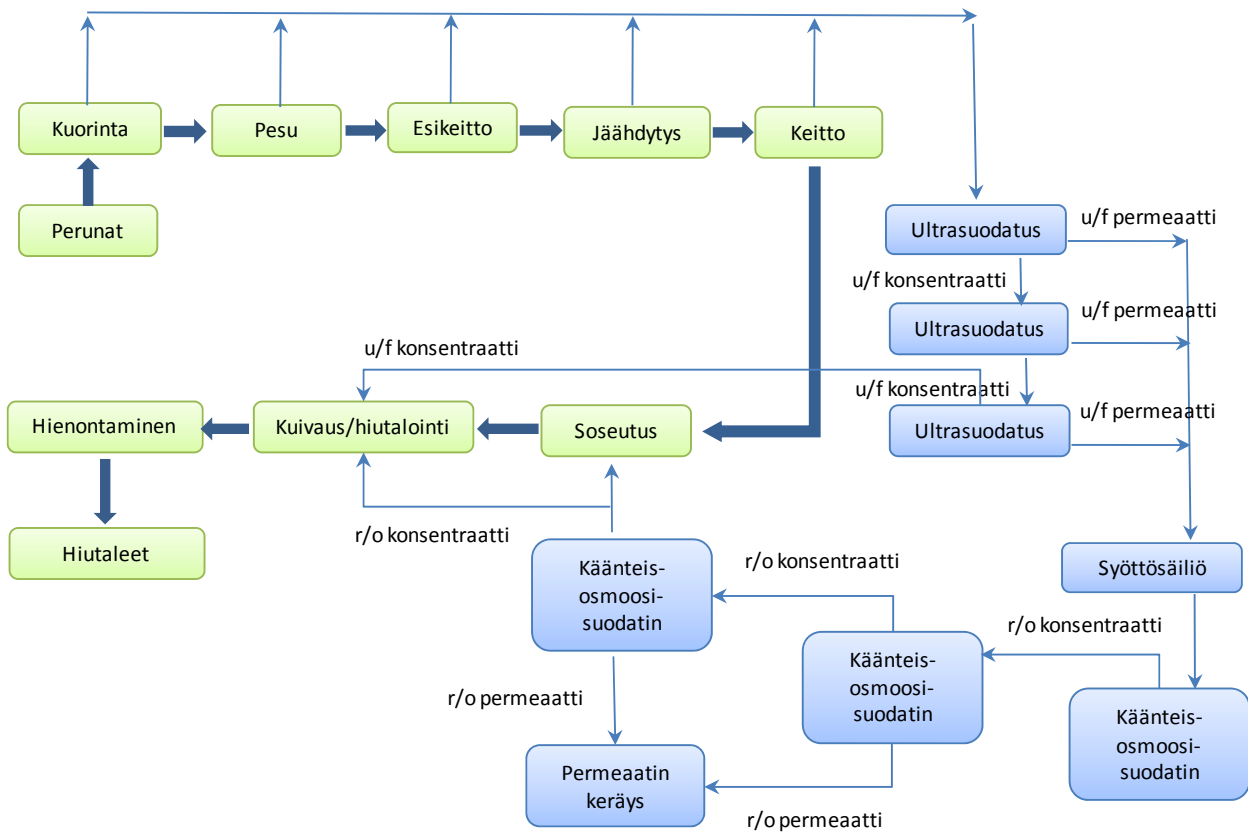
konsentraatin uudelleen liukeneva osa on suuri. Tässä valmistusmenetelmässä perunoiden murskaamisen jälkeen saatu perunamehu sentrifugataan kiinteiden komponenttien poistamiseksi, jäädytetään 4–8 °C:een ja säädetään pH 5:een lisäämällä H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:a. Seuraavaksi perunamehuun lisätään jäädytetty etanoli (0–2 °C) ja pidetään seos jäällä, kunnes suurin osa proteiineista on saostunut. Saostuneet proteiinit sentrifugataan ja pestään kahdesti etanolia sisältävällä pesupuskurilla (pH 5). Lopuksi konsentraattiin lisätään happamuuden säätöainetta (NaOH) ja pH säädetään 7:ään.

### 3.3.2 Ultrasuodatus ja käänteisosmoosi

Robert ja Roesener (2008) ovat patentoineet menetelmän, jossa perunan prosessivesien sisältämä kiintoainne otetaan talteen suodattamalla. Suodattimina käytetään ultrasuodatusta sekä käänteisosmoosia joko yksinään tai yhdistettynä sarjassa. Menetelmä on tarkoitettu perunan valmistuksen ns. märkäprosesseihin, joissa käytetään vettä ja/tai höyryä. Menetelmässä perunan prosessivesi kulkee vähintään yhden ultrasuodattimen läpi, jossa jokaisessa syntyy permeaattia (u/f) ja konsentraattia (u/f). Konsentraatti kerätään ja palautetaan takaisin johonkin valmistusprosessin vaiheeseen. Tuotteen lopulliset ominaisuudet eivät muutu olennaisesti.

Prosessivesien kiintoainne voidaan ottaa talteen esimerkiksi kuvan 8. mukaisella järjestelyllä, jossa käytetään ultrasuodattimia sarjassa yhdistettynä sarjaan käänteisosmoosisuodattimia. Prosessivesi ohjataan ultrasuodattimien läpi, jolloin jokaisessa vaiheessa syntyy permeaattia (u/f) ja konsentraattia (u/f). Permeaatti (u/f) kerätään säiliöön, jonne yhdistetään kaikki ultrasuodatuksissa syntyvät permeaatit. Konsentraatti syötetään sarjassa seuraavalle ultrasuodattimelle. Sarjassa viimeisenä olevasta ultrasuodattimesta saatu konsentraatti ohjataan takaisin soseutukseen tai kuivaukseen. Jokaisesta vaiheesta syntyvät permeaatit ohjataan käänteisosmoosisuodattimelle, josta saatu permeaatti kerätään ja (r/o) konsentraatti syötetään seuraavalle sarjassa olevalle käänteisosmoosisuodattimelle. Syntyvä (r/o) permeaatti yhdistetään ensimmäisessä suodatusvaiheessa syntyneen permeaatin kanssa ja (r/o) konsentraatti syötetään seuraavalle käänteisosmoosisuodattimelle. Sarjassa viimeisenä olevasta käänteisosmoosisuodattimesta saatu permeaatti yhdistetään aikaisemmissa suodatusvaiheissa syntyneiden permeaattien kanssa tai käsitellään jätteenä. Jokaisessa käänteisosmoosisuodatuksessa konsentraatin kuiva-ainepitoisuus kasvaa. Lopullinen (r/o) konsentraatti ohjataan soseutukseen tai kuivaukseen suoraan tai ensin yhdistetään lopulliseen (u/f) konsentraattiin ja sitten ohjataan soseutukseen tai kuivaukseen.

Prosessivedet sisältävät tärkkelystä ja proteiineja, joten ennen suodatusta perunan prosessiveden voidaan lisätä entsyymejä (proteasi- ja alfa-amylaasientsyymejä) tärkkelyksen tai soluseinän hajottamiseksi sekä läpimenoajan nopeuttamiseksi. Entsyymejä voidaan lisätä yksin tai yhdistelminä panoksittain tai jatkuvasti. Entsyymien lisäysmäärään vaikuttaa entsyymityyppi, suodatuksen läpimeno, pH, kuiva-aineen määrä, kuiva-aineen luonne, lämpötila, suodatintyyppi sekä suodattimen käyttöaika edellisestä pesusta.

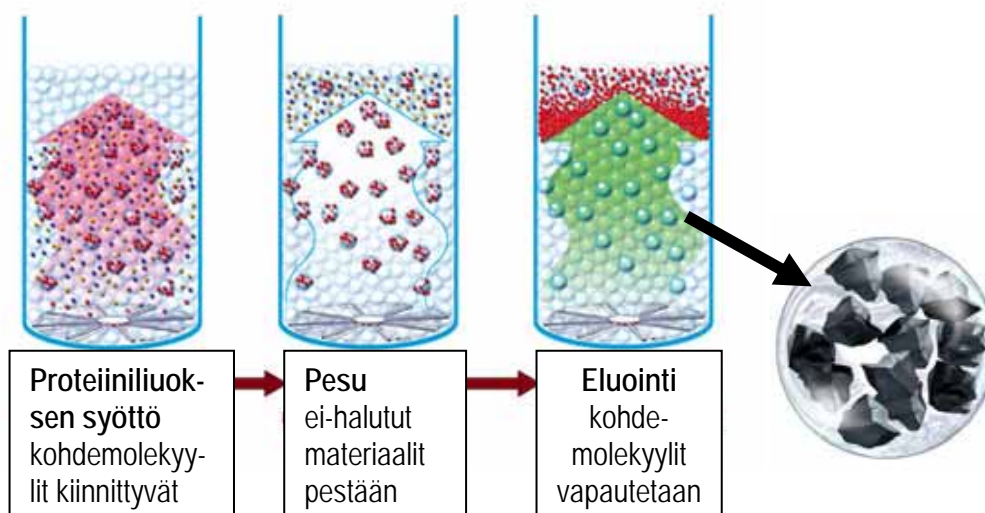


Kuva 8. Kaaviokuva prosessista, jossa käytetään ultrasuodattimia sarjassa ja käänteisosmoosisuodattimia sarjassa (Robert ja Roesener 2008).

### 3.3.3 Kromatografia

Lihmen ym. (2008) patentoimalla Upfront Chromatography- tekniikalla voidaan perunasta peräisin olevista proteiiniliuoksista eristää ja jaotella adsorbenttiin kiinnitetyn ligandin avulla peptidit, polypeptidit ja proteiinit, kuten patatiinin ja proteaasi-inhibiittorit. Leijupetikromatografiaan (EBA-kromatografia, expanded bed adsorption chromatography) perustuvassa tekniikassa käytetään matalaa prosessilämpötilaa, jolloin proteiinijakeet eivät denaturoidu ja säilyttävät siten hyvin toiminnalliset ominaisuutensa. Lisäksi suurin osa glykoalkaloideista saadaan poistettua.

EBA:n periaate on seuraava (kuva 9): ylöspäin virtaava syöttöliuosta (raakaa suodattamatonta proteiiniliuosta) pumpataan alhaisella paineella, jolloin adsorbentti nesteytyy ja laajentuu kolonnin sisällä. Halutut proteiini-molekyylit pidättyvät kuuliin, kun taas ei-halutut epäpuhtaudet ohittavat laajenevan patjan vapaasti suurella virtausnopeudella, jolloin kolonni ei tukkeudu, paine ei putoa eikä muodostu käytäviä. Adsorbentin toiminta perustuu ligandikemiaan ja kohdemolekyylien sieppausta ja vapautumista on helppo kontrolloida pH:n muutok-sella tuotteen biologisen aktiivisuuden kärsimättä. Adsorbenteissa inertti suuri-tiheyskinen volframikarbidifaasi on yhdistetty ristiinsitovaan agarosiin. Agarosikuulien pienen koon (20–200 µm) vuoksi adsorptiopinta-ala on saatu mahdollisimman suureksi, mikä parantaa massansiirto-kinetiikkaa (UpFront Chromatography).



Kuva 9. RhoBust® EBA teknologian toimintaperiaate. Oikealla adsorbentti, jossa suuritiheysinen volframikarbidaasi on yhdistetty ristiinsitovaan agarosiin agarosikuulaksi (muokattu lähteestä Upfront BioProsess.)

EBA-teknologia on jo otettu käytäntöön. Upfront Chromatography -keksintöön perustuva maailman suurin perunan proteiineja kromatografisesti eristävä laitos perustettiin AVEBE:lle Hollantiin vuonna 2007. Laitos tuottaa korkealaatuista, elintarvikevaatimukset täyttävää perunaproteiinia. AVEBE/Solanic on saanut yksinoikeuden kyseisen tekniikan soveltamisessa perunaproteiinin valmistuksessa, joten täsmälleen samaa tekniikkaa ei voida käyttää Pohjois-Pohjanmaalle rakennettavassa biojalostamossa.

### 3.4 Etanolin valmistus perunasta

Etanolin valmistus perunan tärkkelyksestä sisältää tärkkelyksen hydrolysoinnin glukoosiksi, glukoosin fermentoinnin ja tislauksen. Seuraavassa käsitellään lyhyesti hydrolysointia ja fermentointia erilaisine tekniikoineen sekä etanolin valmistusprosessissa syntyvän biomassan hyödyntämiseksi biokaasutuotannossa.

#### 3.4.1 Hydrolysointi

Perunan sisältämä tärkkelys on hydrolysoitava glukoosiksi, koska hiiva kykenee hyödyntämään fermentoinnissa vain glukoosia. Hydrolyysiksi kutsutaan kemiallista reaktiota, jossa yhdiste reagoi veden kanssa. Hydrolysointi voidaan suorittaa entsyymi- tai happokäsittelyllä. Happokäsittely ei ole yhtä suosittu menetelmä kuin entsyymikäsittely. Entsymaattinen hydrolysointiprosessi on kaksivaiheinen: dekstrinoinnissa tärkkelys hajotetaan dekstriineiksi alfa-amylaaseilla, ja sokeroinnissa dekstriinit hajotetaan glukoosimolekyyleiksi glukoamylaaseilla. Entsyymien avulla suoritettavaan tärkkelyksen hydrolysointiin on kehitetty erilaisia prosesseja, jotka eroavat toisistaan pääasiassa käyttöpaineiden ja -lämpötilojen osalta. Eri menetelmiä ovat mm. panoskeitto, jatkuvatoiminen keitto kolonnissa ja jatkuvatoiminen U-putkikeitto (Kelsall & Piggots 2009).

Jatkuvatoimisessa keitossa mäski pumpataan jatkuvatoimisesti jet-cookerin läpi, jossa lämpötila nousee hetkessä 120 °C:een. Kuuma mäski jatkaa tulppavirtauksena kolonnin läpi paisuntasäiliöön (flash chamber), jossa lisätään alfa-amylaasi. Menetelmää käyttämällä entsyymikustannukset pienenevät, koska liettämisvaiheessa ei tarvita erillistä entsyymilisäystä. Viipymäajat ovat myös huomattavasti panoskeittoa lyhyemmät (Kelsall & Piggots 2009).

U-putkikeitto eroaa jatkuvatoimisesta keitosta siten, että mäski lämmitetään jet-cookerissa 140 °C: seen, minkä jälkeen se johdetaan paisuntasäiliöön U-putken kautta. Viipymäaika putkessa on vain 3 minuuttia, mikä on menetelmän suurin etu. Mikäli putki on oikein suunniteltu, liettämisvaiheessa ei tarvita entsyymilisäystä. Jatkuvatoiminen U-putkikeitto on ollut käytössä mm. JR Simplotin etanolitehtailla Idahossa, missä raaka-aineena käytetään läheisten perunajalostustehtaiden jätettä (Kelsall & Piggots 2009). Ener-



giatehokkain keittoprosessi poikkeaa merkittävästi normaaleista keittoprosesseista, sillä siinä käytetään tehokasta jauhatusta eikä lämpötilaa nosteta yli 70 °C:een. Lämpötila nostetaan paineettomassa astiassa joko kuuman veden tai spiraalilämmönvaihtimen avulla (Genencor).

### 3.4.2 Fermentointi

Hydrolysoinnista saatu glukoosi fermentoidaan hiivalla etanoliksi ja hiilidioksidiksi seuraavan kokonaisyhtälön mukaisesti:

Glukoosi (100kg) → etanoli (51,1 kg) + hiilidioksidi (48,9 kg) + lämpö (39,5 MJ)

Reaktioyhtälö määrittelee etanolin teoreettisen maksimisaannon. Teollisissa sovelluksissa etanolisaanto on 90–93 % teoreettisesta eli 46–47,5g etanolia / 100g glukoosia. Osa glukoosista kuuluu hiivan lisääntymiseen eli solumassan kasvattamiseen. Parhaimmillaan solukasvu voi olla jopa 50 % käytetyn sokerin massasta. Mikäli olosuhteet eivät ole optimaaliset, glukoosia kuluu myös sivutuotteiden, kuten orgaanisten happojen, korkeampien alkoholien, esterien ja aldehydien tuotantoon. Anaerobisissa olosuhteissa tärkeimmät aineenvaihduntatuotteet ovat etanoli ja hiilidioksidi. Solukasvu on tällöin vähäistä (Ingledeew 2009a).

Jotta hiiva (tavallisimmin *Saccharomyces cerevisiae*) tuottaisi alkoholia, sen on oltava lisääntymiskykyisessä tilassa. Fermentorin annostelun jälkeen kuivahiiva aloittaa lisääntymisen vasta 6–12 tunnin sopeutumisvaiheen jälkeen. Tästä syystä on edullista käyttää erillistä hiivan kasvatussäiliötä, jossa käytetään ravinteena edellisen keittopanoksen mäsä. Kasvatussäiliön koko voi olla 5–10 % fermentorin tilavuudesta ja viipymäaika 6–24 tuntia. Näin kasvatettu hiiva alkaa lisääntyä fermentorissa ilman sopeutusvaihetta. Tämän ansiosta säästetään aikaa ja ehkäistään maitohappobakteerien aiheuttamaa kontaminaatiota, joka hidastaisi fermentointiprosessia ja/tai vähentäisi saantoa (Bellissimi & Richards 2009).

Fermentointi voi olla panoskohtaista tai jatkuvatoimista. Jatkuvatoimisella fermentoinnilla (kaskadi-fermentointi) tarkoitetaan prosessia, jossa useita fermentoreita on kytketty sarjaan ja siinä on erillinen hiivan-kasvatusastia. Jatkuvatoimisen prosessin etu on se, että sitä voidaan käyttää hyvin pitkiä aikoja pysäytyksettä. Puhdistuskustannukset ovat minimaaliset ja prosessin käyttöaste sekä volymetrinen tuottavuus ovat ylivoimaisia panosprosessiin verrattuna. Jatkuvatoimisia laitoksia voidaan käyttää keskeytyksettä jopa kokonainen vuosi. Niitä puhdistetaan useimmiten vain vuosihuollon yhteydessä.

Fermentoinnissa etanolisaantoon vaikuttavista tekijöistä kolme tärkeintä ovat lämpötila, happamuus ja alkoholipitoisuus. Jäähdytyksen avulla lämpötila pidetään hiivan etanolintuotannolle ja lisääntymiselle optimaalilämpötilassa 32 °C - 28 °C:ssa. Samalla ehkäistään maitohappobakteerien kontaminaatiota, ja niiden kasvun aiheuttamaa happamuuden lisääntymistä. Korkea etanolipitoisuus hidastaa fermentointia ja aiheuttaa lopulta reaktion pysähtymisen kokonaan. Hyvissä olosuhteissa tämä tuoteinhibitio alkaa vaikuttaa vasta yli 10 massaprosentin alkoholipitoisuuksilla ja tuotanto lakkaa kokonaan 18 massaprosentin alkoholipitoisuuksilla. Hiivan vastustuskyky alkoholia vastaan riippuu siitä, saako hiiva riittävästi tarvitsemiaan typpiravinteita, mineraaleja ja vitamiineja fermentoinnin aikana. Yhteisvaikutukset haittaavat fermentointia enemmän kuin yksittäiset tekijät (Ingledeew 2009b).

Very High Gravity (VHG)-fermentoinnissa voidaan lisätä hiivalle tärkeitä ravinteita, kuten typpeä, esimerkiksi lisäämällä ureaa fermentointiliuokseen (Srichuwong ym. 2009). Perunan VHG-fermentointia on testattu laboratorioissa menestyksekkäästi, mutta yhtään teollisen mittakaavan prosessia ei ole tietyvästi rakennettu.

### 3.4.3 Tislaus

Energian hinnan noustessa tislausteknologia on kehittynyt yhä tehokkaampiin järjestelmiin. Yleisesti vähiten energiaa kuluttava tislausteknologia on kaksivaiheinen alipainetislaus, jonka jäähdytys ja lämmitys on integroitu. Moderni tislausjärjestelmä koostuu mäskikolonista ja väkevöintikolonista, jotka toimivat hieman eri paineissa. Mäskikolonin energia hyödynnetään väkevöintikolonissa ja väkevöintikolonin tisle lauhdutetaan mäskikolonin syötöllä. Tällä menetelmällä päästään hyvin alhaiseen energian kulutukseen noin 1,3 kW / kg etanolia. Etanoli voidaan väkevöidä tislaamalla 96 %:iin. Lopullinen vedenpoisto suoritetaan johtamalla väkevä etanoli zeoliittipedin tai kalvon läpi (Madson 2009).

### 3.5 Biokaasuntuotanto

Etanoliprosessin jälkeinen biomassa (rankki) sekä muiden prosessien jätevesi voidaan käyttää hyödyksi biokaasutuksessa. Biokaasutekniikalla hyödynnetään rankin energiasisältö lähes kokonaan. Yhdistämällä bio-kaasuprosessi ja bioetanoliprosessi energia saadaan lähes 100 %:ti talteen (Bauer). Myös rankin ravinnesisältö säilyy ja ravinteet ovat edelleen käytettävissä lannoitukseen mädätysjäännöksenä (Lampinen 2009). Lannoitetta voidaan käyttää lannoitevalmistelain vaatimuksien mukaisesti (Partanen 2012). Teknisesti orgaanisten makromolekyylien prosessi metaaniksi vaatii kaksi erillistä vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa happoa tuottavat bakteerit hydrolysoivat makromolekyylit ja muodostavat happoa osittain aerobisissa olosuhteissa 40–45 °C:een lämpötilassa. Toisessa vaiheessa asetogeeniset bakteerit hajottavat lyhytketjuiset hapot etikkahapoksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi. Tämän jälkeen metaanibakteerit tuottavat näistä aineista metaania. Toisessa vaiheessa lämpötila on noin 35 °C ja olosuhteet hiukan anaerobiset. Yhdestä kilosta perunatärkkelystä (VS) voidaan valmistaa 0,28 m<sup>3</sup> metaanikaasua (Lehtomäki 2006).

---

## 4 Perunan- ja vihannestuotannon sivuvirtapotentiaali Pohjois-Pohjanmaalla

---

Biojalostamokonseptin laskelmia varten selvitettiin, kuinka paljon peruna- ja vihannestuotannossa, jatkojalostuksessa ja myymälöissä syntyy sivuvirtoja, minkä laatuista ne ovat, kuinka ne maantieteellisesti sijaitsevat ja mihin ne tällä hetkellä käytetään. Lisäksi viljelijöiltä pyydettiin arviota perunan- ja vihannesten noston aikana maahan joutuvan epäkelvon perunan määrästä ja kaikilta tuottajilta arviota siitä, millä hinnalla he sivutuotteesta luopuisivat. Toisille tuottajille sivuvirta on jätettä, jonka hävittäminen aiheuttaa kustannuksia ja toisille sivuvirta tuo hieman tuloja (esim. 2. luokan peruna).

### 4.1 Postikyselyn menetelmät

Tutkimus tehtiin postikyselynä Pohjois-Pohjanmaalla sijaitseville yrityksille tammi-helmikuun 2012 aikana. Yritysten yhteystiedot kerättiin internetin tietokannoista käyttämällä apuna paikallisten asiantuntijoiden tietoja. Mikäli vastausta postikyselyyn ei saatu määräajan umpeuduttua, kyseisiin yrityksiin otettiin yhteyttä puhelimitse, mikä nosti vastausprosenttia huomattavasti.

Kysymyslomakkeet laadittiin erikseen 1) perunapakkaamoille (siemen- ja ruokaperuna), 2) perunaa ja vihanneksia jalostaville yrityksille (kuorimot, jalostustehtaat) ja 3) suurimmille myymälöille (Prismat ja Citymarketit). 1) ja 2) tyyppisten yritysten suurin ero on siinä, että 1) tyyppin yrityksistä tuleva sivuvirta on valtaosin kuivaa ja kokonaista perunaa/vihanneksia, kun taas 2) tyyppin yritysten sivuvirrasta valtaosa on märkää kuorimassaa ja pesuvesiä. Kysymyslomakkeet ovat tämän raportin liitteenä. Yksittäisille tiloille, joilla ei itsellä ole pakkaamotoimintaa, kysymyslomakkeita ei lähetetty, koska ajateltiin niiden toimittavan tuotteensa kaupakunnostettaviksi pakkaamoille tai suoraan jalostamoihin. Näin varmaan rajautui joihin pieniä toimijoita ja sivuvirtoja pois kyselyn piiristä, mutta todennäköisesti sivuvirtojen keräily näiltä tiloilta ei olisi pienen määrän takia kannattavaakaan.

### 4.2 Postikyselyn tulokset

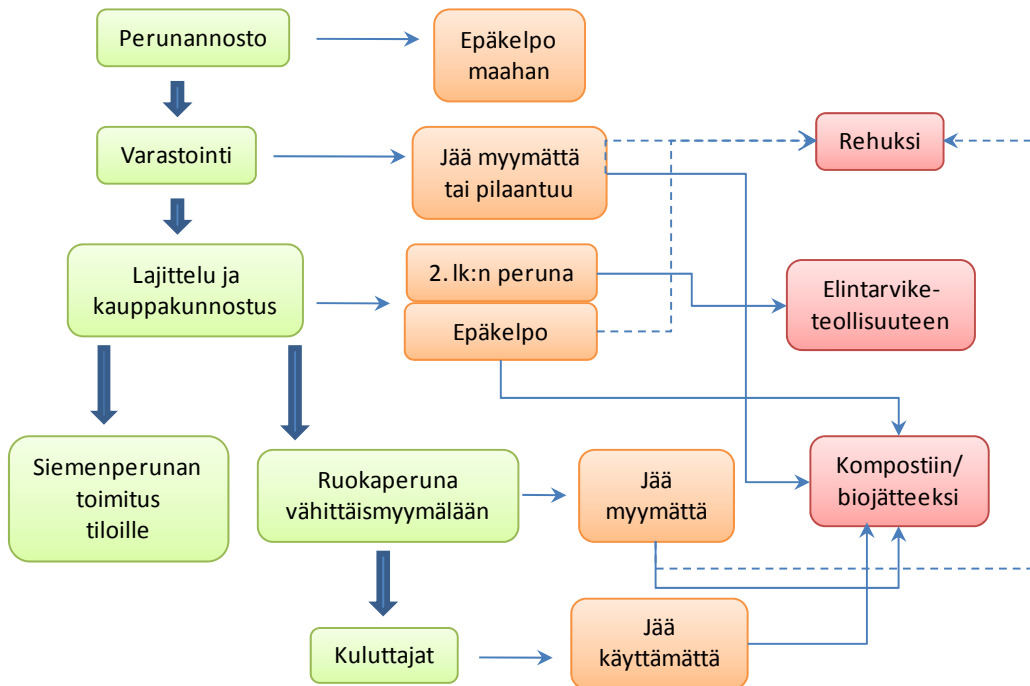
Postikysely lähetettiin 28:lle siemen- ja ruokaperunapakkaamolle, 7:lle perunan ja vihannesten jatkojalostusta tekeväälle yritykselle ja 11:lle ruokatavaramyymälälle (yhteensä 46 kpl). Vastausprosentiksi saatiin 72 %, jota on pidettävä hyvänä tuloksena. Puhelinkierroksen lisäksi hyvää tulosta auttoi erään perunaa viljelyttävän yrityksen keskitetty vastaus sopimusviljelijöidensä puolesta.

#### 4.2.1 Perunapakkaamot

Lähes kaikki vastanneet pakkaamot käsittelevät vain perunaa. Jatkojalostusyrityksistä noin puolet jalosti perunan lisäksi muitakin juureksia ja vihanneksia. Siemenperunapakkaamojen vuosittainen perunan käsittelymäärä vaihteli välillä 450–9000 tonnia/v ja ruokaperunapakkaamoilla 1500–10 000 tonnia/v (taulukko 2). Pakkaamoilla osa sadosta lajitellaan yli- ja alikokoisiin sekä muuten käyttökelvottomiin (mm. tautiset, mekaanisesti vioittuneet, fysiologisesti vialliset). Pieni osa kokonaissadosta jää keväällä myymättä mm. ylitarjonnan takia (kuva 10.).

Siemenperunapakkaamot pystyvät hyödyntämään suuremman osan sadostaan myytäväksi kuin ruokaperunapakkaamot, sillä osa liian suuresta siemenperunasta voidaan myydä ruokaperunaksi. Siemenpakkaamoilla lajittelujätteen ja myymättä jäävän perunan määräksi ilmoitettiin 3–15 % ja ruokaperunapakkaamoilla 10–17 % kokonaiskäsittelymääristä. Yhteensä näissä pakkaamoissa syntyy vuosittain noin 5 300 tonnia perunan sivuvirtoja. Tästä keskimäärin 85 % ohjautuu jatkokäyttöön Vihannissa sijaitsevaan perunajalostetehtaaseen (ns. 2 lk:n peruna). Loput sivuvirrasta kompostoidaan ja levitetään pelloille tai annetaan rehuksi lähiseudun karjatiloilta.

Ruoka- ja siemenperunapakkaamot



Kuva 10. Sadonkäsittelyvaiheet ja sivuvirtojen muodostuminen tyypillisellä ruoka- tai siemenperuna-pakkaamolla. Ohuet yhtenäiset nuolet kuvaavat sivuvirtojen pääasiallista käyttöä kyselytutkimuksen mukaan ja katkoviivanuolet toissijaista käyttöä.

Jos laskelmissa huomioidaan se, että 28 % pakkaamoista ei vastannut kyselyyn, voisi koko maakunnan perunapakkaamoiden sivuvirtapotentialia olla noin 7 400 tonnia/v. Pakkaamot luopuisivat mielellään ylijäämäperunastaan, jos joku hakisi sen heidän pihaltaan ja maksu olisi hieman korkeampi kuin nyt 2. lk:n perunasta saatava maksu. Tuotantomäärillä painotettu hintatoive ylijäämäperunalle oli 13 euroa/tonni ilman kuljetuskustannuksia.

Yli puolella ruokaperunapakkaamoista peruna oli mahdollista pestä ennen pakkausta ja toimitusta. Pesuvedet sisältävät silloin lähinnä peltomaata ja ne käsiteltiin yleensä laskeuttamalla ja maasuodattamalla. Biokomponentteja tällaisissa pesuvesissä on hyvin vähän eikä niiden talteenotto liene kannattavaa (Lehto ym. 2007).

Perunan viljelijöiden arvion mukaan noston yhteydessä sadosta jää peltoon 1–15 % keskiarvon ollessa 5 %. Valtaosa tästä on kooltaan liian pientä perunaa. Korostettakoon, että tämä on arvio, tuskinpa sitä kukaan viljelijä on mitannut. Kirjallisuuskatsauksen perusteella asiaa on tutkittu hyvin vähän nykyisillä nostokoneilla. Todellinen määrä vaihtelee varmasti paljon kasvuston, maalajin, maankosteuden ja koneen säätöjen mukaan. Viljelijöiden mukaan osassa koneista maahan menevän osuuden määrää voitaisiin vähentää säädöillä ja joihinkin koneisiin voisi asentaa pienperunan talteenottolaitteen. Yleinen mielipide oli, ettei tämä kannata nykyisillä 2. lk:n perunan hinnoilla. Maakunnallisesti ajatellen kyse on kuitenkin melko isosta hävikistä (5 % hävikki, sato 30 tonnia/ha, 4000 ha => 6000 tonnia/v).

Taulukko 2. Postikyselyn tulokset. Kysely lähetettiin 46:lle Pohjois-Pohjanmaan yritykselle, joten vastausprosentiksi saatiin 72 %. Vihannin perunajalostetehtaan sivuvirta ei sisälly taulukon lukuihin.

	Vastauksia, kpl	Käsittelymäärä, tonnia/ v	Lajittelujäte + myymätön		Arvioitu sivuvirta yhteensä, tonnia
			tonnia/ v	%	
Siemenperunapakkaamot	14	450–9000	25–250	3–15	1600
Ruokaperunapakkaamot	8	1500–10000	250–1000	10–17	3700
Kuorimot	4	18–3500	90–480	27–54	1100
Myymälät	7		8–90		220

## 4.2.2 Perunaa ja vihanneksia jalostavat yritykset

Suurimmat perunaa ja vihanneksia jalostavat yritykset ovat perunalastutehdas Pyhännällä ja perunajalostetehdas Vihannissa. Muissa yrityksissä tehdään lähinnä perunan ja juuresten pesua, kuorintaa ja paloittelua (kuva 11.). Prosesseissa muodostuu kuorijätettä ym. sivuvirtaa 27–54 % käytetystä raaka-ainemäärästä. Kilomääräisesti tämä on noin 16 100 tonnia vuodessa, josta noin 15 000 tonnia on Vihannin tehtaalla syntyvää sivuvirtaa. Valtaosa tästä menee rehukäyttöön kotieläintiloille. Muilla jalostamoilla syntyvä 1 100 tonnia kuorta ei ohjaudu Vihantiin, vaan menee suoraan rehuksi tai kompostoitavaksi. Valtaosalle kuorijätteestä ei makseta mitään, joku saa rehusta 13 euroa tonni.

Tärkkelysvettä ja solunestettä syntyy erityisesti kuorimoilla, joilla on hionta- eli karbokuorinta käytössä. Kyselyn mukaan tärkkelysvettä ja solunestettä voi syntyä saman verran kuin kiinteää kuorijätettäkin. Orgaaninen kiintoaine kannattaa yrittää poistaa jätevedestä mahdollisimman hyvin, ettei se joutuisi turhaan kuormittamaan jätevedenkäsittelyjärjestelmää. Kiintoainesta voi poistaa jätevedestä laskeuttamalla, suodattamalla, linkoamalla tai kemiallisesti (Lehto ym. 2007).

Kyselyyn vastanneilla yrityksillä oli käytössä laskeutusta, suodattimia ja dekantterilinkoja. Linkoja oli vain suurissa yrityksissä, sillä muut pitivät niitä liian kalliina. Toisaalta linkoa pidettiin varsin tehokkaana kiinto-aineksen poistajana. Koska perunan ja juuresten kuorintaa harjoittavia yrityksiä ei ole alueella kovin monta, tärkkelyksen kerääminen jatkojalostukseen kannattanee vain suurimmissa yrityksissä. Muilla sen kompostointi voi olla parempi vaihtoehto.

Koska valtaosa (85 %) perunapakkaamojen sivuvirrasta ohjautuu Vihannin tehtaalle perunahiutalevalmistukseen, koko maakunnan sivuvirtapotentiaalia laskettaessa Vihannin tehtaasta sivuvirtaan voidaan lisätä ainoastaan 15 % pakkaamojen kokonaissivuvirtapotentiaalista (1 100 tonnia) ja jalostamoilla syntyvä kuorimassan määrä (1 100 tonnia). Tällöin maakunnan kokonaissivuvirtapotentiaaliksi saataisiin 17 200 tonnia vuodessa perunan ja vihannesten osalta. Tähän voidaan vielä lisätä seuraavassa arvioitu myymälöiden osuus potentiaalista.

## 4.2.3 Myymälät

Seitsemän vastanneen myymälän (Prismat ja Citymarketit) vuosittain myymättä jäänyt peruna-, juures-, vihannes- ja hedelmämäärä oli keskimäärin 31 tonnia vuodessa (vaihteluväli 8–90 tonnia vuodessa / myymälä). Suurin määrä koostui hedelmistä ja toiseksi suurin vihanneksista. Yhteensä myymättä jäänyt määrä oli noin 220 tonnia vuodessa, mikä ei ole kovin suuri biomassapotentiaali verrattaessa esimerkiksi vastanneiden perunapakkaamoiden 5 300 tonnin vuosittaiseen sivuvirtaan. Lisäksi myymälät toivoivat, että biomassan keräily tehtäisiin monta kertaa viikossa, mikä yhdessä pienten erien kanssa nostaa keräilykustannuksia. Tällä hetkellä valtaosa myymälöiden biojätteestä päättyy biojätekeräyksen kautta kompostoitavaksi, mistä aiheutuu myymälöille kustannuksia. Pieni osa sivuvirrasta päättyy rehuksi.



---

## 5 Biojalostamo

---

Peruna- ja vihannestuotannon sivuvirtoja hyödynnetään tavallisimmin karjan rehuksi. Tämä onkin järkevää, mikäli potentiaalisia karjatiloja on riittävästi jalostuslaitosten lähellä. Koska perunarehusta on paikoin ylitarjontaa, kuljetusmatkat muodostuvat liian pitkiksi ja perunarehusta saatava hinta on alhainen. Siksi tässä haluttiin selvittää monipuolista biojalostamokonseptia, joka jalostaisi peruna- ja vihannestuotannon sivuvirrat mahdollisimman tarkasti arvokomponenteiksi (esim. tärkkelys, kuitu ja proteiini), liikkennepolttoaineeksi (bioetanoli), biokaasuksi ja orgaaniseksi lannoitteeksi. Koska perunan osuus Pohjois-Pohjanmaan sivuvirtamassoista on niin merkittävä, biojalostamolaskelmissa keskityttiin hyödyntämään vain perunaprosessien sivuvirtoja. Jos prosessiin otetaan mukaan vihannestuotannon sivuvirtoja, joudutaan prosessia todennäköisesti säätämään raaka-aineiden muuttuessa.

### 5.1 Tekninen tarkastelu

Tekninen tarkastelu sisältää raaka-aineiden määrittelyn lisäksi prosessikuvauksen, tarvittavat laitteistot sekä laitekuvaukset. Tarkastelu sisältää myös laitoksen vaatiman tilantarpeen. Korkealla tärkkelyspitoisuudella vältytään korkeilta haihdutus- ja tislaukskuluilta (Huang & Zhang 2011). Raaka-aine voi sisältää jopa 300 g/l liuennutta hiilihydraattia. Raaka peruna voidaan jauhaa viskoosiksi jauheeksi. Viskositeettiä voidaan pienentää käyttämällä seosentsyymiä, joka sisältää pektinaasia, sellulaasia ja hemisellulaasia. Entsyymikäsitteilyn avulla viskositeetti saadaan laskettua käsiteltävään muotoon. Tärkkelys nesteytetään maltodextriineiksi käyttämällä termostabiilia  $\alpha$ -amylaasia 70 °C:ssa (Srichuwong, ym. 2009).

### 5.2 Raaka-aineet

Haastattelututkimuksen mukaan Pohjois-Pohjanmaalla syntyy noin 5300 tonnia vuodessa 2 lk:n perunaa, jotka hyödynnetään pääasiassa Profoodin tehtaalla Vihannissa. Lisäksi syntyy kuorijätettä. Vihannin tehtaan tuottama sivuvirtamäärä (perunarehu) on noin 15 000 tonnia vuodessa. Maakunnan tuottama ja järkevästi hyödynnettävissä oleva perunantuotannon sivuvirta on kokonaisuudessaan reilut 17 000 tonnia vuodessa. On arvioitu, että riittävän kokoinen biojalostamo tarvitsisi raaka-ainetta noin 20 000 tonnia vuodessa.

Suunnitellun biojalostamon sisältämät jakeet:

1. Perunatärkkelys (4 000 tonnia); tärkkelysmäärä vastaa noin 20 000 tonnia perunaa.
2. Perunakuitua (600 tonnia); kuitumäärä vastaa noin 20 000 tonnia perunaa
3. Perunaproteiinia (600 tonnia); proteiinimäärä vastaa noin 20 000 tonnia perunaa.

Tarvittavat raaka-aineet etanolin tuottamiseen ovat perunajäte, entsyymit (alfa ja b-amylaasi) sekä hiiva ja sen tarvitsemat ravinteet. Raaka-aineiden hinnat on listattu taulukossa 3.

Taulukko 3. Raaka-aineiden hinnat

Raaka-aine	Hinta
Perunarehu	0 €
Jäteveden sisältämä tärkkelys	0 €
II-lk:n peruna	20 €/1000 kg

## 5.3 Kuljetuskustannukset

Laskelmissa on käytetty kuljetuskustannuksena 1 €/ km (alv 0 %) kustannusta tonnille, kun kuljetetaan 40 tonnin kuormia hakukuormina.

## 5.4 Prosessikuvaus

Prosessi on suunniteltu seuraavin lähtötiedoin:

a) Prosessin sisältämä raaka-ainemäärät:

- |                |   |
|----------------|---|
| a. Tärkkelystä | noin 4000 tonnia kuiva-aineesta mitattuna |
| b. Proteiinia  | noin 600 tonnia kuiva-aineesta mitattuna  |
| c. Kuitua      | noin 600 tonnia kuiva-aineesta mitattuna  |

b) Prosessin laitemitoitukset ja kustannusarviot on tehty seuraavin olettamuksin:

- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| a. Murskaus/lietto                             |                               |
| i. Käsittelykapasiteetti                       | 20 t/h                        |
| b. Hydrolyysi                                  |                               |
| i. Dekantointi                                 | 20 t/h                        |
| ii. Hydrolyysiin tarvittava energiamäärä       | 40 kW                         |
| c. Haihdutus                                   |                               |
| i. Haihdutettavan / kierrätettävän veden määrä | 10–15 t/h (n. 36 000t/v.)     |
| ii. Konsentraatin pitoisuus                    | noin 10 % k.a.                |
| iii. Haihdutukseen tarvittava energiamäärä     | 150 kW                        |
| d. Etanolin valmistus                          |                               |
| i. Fermentoitava liuosmäärä                    | 20 000 t/v                    |
| ii. Syötettävä liuos tislaukseen               | 4 t/h.                        |
| iii. Tislauskolonnin mitoitus                  | 400 l/h                       |
| iv. Fermentorin mitoitus                       | 3*100m <sup>3</sup>           |
| v. Tislaukseen tarvittava energiamäärä         | 400 kW                        |
| e. Proteiinin erotus                           |                               |
| i. Dekantointi                                 | 1000 kg/h                     |
| f. Biokaasulaitos                              |                               |
| i. Orgaaninen kuormitus reaktorille            | 2,7 kg VS/m <sup>3</sup> d    |
| ii. VS (jätevesi)                              | 3000 kg/vrk                   |
| iii. Mädätystilavuus:                          | 1000 m <sup>3</sup>           |
| iv. Keskimääräinen jätemäärä (vrk)             | 50 m <sup>3</sup>             |
| v. Saatua kaasua metaanina                     | noin 1000 kg/vrk. (11800 kWh) |
| vi. Keskimääräinen kaasuntuotanto/vrk          | 1660 m <sup>3</sup>           |
| vii. Orgaanisen aineksen mädätysaste           | yli 80 %                      |
| viii. Keskimääräinen mädätyslämpötila          | 33 °C                         |
| ix. Sisääntulevan tislausjätteen pH            | 4                             |
| x. Mädätysjätteen pH                           | 7,0 - 7,2                     |
| xi. Keskimääräinen viipymäaika                 | 21 vrk                        |
| xii. Rejektiveden määrä                        | 40 t/vrk                      |
| xiii. Kiinteä mädätysjäännös                   | 1000 kg/vrk.                  |

### 5.4.1 Raaka-aineen esikäsittely

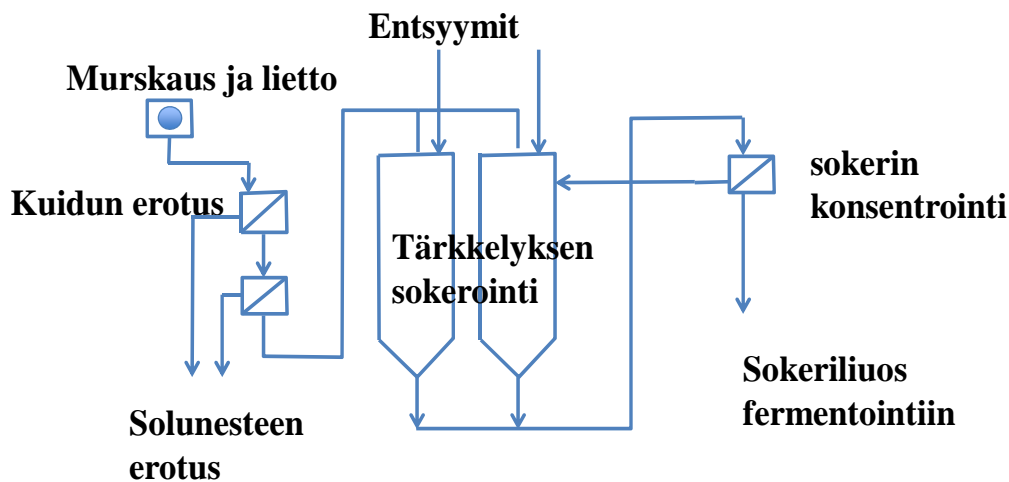
Raaka-aine murskataan ja lietetään, jonka jälkeen perunapulppu johdetaan kuidun ja tärkkelyksen erotukseen.



## 5.4.2 Perunarehun (kuitupitoisen perunapulpan) ja solunesteen erotus

Kuitu voidaan erottaa perunamassasta suodattamalla. Perunakuitu voidaan erottaa tärkkelyksestä sen suuremman partikkelikoon perusteella. Perunakuidun erottamiseen voidaan käyttää esimerkiksi kaariseulaa. Pesty perunakuitu voidaan jauhaa sopivaan partikkelikokoon ja kuivata pienellä spray-kuivaimella (ks. kpl 3.2).

Tärkkelys voidaan erottaa esimerkiksi hydrosyklonien avulla (ks. s. 18). Solunesteen sisältämä proteiini voidaan erottaa useilla eri erotusmenetelmillä, kuten koaguloimalla (ks. kpl 3.3.1) tai eri suodatusmenetelmin (ks. kpl 3.3.3). Perunaproteiinia ei tällä hetkellä valmisteta Suomessa, koska sen laatua on yleensä pidetty heikkona ja perinteinen proteiinin koaguloitinteknologia vaatii runsaasti energiaa. Vuonna 2003 Evijärven perunalla tehdyn kokeen perusteella perunaproteiinin koaguloitinta pidettiin liian kalliina ja energiaa vaativana ratkaisuna (tärkkineetti). Vuonna 2007 valmistuneessa perunaproteiinitehtaassa (Karup Kartoffelmelfabrik) päästään huomattavasti alhaisimpiin energiakustannuksiin (-60 %) sekä laadukkaampaan lopputuotteeseen. Lähes 75 % tanskalaisista perunatehtaista on siirtynyt tähän teknologiaan. Proteiinin jatkokäsittelyä ei ole tässä työssä kuvattu tarkemmin.



Kuva 12. Perunan komponenttien fraktiointi

## 5.4.3 Lietto ja hydrolyysi

Perunan sisältämä tärkkelys on hydrolysoitava glukoosiksi, koska hiiva kykenee hyödyntämään fermentoinnissa vain glukoosia. Hydrolysointimenetelmistä entsyymikäsittely on yleisimmin käytetty kuin happokäsittely. Entsyymaattisessa hydrolysointiprosessissa tärkkelys hajotetaan dekstriineiksi dekstrinoinnissa alfa-amylaaseilla, ja sokeroinnissa dekstriinit hajotetaan glukoosimolekyyleiksi glukoamylaaseilla.

Syöttösiilosta ruuvipumppu siirtää murskatun perunarehun 25 m<sup>3</sup>:n liettoastiaan, jossa se käsitellään 0,4 %  $\alpha$ -amylaasilla pH:ssa 6.0 ja 95 °C:een lämpötilassa 30 min. ajan tärkkelyksen hajottamiseksi. Korkealla lämpökäsittelylämpötilalla varmistetaan tärkkelyksen liisteröityminen. Seuraavaksi perunarehun sisältämät proteiinit hajotetaan proteaasilla. Käsittelyssä käytetään 0,4 % alkalaasi-entsyymiä pH:ssa 7,5 60 °C:een lämpötilassa 30 minuutin ajan. Tämän jälkeen seuraa  $\alpha$ -glukosidaasikäsittely pH:ssa 6.0 95 °C:een lämpötilassa 30 minuutin ajan, jossa loput tärkkelys- ja hiilihydraattimolekyylit hajoavat. Näiden entsyymikäsittelyjen jälkeen liuos ja saostuma erotellaan toisistaan dekanterisentrifugilla. Kuidut rikastuvat saostumaan ja liuosfaasi (käytännössä solunestettä) voidaan poistaa prosessista jatkokäsittelyyn. Saostuma pestään vedellä uudelleen. Kuidut saadaan liukoiseen muotoon, kun saostumaa inkuboidaan 0,27 % Viscosyme® L:llä pH:ssa 3,5 ja 62,5 °C:een lämpötilassa tunnin ajan.

#### 5.4.4 Fermentointi

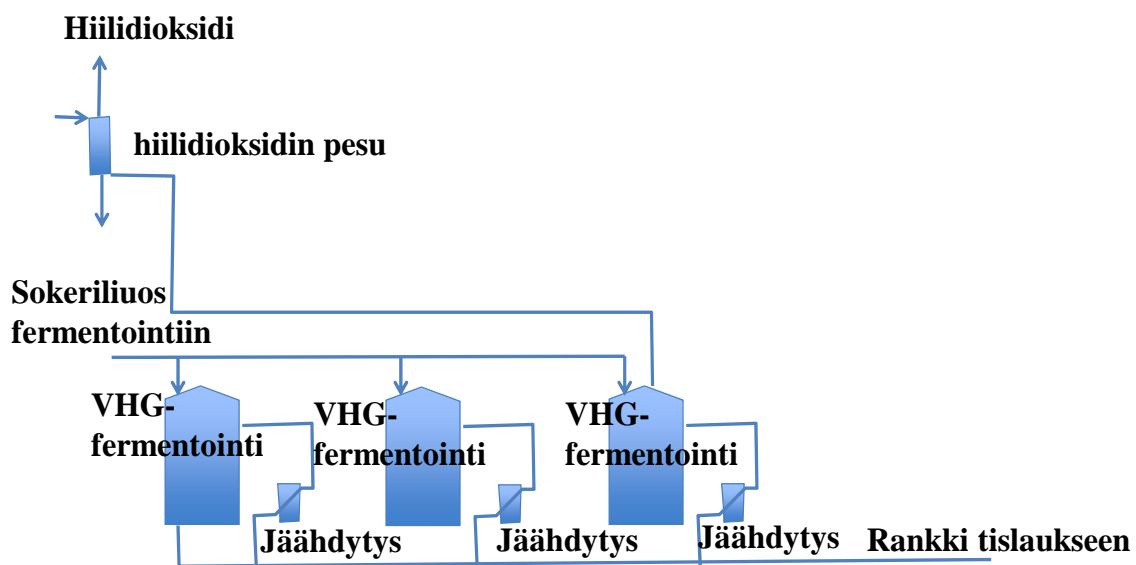
Fermentoinnissa (kuva 13.) kiintoaine johdetaan rehusiiloon ja kiintoaineesta erotettu liuos lämmönvaihtimen kautta fermentoriin, jonne annostellaan hiiva ja lämpötila säädetään 32 °C:een. Käyminen tapahtuu anaerobisesti ja täydellinen fermentointi kestää vähintään 48 h.

Fermentorit on valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Reaktoreiden jäähdyttämiseen käytetään levy-lämmönvaihtimia. Hiivana käytetään kuivahiivaa tai liuoshiivaa. Kuivahiivan käyttö on todennäköisesti kannattavampaa, koska liuoshiivan kuljetuskustannukset voivat nousta liian suureksi.

Fermentoinnissa hiiva kuluttaa glukoosia. Suurin osa alkoholista syntyy hiivasolujen logaritmisien (solujen määrä kaksinkertaistuu tietyin, säännöllisin väliajoin 'suoraviivaisesti') kasvun aikana. Tyypillinen fermentointiprosessi pystyy käyttämään 90 % sokereista etanolin valmistukseen. Hiiva kuluttaa noin 5 % sokereista uusien solujen kasvuun ja muihin aineenvaihduntatuotteisiin.

Hiiva lisätään mäskiin 30 °C lämpötilassa. Esikasvatetun hiivaliuoksen määrä on noin 10 % panoksen tilavuudesta. Päivittäiset kaksi panosta pumpataan yhteen kahdesta fermentorista ( $V=50\text{m}^3$ ), jossa käyminen jatkuu noin 3 vuorokautta. Alkulämpötila valitaan siten, että lämpötila fermentorissa nousee ensimmäisen vuorokauden aikana korkeintaan 35 °C:een.

Hiilidioksidin mukana fermentorista poistuu pieniä määriä etanolia, joka otetaan talteen  $\text{CO}_2$ -pesurilla. Laskelmien mukaan ilman pesuria etanolihäviö on noin 0,7 % - 1,0 %. Pesurissa kaasu virtaa ylöspäin ja vesi alaspäin, jolloin etanoli absorboituu veteen. Pesuvesi johdetaan tislaukseen ajoittain.



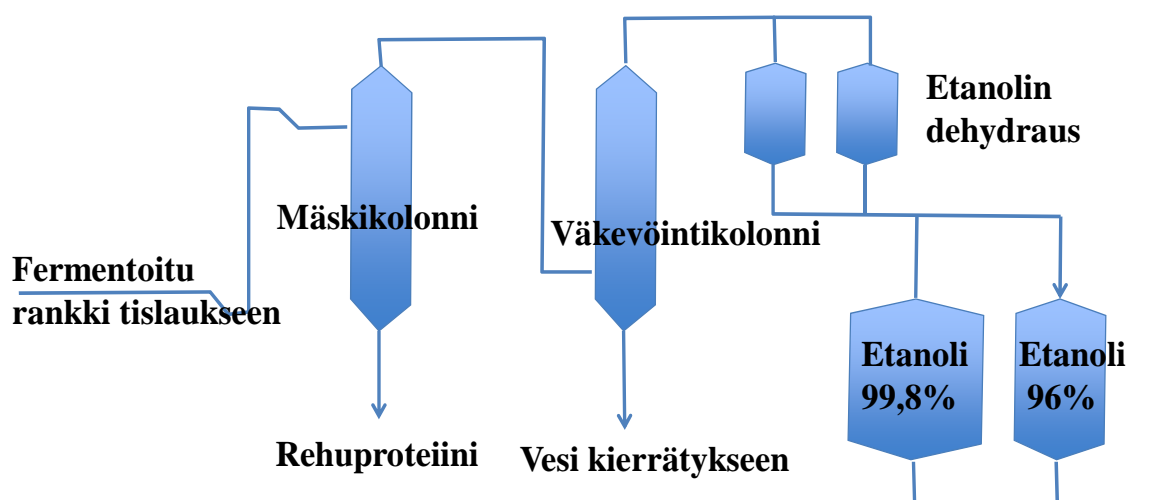
Kuva 13. Fermentointiprosessi

#### 5.4.5 Tislaus

Rankki sisältää 7–8 tilavuus-% etanolia 48 tunnin fermentoinnin jälkeen. Etanoliliuos (8 % v/v) väkevöidään käyttämällä mäskikolonnia ja väkevöintikolonnia. Syöttösäiliöstä pumpattava mäski johdetaan esilämmönvaihtimen läpi vakuuimissa olevaan flash-astiaan, jossa poistetaan suurin osa inerteistä kaasuista ja osa etanolista. Syöttö johdetaan mäskikolonnin yläosaan. Mäskikolonne on suunniteltu toimivan vakuuimissa ja on kaksiosainen. Alaosan (strippaus) sisuskappaleet on suunniteltu niin, että ne eivät tukkeudu kiintoaineista. Mäskikolonnin energia saadaan suoraan lämmönvaihtimen avulla. Etanolivapaa konsentraatti pumpataan takaisin lämmönvaihtimen kautta väkevointiin. Suurin osa vedestä ja kiintoaineesta kulkeutuvat kolonnin pohjalle. Kolonnin pohjan lämpötila on lämmönvaihtimen jälkeen noin 40 °C:sta.

Haihdutettu mäskikolonnin vesi-etanolihöyry johdetaan suoraan dehydraukseen, jossa atseotrooppiliuoksen vesi poistetaan. Dehydrauksessa väkevöity etanoli lauhdutetaan kahden lämmönvaihtimen avulla 20 °C:een. (kuva 14.)

Biojalostamo mahdollistaisi perunaproteiinin puhdistamisen ja käytön elintarviketeollisuuteen tai rehuteollisuuteen. Elintarviketeollisuudessa käytettävät proteiinit voitaisiin ottaa talteen ennen bioetanolin valmistusprosessia. Rehuteollisuuteen puolestaan soveltuisi bioetanolinvalmistuksessa syntyvä rankki, joka sisältää käymättömiä sokereita, hiivaproteiinia sekä osan perunan sisältämistä proteiineista. Perunaproteiinia ei tällä hetkellä valmisteta Suomessa, koska sen laatua on yleensä pidetty heikkona ja perinteinen proteiinin koaguloititeknologia vaatii runsaasti energiaa. Vuonna 2003 Evijärven perunalla tehdyn kokeen perusteella perunaproteiinin koaguloitinta pidettiin liian kalliina ja energiaa vaativana ratkaisuna (tärkinetti). Vuonna 2007 valmistuneessa perunaproteiinitehtaassa (Karup Kartoffelmelfabrik) päästään huomattavasti alhaisimpiin energiakustannuksiin (-60 %) sekä laadukkaampaan lopputuotteeseen. Lähes 75 % tanskalaisista perunatehtaista on siirtynyt tähän teknologiaan.



Kuva 14. Tislausprosessi.

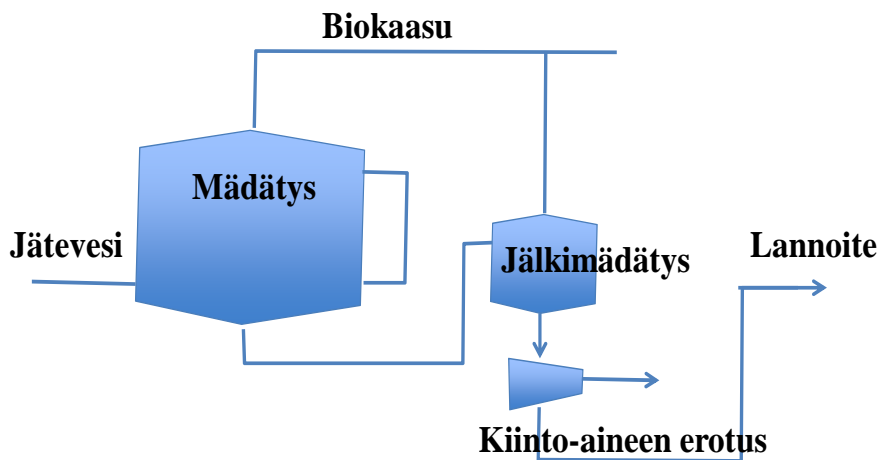
#### 5.4.6 Mädätys

Etanoliprosessin jälkeinen biomassa (rankki) sekä muiden prosessien jätevesi ohjataan biokaasutukseen, jossa rankin energiasisältö voidaan näin hyödyntää lähes kokonaan. Lisäksi rankin ravinnesisältö säilyy; mädätysjäännöksessä olevat ravinteet ovat edelleen käytettävissä lannoitukseen (kuva 15.). Lannoitetta voidaan käyttää lannoitevalmistelain vaatimuksien mukaisesti.

Mädätykseen tarvitsema tilavuus laskettiin jätevesien kokonaisuudella, joka on noin 50 m<sup>3</sup>/vrk. Mädätyslaitoksen suunnittelussa käytettiin seuraavia lähtötietoja:

i.	Orgaaninen kuormitus reaktorille	2,7 kg VS/m <sup>3</sup> d
ii.	VS (jätevesi)	3000 kg/vrk
iii.	Mädätystilavuus:	1000 m <sup>3</sup>
iv.	Keskimääräinen jätemäärä (vrk)	50 m <sup>3</sup>
v.	Saatu kaasu metaanina	noin 1000 m <sup>3</sup> /vrk (11800 kWh)
vi.	Keskimääräinen kaasuntuotanto/vrk	1660 m <sup>3</sup>
vii.	Orgaanisen aineksen mädätysaste yli	80 %
viii.	Keskimääräinen mädätyslämpötila	33 °C
ix.	Sisääntulevan tislusjätteen pH	4
x.	Mädätysjätteen pH	7,0–7,2
xi.	Keskimääräinen viipymäaika	21 vrk
xii.	Rejektiveden määrä	40 t/vrk
xiii.	Kiinteä mädätysjännös	1000 kg/vrk.

Saatu biokaasu voidaan käyttää suoraan mikroturbiinin polttoaineena. Kaasusta saatava kokonaisenergiasisältö on noin 3000 MWh, josta sähköksi voidaan hyödyntää noin 30 %, eli 1000 MWh. Yksistään perunan mädätysjäätöksen käsittelyyn biokaasulaitoksen investointi ei ole kannattava, vaan biokaasulaitokseen olisi saatava 2/3 syötettävästä materiaalista muuta ainesta, esimerkiksi lantaa tai jätelietettä.



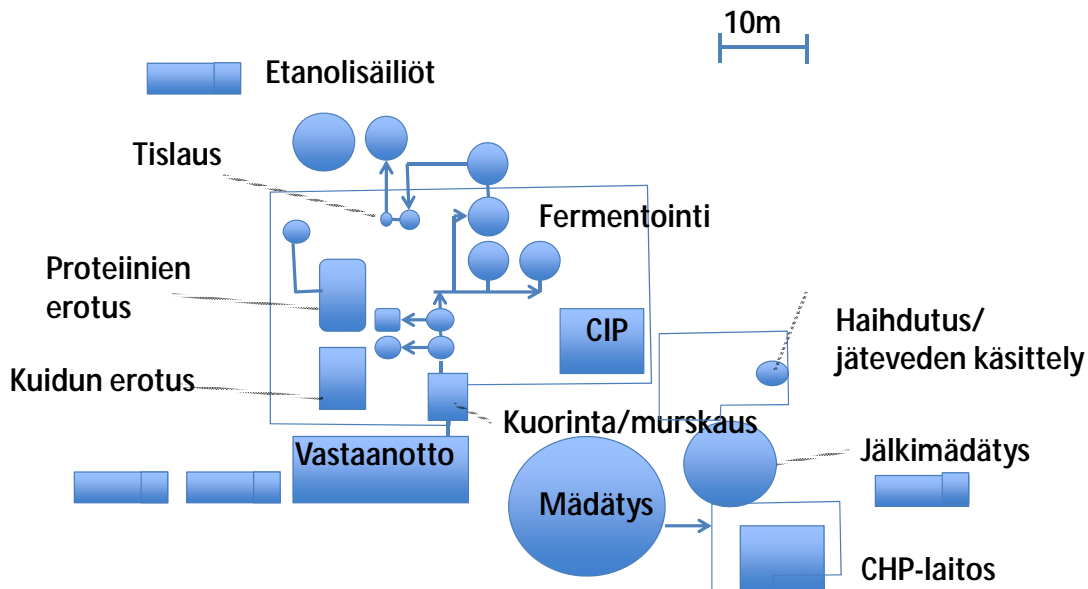
Kuva 15. Biokaasun ja lannoitteen tuotanto mädätysprosessissa.

## 5.5 Suunnittelussa huomioitavia asioita

Biojalostamon suunnittelussa on huomioitava turvallisuusnäkökohdat. Etanolilaitoksen kemikaalien käsittely ja varastointi on laajuudeltaan vähäistä, mikäli varastoitava määrä (Helposti syttyvät nesteet, Etanoli, F (R11) on alle 100 t. Tällöin asetuksen 59/1999 40 § mukainen ilmoitus kemikaalien vähäisestä teollisesta käsittelystä ja varastoinnista tehdään pelastusviranomaiselle hyvissä ajoin ennen toiminnan aloittamista. Ilmoitus sisältää selvitykset käsittelyyn ja varastointiin liittyvistä vaaroista (Riskinarviointi) sekä muista onnettomuuksien mahdollisuuksista. Ilmoituksen käsittelyn yhteydessä määritetään tarkemmin toimintaa koskevat ehdot. Laitoksen turvallinen sijoituspaikka yleensä ja suhteessa olemassa oleviin rakennuksiin on selvitettävä. Rakentamisessa on huomioitava rakentamismääräykset ja kemikaalisäädöksissä erikseen määritellyt seikat (mm. Kemikaaliturvallisuuslaki (390/2005) ja Kauppa- ja teollisuusministeriön, KTM, päätös palavista nesteistä 15.4.1985/313). Rakennus tulee suojata soveltuvalla automaattisella sammutuslaitteistolla. Palavan nesteen säiliöiden tulee olla rakenteeltaan säännösten mukaisia (rakennetarkastus). Kemikaaliputkistojen tulee täyttää painelaitesäädösten ja kemikaaliturvallisuuslain (390/2005) vaatimukset. Sisällön, paineen ja nimellisuuruuden mukaan tulee kullekin putkistolle määritellä luokka. Toiminnanharjoittajan on laadittava vaaran arviot etanolin ja hiilidioksidin osalta. Suunnittelussa ja rakentamisessa on huomioitava hiilidioksidin käsittelystä mahdollisesti aiheutuva tukehtumisvaara (vuodot ja CO<sub>2</sub> käymissäiliössä). Toiminnanharjoittajan on arvioitava räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamat vaaratekijät ja räjähdysvaaran aiheuttamat riskit. Räjähdysten estämiseksi ja räjähdyksiltä suojautumiseksi ryhdyttävä asianmukaisiin teknisiin ja hallinnollisiin toimenpiteisiin, joilla räjähdyskelpoisten ilmaseosten muodostuminen estetään. Jos tämä ei toiminnan luonteen vuoksi ole mahdollista, on: 1) räjähdyskelpoisten ilmaseosten syttyminen estettävä; tai 2) räjähdysvaaran vahingolliset vaikutukset vähennettävä niin, että ihmisten terveys ja turvallisuus varmistetaan. Tarvittaessa edellä 1 momentissa mainittuihin toimenpiteisiin on yhdistettävä ja niitä on täydennettävä räjähdysvaaran leviämistä ehkäisevillä toimilla. Toiminnanharjoittajan on luokiteltava tilat, joissa voi esiintyä räjähdyskelpoisia ilmaseoksia, räjähdyskelpoisten ilmaseosten esiintymistiheyden ja keston perusteella. Lisäksi toiminnanharjoittajan on merkittävä näiden tilojen sisäänkäynnit ja huolehdittava niistä toimenpiteistä, jotka ovat tarpeen näistä tiloista aiheutuvien vaaratilanteiden ehkäisemiseksi. Toiminnanharjoittajan on luokiteltava tilat, joissa räjähteitä valmistetaan, käsitellään tai varastoidaan. Luokittelu tehdään räjähteiden pölyämisen tai haihtumisen aiheuttaman räjähdysvaaran esiintymistiheyden ja keston perusteella. Toiminnanharjoittajan on huolehdittava siitä, että räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamia vaaratekijöitä ja räjähdysvaaran aiheuttamia riskejä arvioitaessa laaditaan räjähdysvaarasuojasuojasiakirja. Pelastusviranomaisen näkemyksen mukaan hankkeen eteenpäinviemiselle ei ole estettä.

## 5.6 Layout

Biojalostamon viereen voitaisiin rakentaa myös biokaasureaktori ja kaasukattila. Alueelle olisi mahdollisuus tuoda muitakin biojätteitä. Laitteiden sijoittelussa pitää prosessin vaatimusten lisäksi huomioida etanolivaraston turvaetäisyydet ja tislauksen sijoituksessa vapaa suunta, jonne paine purkautuu. Raaka-aineiden, tuotteiden ja kemikaalien vastaanotto, kuljetus tehdasalueella, purku ja lastaus on myös huomioidava. Kuvassa 17. on layout, jossa raaka-aineiden vastaanotto, prosessirakennus fermentoreille, tärkkelyksen hydrolysoinnille ja sokeroinnille sekä tislaukselle. Biokaasureaktorit on sijoitettu erikseen. Biojalostamon jäteveden käsitellään haihduttamalla. Prosessivetenä käytetään jäteveden käsittelyssä syntyvää haihdetta.



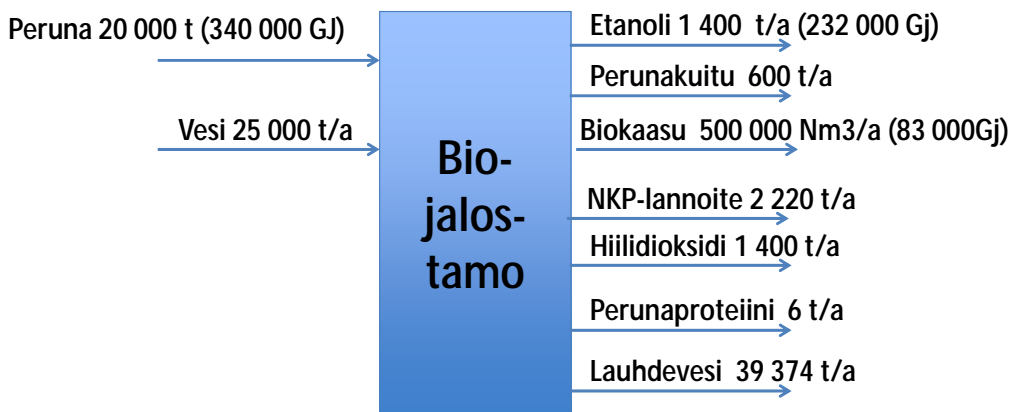
Kuva 17. Biojalostamon layout.

## 5.7 Taloudellinen tarkastelu

Biojalostamon kapasiteetin määrittäminen on tehty alustavan selvityksen perusteella.

### 5.7.1 Biojalostamon materiaalitase

Raaka-aineenaan 20 000 tonnia perunaa ja perunarehua käyttävä biojalostamo tuottaa vuodessa noin 1 400 tonnia etanolia, 600 tonnia perunakuitua, 6 tonnia proteaasi-inhibiittoria sekä 2200 tonnia typpirikasta lannoitetta ja noin 500 000 Nm<sup>3</sup>/a biokaasua. Biojalostamon materiaalitase on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Biojalostamon karkea materiaali- ja energiatase.

## 5.7.2 Arvio biojalostamon investointikustannuksista

Biojalostamon alustava investointiarvio on noin 8,2 M€ Teknisesti tarkasteltuna optimaalinen laituskoko olisi huomattavasti suurempi. Suuremmassa kokoluokassa tuotteiden markkinointi ja raaka-aineiden hankinta vaikeutuvat merkittävästi. Suuremman laitoksen investoinnit lisäävät myös rahoitusriskiä.

Taulukossa 4. on esitetty karkea investointiarvio kyseiselle laituskoolle. Tarkempi hintatieto saadaan vasta teknologiatoimittajien kilpailuttamisen jälkeen. Teknologian tarkentuessa investointi rajautuu käytettävän teknologian perusteella.

Taulukko 4. Arvioidut investointikustannukset.

Investointikustannukset	
Perussuunnittelu, knowhow	200 000,00 €
Detalji-suunnittelu	500 000,00 €
Projektin hoito	300 000,00 €
Työmaavalvonta	400 000,00 €
Laitteet	
Vastaanotto, jauhatus	500 000,00 €
Hydrolyysi, fermentointi	600 000,00 €
Tislaus, dehydraus	700 000,00 €
Proteiinin erotus	500 000,00 €
Kuidun valmistus	800 000,00 €
Biokaasulaitos	1 000 000,00 €
Lannoitteen valmistus	1 000 000,00 €
Materiaalit	700 000,00 €
Rakennukset	1 000 000,00 €
<b>Yhteensä</b>	<b>8 200 000,00 €</b>

## 5.7.3 Arvio biojalostamon käyttökustannuksista

Käyttökustannuksia syntyy biojalostamolle yhteensä 2.554 M€vuodessa. Käyttökustannukset on eritelty taulukossa 5. Investoinnin pitoaikana on käytetty 10 vuotta ja poistot on laskettu tasapoistoina.

Taulukko 5. Biojalostamon arvioidut käyttökustannukset

Arvioidut käyttökustannukset					
Raaka-aine	20000	t/a	10	€/t	200 000 €
Sähkö	2400	MWh/a	60	€/MWh	144 000 €
Höyry	16000	MWh/a	40	€/MWh	640 000 €
Entsyymit, kemikaalit, vesi					150 000 €
Työvoima					400 000 €
Kunnossapito					100 000 €
Pääomakustannukset					820 000 €
muu					100 000 €
<b>Kustannukset yhteensä</b>					<b>2 554 000 €</b>

## 5.7.4 Arvio biojalostamon tuotoista

Biojalostamon tuotoista merkittävin on etanoli. Tarkastelussa on huomioitava, että yksin etanolin tuotot eivät riitä kattamaan jalostamon käyttökustannuksia. Em. tuotoilla päästään noin 3,1 M€n liikevaihtoon, joka tekisi jalostamosta kannattavan (taulukko 6.). Tuottolaskelmissa ei ole otettu huomioon mahdollista proteaasi-inhibiittorin tuottoa.

Taulukko 6. Biojalostamosta saatavat tuotot.

Tuotot					
Etanoli	1800000	l	0,7	€/l	1 260 000 €
Bulk proteiini	600000	kg	1	€/kg	600 000 €
Biokaasu	6000	MWh			360 000 €
Perunakuitu	600000	kg	1	€/kg	600 000 €
Lannoite	2222	t	130	€/tn	288 860 €
<b>Tuotot yhteensä</b>					<b>3 108 860 €</b>

## 5.7.5 Henkilöstörakenne

Biojalostamo työllistäisi ympärivuotisesti noin 7 henkilöä (taulukko 7.), josta tuotannossa 4 henkilöä. Toimistohenkilökuntaan tarvitaan toimitusjohtajan lisäksi tuotantopäällikkö ja assistentti. Tuotanto tapahtuisi kahdessa vuorossa viitenä päivänä viikossa. Välillisiä työllistämisaikutuksia jalostamo tuo mm. markkinoinnissa, kunnossapidossa sekä laboratoriopalveluissa.

Taulukko 7. Biojalostamon henkilöstörakenne.

Tehtaan henkilöstörakenne						
nimike	kpl	€/kk	yht.	sotu	yht. €/kk	12,5 kk
toimitusjohtaja	1	5000		1,5	7500	93750
tuotantopäällikkö	1	3700		1,5	5550	69375
assistentti	1	2500		1,5	3750	46875
tuotantotyöntekijä	4	2600		1,5	15600	195000
<b>Yhteensä</b>						<b>405000</b>

## 5.7.6 Tuloslaskelma

Yhtiön liikevaihto koostuu etanolista ja biokaasusta sekä mahdollisesta lannoitteen myynnistä. Hiilidioksidin talteenottoa ei ole suunniteltu, eikä siitä oleteta saatavan tuloja.

Tuloslaskelmassa (taulukko 8.) esitetyn mukaan etanolitehtaan kokonaisinvestointi on 8 200 000 € Investointi sisältää rakennuksen ja prosessilaitteiden lisäksi biokaasureaktorin (1 000 000 €) sekä jäteveden käsittelyn (1 000 000 €). Suunnitellun kaltaisen etanoliyhtiön tuloslaskelma on esitetty taulukossa. Tuloslaskelmassa on etanolin myyntihintana käytetty 0,70€/litra, raa'an 2 lk:n perunan hinnaksi on määritelty 20 €/tn. Perunarehun ja jätevedestä saatavan tärkkelyksen hinta arvioidaan olevan 0 € Biokaasun hinnaksi on arvioitu 120€/MWh. Sähkön hintana on käytetty 60€/MWh. Höyryn hintana on käytetty 40€/MWh. Kunnossapito (100 000 €/v) on oletettu ostettavan ulkopuolisena palveluna. Oman pääoman osuus on 50 %. Vuokria ei ole laskettu syntyväksi yhtiölle. Muita kiinteitä kuluja ovat mm. vakuutukset, tietohallinto ja toimihenkilöiden kulut. Alustavan tuloslaskelman mukaan liiketulokseksi saadaan noin 550 000€

Taulukko 8. Tuloslaskelma.

Tuloslaskelma	
Liikevaihto	3108860
*+ liiketoiminnan muut tuotot	
aine ja tarvikekäyttö	1134000
ulkopuoliset palvelut	100000
muuttuvat henkilöstökulut	195000
muut muuttuvat kulut	
Myyntikate	1679860
Myyntikate, %	54,0 %
Kiinteät henkilöstökulut	210000
Vuokrat	
Muut kiinteät kulut	100000
Käyttökate	1369860
Käyttökate, %	44,1 %
tasapoisto	
Poistot	820000
Liiketulos	549860
Liiketulos, %	17,69 %
korko, %	4
korot ja muut rahoituskulut	164000
Satunnaiset tuotot ja kulut	
vero, %	26 %
välittömät verot	142963,6
Tilikauden voitto	406896,4

## 5.8 Riskianalyysi (SWOT)

Perunan sivuvirtojen biojalostamon riskianalyysi (SWOT): vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat, on esitetty taulukossa 9. Merkittävin vahvuus on sivuvirtojen hyödyntäminen, kun taas suurimpana heikkoutena on investoinnin suuri osuus. Biokaasun ja etanolin yhdistetty tuotanto tarjoaa suurimmat mahdollisuudet, mutta raaka-aineen hintakehitys on yksi uhkatekijöistä.

Taulukko 9. Perunan sivuvirtojen biojalostamon riskianalyysi (SWOT): vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat.

<p><b>Vahvuudet:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sivuvirtojen hyödyntäminen</li> <li>- edullinen raaka-aine</li> </ul>	<p><b>Heikkoudet:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pitkät kuljetusetäisyydet</li> <li>- investoinnin suuri osuus</li> <li>- ei suuruuden ekonomiaa</li> <li>- perunan alhainen tärkkelyspitoisuus (korkeammat energiakustannukset)</li> </ul>
---	---



<b>Mahdollisuudet:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- pienuuden ekonomia</li><li>- yhteistyökumppanit</li><li>- lähimarkkinaedun hyödyntäminen (raaka-aineet)</li><li>- yhdistetty biokaasun ja etanolin tuotanto</li></ul>	<b>Uhat:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>-raaka-aineen hintakehitys</li><li>- ennakoitua suurempi investointi</li><li>- liian kallis lopputuote</li><li>- sivutuotteiden heikot markkinat (negatiivinen hinta ravinteelle)</li><li>- korkeat käyttökustannukset</li></ul>
--	---

---

## 6 Yhteenveto

---

Tämän projektin kokonaistavoitteena oli kehittää Pohjois-Pohjanmaalle perunan ja vihannesten jatkojalostuksen sivutuotteita hyödyntävä biojalostamokonsepti, jossa sivuvirtojen biomassasta tuotetaan teollisuuden raaka-aineita, elintarvikkeita, energiaa tai erilaisia biokomponentteja muille hyödyntäjätahoille. Biomassa pyritään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti ja kokonaisvaltaisesti useita eri tekniikoita käyttäen.

Projekti oli luonteeltaan esiselvitystyypinen ja projektissa tuotettiin tietoa, jota kerättiin ja yhdistettiin pääosin tieteellisestä kirjallisuudesta, patenttietokannoista ja laitevalmistajien verkkosivuilta. Teoreettinen tieto koostui lähinnä perunan ja sen jalostusprosessien sivuvirtojen eri jakeiden ja arvokkaiden biokomponenttien, kuten tärkkelyksen, proteiinin ja kuidun koostumuksesta, niiden käyttökohteista sekä niiden erotus- ja valmistusteknologioista. Proteiinin ja kuidun käyttökohteissa keskityttiin lähinnä elintarvikesovelluksiin, koska ne tuovat jalostukseen merkittävää lisäarvoa. Biokomponenttien erotus- ja valmistusteknologioista löytyi pitkälle kehitettyjä kaupallisia menetelmiä, kuten laitteistokokonaisuudet tärkkelyksen valmistamiseen sekä proteiinin ja kuidun hyödyntämiseen.

### 6.1 Biojalostamon raaka-ainehuolto ja sijainti

Pohjois-Pohjanmaalle suunnitellun biojalostamokonseptin kannattavuuslaskelmia varten kartoitettiin peruna- ja vihannestuotannossa, jatkojalostuksessa ja myymälöissä syntyvien sivuvirtojen raaka-ainepotentiaali: määrä ja laatu, niiden maantieteellinen sijainti ja nykyinen käyttökohte. Kysely toteutettiin postikyselytutkimuksella Pohjois-Pohjanmaalla tammi-helmikuussa 2012, ja siihen vastasi 33 yritystä. Tulosten mukaan Pohjois-Pohjanmaalla syntyy noin 5300 tonnia vuodessa 2 lk:n perunaa, jotka hyödynnetään pääasiassa Profoodin tehtaalla Vihannissa. Lisäksi syntyy kuorijätettä. Maakunnan tuottama ja järkevästi hyödynnettävissä oleva perunantuotannon sivuvirta on kokonaisuudessaan reilut 17 000 tonnia vuodessa, vuosittaisen satovaihtelun rajoissa.

Selkeästi alueen suurin perunasivuvirran tuottaja on Vihannin perunajalostetehdas noin 15 000 tonnin vuotuisella kuorijätteen tuotannolla. Tämä määrä muodostuu tehtaan käyttämän 1 luokan perunan lajitte- ja kuorijätteestä sekä pakkaamoilta ostetusta 2 luokan perunan kuorijätteestä, kun siitä on ensin valmistettu perunahiutaletta. Maakunnan perunapakkaamojen 2 luokan perunasta noin 85 % ohjautuu Vihannin tehtaalle. Siten mahdollisen peruna- ja vihannestuotannon sivuvirtaa hyödyntävän biojalostamon paikka olisi luontevasti Vihannin tehtaan läheisyydessä.

On arvioitu, että järkeväkokoinen biojalostamo tarvitsisi raaka-ainekseen noin 20 000 tonnia peruna- ja vihannessivuvirtoja vuodessa. Edellä esitettyjen lukujen mukaan Vihantiin olisi saatavissa maakunnan sisältä noin 17 000 tonnia sivuvirtoja vuodessa, joten maakunnan ulkopuolelta olisi tuotava 3000–4000 tonnia vuodessa, jotta biojalostamon tarve saataisiin kokoon. Tämä olisi todennäköisesti valtaosin kuorimassaa ja pilaantumisvaarassa olevaa materiaalia, sillä maakunnan ulkopuolinenkin järkevän kuljetusmatkan päässä oleva 2 luokan peruna ohjautunee nykyään jo aika hyvin Vihannin tehtaalle.

Pientä lisäystä sivuvirtojen määriin olisi saatavissa perunannoston yhteydessä maahan lajittuvista / jäävistä perunoista ja toisaalta myymälöiden myymättä jäävistä perunoista, vihanneksista ja hedelmistä. Näistä edellisen potentiaali on melko suuri, mutta talteenotto hankalasti toteutettavissa teknis-taloudellisesti. Jälkimmäisen potentiaali on pieni, mutta talteenotto on helpompi toteuttaa käytännössä, jos se vain saadaan kannattavasti järjestettyä.

Jos ajatellaan, että sivuvirran kuljetuskustannukset saisivat olla enintään 10 euroa/tonni, niin silloin täysillä rekkakuormilla ajettaessa kannattava kuljetusetäisyys olisi noin 130 km (Paappanen ym. 2008). Kuvan 19. mukaan tällöin Vihannissa olevan biojalostamon hankinta-alueeksi tulisi Keski-Pohjanmaan rannikkoalue Kokkolaa myöten. Todennäköistä siis on, että biojalostamon tarvitsema 20 000 tonnia sivuvirtaa vuodessa saataisiin kokoon kohtuullisin kustannuksin. Toki on huomattava, että vuosittaiset satovaihtelut

tai usein ulkomailta peräisin olevat vaihtelut perunan kysynnässä voisivat joinakin vuosina aiheuttaa sen, ettei biojalostamolle aina riitä täyden kapasiteetin edellyttämää raaka-ainemäärää.



Kuva 19. Vihannin sijainti on keskeinen ajatellen Kalajokilaakson ja Tyrnävä-Liminka- alueen perunaviljelykeskitty- miä. Karttaan on piirretty ympyrä 130 km:n säteellä, jota voisi laskelmien mukaan pitää kannattavana peruna- ja vi- hannessivuvirtojen kuljetusetäisyytenä biojalostamokäyttöön. Karttapohjan lähde: Oulun kaupunginkirjasto.

## 6.2 Biojalostamon kannattavuus

Kyselytutkimuksen tulosten perusteella laskettiin biojalostamokonseptin alustavat kannattavuuslaskelmat sekä laadittiin teknis-taloudellinen toimintasuunnitelma. Alustavien kannattavuuslaskelmien avulla määri- tettiin alustava investointiarvio, tarvittavat käyttöhyödykkeet ja niiden kustannukset sekä henkilöstökulut. Kannattavuuslaskelmien perusteella investointi olisi kannattava.

Tutkimuksen laskelmat ja sivuvirtojen markkina-arvot perustuvat lähinnä kirjallisuudesta saatuihin arvoi- hin sekä laiteinvestoinnit käytännön kokemuksesta saatuihin tietoihin. Tarkempi hinta-arvio biojalosta- mosta saadaan tarjouskilpailutuksen kautta sekä tarkemmasta prosessisuunnittelusta ja erillisestä loppu- käyttäjille tarkoitettua markkinaselvityksestä. Prosessiin liittyvät epävarmuudet, kuten tarkka saantopro- sentti, selviävät vain mahdollisten laboratorio- ja pilottikokeiden tulosten avulla.

Proteiinin hyödyntämiseen voidaan käyttää eri teknologioita. Lopulliseen teknologiavalintaan vaikuttavat laitteiston soveltuvuus, erotuskyky ja hinta. Tässä selvityksessä tarkasteltiin lähinnä jo kaupallisia erotus- teknologioita.

Mikäli tarkastellaan esimerkiksi pelkkää etanolin tuotantoa, voidaan todeta, että Pohjois-Pohjanmaan pe- runantuotannon sivutuotemäärä riittäisi vain hyvin pieneen etanolilaitokseen (alle 2 000 t/a). Alhaisimmat etanolin tuotantokustannukset saavutetaan yleensä 100 000 tonnia etanolia vuodessa tuottavilla laitoksilla. Tässä kuvatun monipuolisen biojalostamon etuna on se, että pääoma-, työvoima- ja kunnossapitokustan- nukset jakaantuvat kaikkien tuotantolinjojen kesken.

---

## 7 Lähteet

---

- Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista 29.1.1999/59. Viitattu 30.3.2012. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990059>.
- Bauer, A., Hrbek, R., Amon, B., Kryvoruchko, V., Bodiroza, V., Wagentristl, H., Zollitsch, W., Liebmanne, B., Pfeffere, M., Friedle, A. & Amon, T. Potential of biogas production in sustainable biorefinery concepts. Viitattu 30.3.2012. Saatavissa: [http://www.nas.boku.ac.at/uploads/media/OD7.1\\_Berlin.pdf](http://www.nas.boku.ac.at/uploads/media/OD7.1_Berlin.pdf)
- Bárta, J. & Bártová, V. 2008. Patatin, the major protein of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers, and its occurrence as genotype affect: processing versus table potatoes. Czech Journal of Food Science 26: 347–359.
- Bártová, V. & Bárta J. 2009. Chemical composition and nutritional value of protein concentrates isolated from potato (*Solanum tuberosum* L.) fruit juice by precipitation with ethanol or ferric chloride. Journal of Agriculture and Food Chemistry 57: 9028–9034.
- Bellissimi, E. & Richards, C. 2009. Yeast propagation. Teoksessa: Ingledew, W.M., Austin, G., Kluhs-pies, C. (toim.) The Alcohol Textbook Fifth Edition. A reference for the beverage, fuel and industrial alcohol industries. Nottingham University Press. s. 145–160.
- Bergthaller, W. & Witt, W. & Goldau, H.-P. 1999. Starch/Stärke 51: 235–242.
- Bodner, J. M. & Sieg, J. 2009. Chapter 4 Fiber. Teoksessa: Tarté, R. (toim.) Ingredients in Meat Products: Properties, Functionality and Applications 83. Viitattu 5.4.2012. Saatavissa: <http://powderedcellulose.com/wp-content/themes/agency-sweetener-supply-pc/images/fiber-properties-functionality-applications.pdf>
- Burlingame, B., Mouillé, B. & Charrondiére, R. 2009. Nutrients, bioactive non-nutrients and anti-nutrients in potatoes. Journal of Food Composition and Analysis 22: 494–502.
- Degen, L., Matzinger, D., Dreweb, J. & Beglinger, C. 2001. The effect of cholecystokinin in controlling appetite and food intake in human. Peptides 22: 1265–1269.
- Ekman, A. & Börjesson, P. 2011. Environmental assessment of propionic acid produced in an agricultural biomass-based biorefinery system. Journal of Cleaner Production 19: 1257–1265.
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C. & Attia, H. 2011. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. Food Chemistry 124: 411–421.
- European Union. Commission directive 2008/100/ EC. Official Journal of the European Union. 2008; L285:9–12. Viitattu 12.4.2012. Saatavissa: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:285:0009:0012:EN:PD>
- Evira, 2010. Viitattu 12.4.2012. Saatavissa: [http://www.evira.fi/attachments/kasvintuotanto\\_ja\\_rehut/luomu/luomu\\_ohjeita/100518lannoitteet.pdf](http://www.evira.fi/attachments/kasvintuotanto_ja_rehut/luomu/luomu_ohjeita/100518lannoitteet.pdf)
- Evira, päivitetty 3.4.2012. Luonnonmukaiseen tuotantoon soveltuvat lannoitteet ja maanparannusaineet. Viitattu 12.4.2012. Saatavissa: [http://www.evira.fi/files/attachments/fi/evira/asiakokonaisuudet/luomu/kasvit/lannoitteet\\_20120403.pdf](http://www.evira.fi/files/attachments/fi/evira/asiakokonaisuudet/luomu/kasvit/lannoitteet_20120403.pdf)
- Neuvoston direktiivi 1999/31/EY, annettu 26 päivänä huhtikuuta 1999, kaatopaikoista. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti L 182/1. Viitattu 30.3.2012. Saatavissa: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:182:0001:0001:FI:PDF>
- Finlex, 646-666/2011. Uusi jätelaki ja siihen liittyvät muut lait numeroilla 646-666/2011. Viitattu 30.9.2012. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120179>

- Friedman, M. 2006. Potato glycoalkaloids and metabolites: roles in the plant and in the diet. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 54: 8655–8681.
- Genencor. Granular Starch Hydrolysis (GSHE) for conversion of grains to ethanol near-term opportunities for biorefineries Symposium October 11th, 2010 Champaign, IL. Viitattu 30.3. Saatavissa: [http://bioenergy.illinois.edu/news/biorefinery/pp\\_foerster.pdf](http://bioenergy.illinois.edu/news/biorefinery/pp_foerster.pdf)
- Hill, A. J., Peikin, S.R., Ryan, C.A. & Blundell, J.E. 1990. Oral administration of proteinase inhibitor II from potatoes reduces energy intake in man. *Physiology & Behavior* 48: 241–246.
- Huang, W.-D. & Zhang, Y.-H. P. 2011. Analysis of biofuels production from sugar based on three criteria: Thermodynamics, bioenergetics, and product separation. *Energy & Environmental Science* 4:784–792.
- Ingledeu, W.M. 2009a. 9 Yeasts: physiology, nutrition and ethanol production. Teoksessa: Ingledeu, W.M., Austin, G., Kluhspies, C. (toim.) *The Alcohol Textbook Fifth Edition. A reference for the beverage, fuel and industrial alcohol industries.* Nottingham University Press. s. 101–114.
- Ingledeu, W.M. 2009b. 10 Yeast stress in the fermentation process. Teoksessa: Ingledeu, W.M., Austin, G., Kluhspies, C. (toim.) *The Alcohol Textbook Fifth Edition. A reference for the beverage, fuel and industrial alcohol industries.* Nottingham University Press. s. 115–126.
- Jobling, S. 2004. Improving starch for food and industrial applications. *Current Opinion in Plant Biology* 7: 210–218.
- J. Rettenmaier Söhne, JRS. Viitattu 3.4.2012. Saatavissa: <http://www.jrs.de/wEnglisch/anwend/food/kartoffel.shtml>.
- Kaack, K. Lærke, H.N. & Meyer, A.S. 2006a. Liver paté enriched with dietary fibre extracted from potato fibre as fat substitutes. *European Food Research and Technology* 223: 267–272.
- Kaack, K. & Pedersen, L. 2005a. Application of by-products from industrial processing of potato flour and yellow peas as ingredients in low-fat high-fibre sausages. *European Food Research and Technology* 221:313–319.
- Kaack, K. & Pedersen, L. 2005b. Low energy chocolate cake with potato pulp and yellow pea hulls. *European Food Research and Technology*. 221: 367–375.
- Kaack K, Pedersen L. & Laerke H.N. 2006b. New potato fibre for improvement of texture and colour of wheat bread. *European Food Research and Technology* 224: 199–207.
- Kadam S.S., Dhumal S.S. & Jambhale, N.D. 1991. Structure, nutritional composition and quality. Teoksessa: Salunkhe, D.K., Kadam, S.S. & Jadhav, S.J. (toim.) *Potato: production, processing and products*, Boca Raton, Florida: CRC Press, inc. s. 9–35.
- Kangas, A., Laine, A., Niskanen, M., Salo, Y., Vuorinen, M., Jauhiainen, L. & Nikander, H. 2007. Results of official variety trials 2000–2007. *MTT:n selvityksiä* 150. 202 s.
- Karlsson, M.E. & Eliasson A.-C. 2003. Gelatinization and retrogradation of potato (*Solanum Tuberosum*) starch in situ as assessed by differential scanning calorimetry (DSC). *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 36: 735–741.
- Karup Kartoffelmelfabrik. Novel Potato Protein. New innovative protein process. Viitattu 16.3.2012. Saatavissa: [http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=NewPotatopro\\_%20Brochure.pdf](http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=NewPotatopro_%20Brochure.pdf)
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös palavista nesteistä 15.4.1985/313. Viitattu 30.30.2012. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1985/19850313>.
- Kelsall, D.R. & Piggot, R. 2009. 13 Grain dry milling and cooking for alcohol production: Designing for the options in dry milling. Teoksessa: Ingledeu, W.M., Austin, G., Kluhspies, C. (toim.) *The Alcohol Textbook Fifth Edition. A reference for the beverage, fuel and industrial alcohol industries.* Nottingham University Press. s. 161–176.

- Kemikaaliturvallisuuslaki 2005/390. Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 3.6.2005/390. FINLEX. Lainsäädäntö. Viitattu 30.3.2012. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050390>
- Kemme-Kroonsberg, C., van Uffelen, E.J.F. & Veerhaart, J.C.J. 1998. Purified heat-coagulated potato protein for animal use. United States Patent, Patent number
- Kraak, A. 1993. Industrial applications of potato starch products *Industrial Crops and Products*, 1:107–112.
- Kärenlampi, S.O. & White, P.J. 2009. Chapter 5 Potato proteins, lipids, and minerals. Teoksessa: Singh, J. & Kaur, L. (toim.). *Advances in potato chemistry and technology*. Academic Press. s. 99–125.
- van Koningsveld, G.A., Walstra, P., Gruppen, H., Wijngaards, G., van Boekel, M.A.J.S. & Voragen, A.G.J. 2002. Formation and stability of foam made with various potato protein preparations. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 50: 7651–7659.
- Lærke, H.N., Meyer, A.S., Kaack, K.V. & Larsen, T. 2007. Soluble fiber extracted from potato pulp is highly fermentable but has no effect on risk markers of diabetes and cardiovascular disease in Goto-Kakizaki rats. *Nutrition Research* 27: 152–160.
- Langner, E., Rzeski, W., Kaczor, J., Kandefér-Szerszeń, M. & Pierzynowski, S.G. 2009. Tumour cell growth-inhibiting properties of water extract isolated from heated potato fibre (Potex) *Journal of Pre-Clinical and Clinical Research*. 3: 036–041.
- Lehto, M., Salo, T., Sorvala, S., Kempainen, R., Vanhala, P., Sipilä, I. & Puumala, M. 2007. Peruna- ja juureskuorimon jätteet ja jätevedet. *Maa- ja elintarviketalous* 94. 77 s. Viitattu: 30.3.2012. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/met/pdf/met94.pdf>.
- Lehtomäki, A. 2006. Biogas production from energy crops and crop residues. Väitöskirja, Jyväskylän yliopisto. Viitattu 30.4.2012. Saatavissa: <https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/13152/9513925595.pdf?sequence>.
- Lihme, A., Otto, F., Hansen, M. & Pontoppidan, M. 2008. Isolation and separation of minimally denaturated potato proteins and peptides. Up-front chromatography. International application published under the patent cooperation treaty (PCT). International publication number: WO 2008/092450 A1.
- Løkra, S., Helland, M.H., Claussen, I.C., Strætkverna K.O. & Egelanddal, B. 2008. Chemical characterization and functional properties of a potato protein concentrate prepared by large-scale expanded bed adsorption chromatography. *LWT - Food Science and Technology* 41:1089–1099.
- Lyckeby. Viitattu 3.4.2012. Saatavissa: <http://epi.lyckeby-industrial.com/LyckebyTemplates/Page.aspx?id=1948>
- Lyckeby Stärkelse. Viitattu 3.4.2012. Saatavissa: [http://epi.lyckeby.com/upload/Lyckeby%20Culinar/News%20&%20Info/Magazines/Eng/Lyckeby\\_Foodstuff\\_2\\_02\\_eng.pdf](http://epi.lyckeby.com/upload/Lyckeby%20Culinar/News%20&%20Info/Magazines/Eng/Lyckeby_Foodstuff_2_02_eng.pdf)
- Madson, P.W. 2009. 20 Ethanol distillation: The fundamentals. Teoksessa: Ingledew, W.M., Austin, G., Kluhspies, C. (toim.) *The Alcohol Textbook Fifth Edition*. A reference for the beverage, fuel and industrial alcohol industries. Nottingham University Press. s. 289–302.
- Meyer, A.S., Dam B.P. & Lærke, H.N. 2009. Enzymatic solubilization of a pectinaceous dietary fiber fraction from potato pulp: Optimization of the fiber extraction process. *Biochemical Engineering Journal*. 43: 106–112.
- MMM 2006. Perunatärkkelyksen tuotannon strategia 2006–2013, Työryhmämuistio mmm 2006:10. Helsinki. Viitattu 5.5.2012. Saatavissa: [http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuistiot/2006/trm2006\\_10.pdf](http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuistiot/2006/trm2006_10.pdf).
- Newpotatopro. Viitattu 17.11.2011. Saatavissa: <http://www.newpotatopro.dk/pi-diagram.pdf>
- Nivoba. Viitattu 2.4.2012. Saatavissa: [www.nivoba.com](http://www.nivoba.com).

- Paappanen, T., Lindh, T., Kärki, J., Impola, R., Taipale, R., Leino, T., Rinne, S., Lötjönen, T. & Kirkkari, A-M. 2008. Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi. Development of reed canary grass fuel chain. VTT Tiedotteita 2452. 158 s. + 9 s. liitteitä. Viitattu 30.3.2012. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2452.pdf>.
- Partanen, T. 2012. Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen käyttö ohran lannoitteena. Opinnäytetyö, Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 30.9.2012. Saatavissa: <http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/47642/PartanenTerhi.pdf?sequence=1>
- Pedersen, C. & Lindberg, J.E. 2004. Comparison of low-glycoalkaloid potato protein and fish meal as protein sources for weaner piglets. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science* 54: 75–80.
- Peusa, J. & Piilo, T. 2/ 2006. Perunat ja vihannekset kuorinta- ja paloitteluprosessissa. Viitattu 5.4.2012 Saatavissa: [http://www.hbsp.net/viikkifoodcentre/julkaisut/oppaat/fi\\_FI/oppaat/\\_files/11736978730003212/default/Perunat%20ja%20vihannekset%20prosessissa.pdf](http://www.hbsp.net/viikkifoodcentre/julkaisut/oppaat/fi_FI/oppaat/_files/11736978730003212/default/Perunat%20ja%20vihannekset%20prosessissa.pdf)
- Pihlanto, A., Akkanen, S. & Korhonen, H.J. 2008. ACE-inhibitory and antioxidant properties of potato (*Solanum Tuberosum*). *Food Chemistry* 109:104–112.
- Pots, A.M., Gruppen, H., van Diepenbeek, R., van der Lee, J.J., van Boekel, M.A.J.S., Wijngaards, G. & Voragen, A.G.J. 1999. The effect of storage of whole potatoes of three cultivars on the patatin and protease inhibitor content; a study using capillary electrophoresis and MALDI-TOF mass spectrometry. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79: 1557–1564.
- Pouvreau, L., Gruppen, H., Piersma, S. R., van den Broek, L.A.M, van Koningsveld, G. A. & Voragen A. G. J. 2001. Abundance and inhibitory distribution of protease inhibitors in potato juice from cv. Elkana. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 49: 2864–2874.
- Pouvreau, L. 2004. Occurrence of physico-chemical properties of protease inhibitors from potato tubers (*Solanum tuberosum*). Ph.D. Thesis. Wageningen Agricultural University: The Netherlands. 158 s.
- Pääkkönen, J., Vuorikoski, S., Pirkanniemi, K. & Hyytiä, H. 2004. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) Suomen tärkkelysperunateollisuudessa. Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 729. 77 s.
- Ralet, M.-Ch. & Guéguen, J. 2000. Fractionation of potato proteins: solubility, thermal coagulation and emulsifying properties. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 33: 380–387.
- Ralvert, K. 1898. Process for manufacturing potato fibers. Sveriges Stärkelseproducenter. United States Patent, Patent number 4,867,998.
- Raninen, K., Lappi, J., Mykkänen, H. & Poutanen, K. 2011. Dietary fiber type reflects physiological functionality: comparison of grain fiber, inulin, and polydextrose. *Nutrition Reviews* 69:9–21.
- Riekkinen, M. 2007. Kuorimotoiminnan jätteet. Agropolis Oy. Viitattu: 5.4.2012. Saatavissa: <http://www.update.yrityssuomi.fi/ysforms/download.aspx?ID=15464&GUID=%7B0062188F-6D3F-42C0-89B2-D6C712DA7010%7D>.
- Robert, J.F. & Roesener, W.S. 2008. Method for filtering and recovering solids from potato process water. United States Patent, Patent No; US 7465398 B1.
- Shewry, P.R. 2003. Tuber storage proteins. *Annals of Botany* 91: 755–769.
- Srichuwong, S., Fujiwara, M., Wang, X., Seyama, T., Shiroma, R., Arakane, M., Mukojima, N. & Tokuyasu, K. 2009. Simultaneous saccharification and fermentation (SSF) of very high gravity (VHG) potato mash for the production of ethanol. *Biomass and Bioenergy* 33: 890–898.
- Solanic a. Viitattu 5.4.2012. Saatavissa: <http://www.solanic.nl/Markets/Food.aspx>.
- Solanic b. Viitattu 5.4.2012. Saatavissa: <http://www.solanic.nl/News/CyvexNutritionandSolanicformglobaldistributi.aspx>.
- Storey, M. 2007. The harvested crop. Teoksessa: Vreugdenhill, D. (toim.) *Potato Biology and Biotechnology, Advances and Perspectives*. Elsevier. s. 441–470.

- Struik, P.C. 2007. Above-ground and below-ground plant development. Teoksessa: Vreugdenhill, D. (toim.) *Potato Biology and Biotechnology, Advances and Perspectives*. Elsevier. s. 219–236.
- Terveyskaupat. Viitattu 5.4.2012. Saatavissa: <http://www.terveyskaupat.net/SIendesta>.
- Thomassen, L.V., Vignæs, L.K., Licht, T.R., Mikkelsen, J.D. & Meyer, A.S. 2011. Maximal release of highly bifidogenic soluble dietary fibers from industrial potato pulp by minimal enzymatic treatment. *Biotechnological Products and Process Engineering* 90:873–884.
- Tike 2011. Perunanviljelytilastot. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Viitattu 19.3.2012. Saatavissa: <http://www.maataloustilastot.fi/kaytossa-oleva-maatalousmaa>.
- Tuikkanen, N., Jaakola, A., Virtanen, E., Hohtola, A. & Manelius, R. 2006. Perunatärkkelyksen kerääntyminen ja sijoittuminen ennen ja jälkeen tuleentumisen perunamukuloiden eri kudoksissa. Esitutkimus. Teoksessa: Toim. Anneli Hopponen. *Maataloustieteen Päivät 2006, 11.-12.1.2006 Viikki, Helsinki* [: esitelmät ja posterit]. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 21: 5 p. [Url] Julkaistu 9.1.2006.
- Tärkkinetti. Viitattu 5.5.2012. Saatavissa [www.tarkkelysperuna.fi](http://www.tarkkelysperuna.fi).
- Upfront BioProcess. The Rhobust® EBA Process. Viitattu 24.11.2011. Saatavissa: <http://bioprocess.upfront-dk.com/rhobusteba.aspx>.
- UpFront Chromatography. RHOBUST FASTLINE® ADSORBENT: The New Generation of Adsorbents for High Performance Processing Expanded Bed Technology by Upfront Chromatography Solid Phase Adsorbents for Expanded Bed Adsorption. Viitattu 24.11.2011. Saatavissa: <http://biomine.upfront-dk.com/Files/Brochures/S073%20Rhubust%20FastLine%20Adsorbent.pdf>.
- Uscentrifuge. Viitattu 3.4.2012. Saatavissa: <http://www.uscentrifuge.com/case-study-potato-waste.php>.
- Westfaliaseparator. Viitattu 16.3.2012. Saatavissa: [http://us.westfaliaseparator.com/fileadmin/GEA\\_WS\\_US/Documents/Brochures/Renewable\\_Resources/GEA\\_WS\\_Starch\\_from\\_Potatoes\\_Brochure.pdf](http://us.westfaliaseparator.com/fileadmin/GEA_WS_US/Documents/Brochures/Renewable_Resources/GEA_WS_Starch_from_Potatoes_Brochure.pdf).
- WHO, World Health Organization 2007. Amino acid requirements of adults. Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. WHO technical report series 935: 150. Viitattu 5.4.2012. Saatavissa: [http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO\\_TRS\\_935\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_935_eng.pdf).
- Woods, S.C. 2004. Gastrointestinal satiety signals II. An overview of gastrointestinal signals that influence food intake. *American Journal of Physiology Gastrointestinal and Liver Physiology* 286: G7–G13.
- Yusuph, M., Tester, R.F., Ansell, R. & Snape, C.E. 2003. Composition and properties of starches extracted from tubers of different potato varieties grown under the same environmental conditions. *Food Chemistry* 82, s. 283–289.
- Ympäristöministeriö 2004. Kansallinen strategia biohajoavan jätteen kaatopaikkakäsittelyn vähentämiseksi. Viitattu 30.3.2012. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=27161&lan=fi>.